

Bouwfysica

11e jaargang nr 3, oktober 2000
ISSN 0928-5377

Redactie

mevr. ir. J.W.M. Hooijschuur (hoofdredacteur)
ir. W.A. Koster (eindredacteur)
ir. I. Deli
ir. P. Poncelet
ir. R. Versluis
ir. W. Veldman
ir. J.F. Wijnia

Redactie-adres

mevr. ir. J.W.M. Hooijschuur
Cauberg Huygen
Postbus 480, 6200 AL Maastricht. Tel. 043-3467878

Illustraties

A. Oskam

Abonnementen

Nederland: f 130,- per jaar
Belgie: BF 2400 per jaar

Advertentietarieven

Personeelsadvertenties: 250 € (1 pagina)
175 € (½ pagina).
Overige advertenties: 500 € (1 pagina)
350 € (½ pagina).

Bouwfysica Vereniging

Bestuur

ir. A. Broekmeulen
dr.ir. F. Descamps
mevr. ir. S. van de Jagt
ir. J. D. de Jong (penningmeester)
ir. K. Krijger (secretaris)
ir. F.W.M. Lambregts
ir. L.C.J. van Luxemburg (voorzitter)
ing. E. de Wit

Secretariaat en informatie

Bouwfysica Vereniging
Postbus 6140, 7401 JC Deventer
e-mail: nvbv.bouwfysica@inter.nl.net
home page: <http://www.nvbv.com>
Nederland: Postrekening 92140
Belgie: Bankrekening 443-463 37 09-28

Lidmaatschap

Nederland: f 125,-; studenten f 35,- per jaar
Belgie: BF 2300; studenten BF 650 per jaar
Studenten: inschrijvingsbewijs overleggen

Leden van de *Bouwfysica Vereniging*
ontvangen het blad *Bouwfysica*

Gedrukt op chloorvrij papier
Druk: *Printhouse Drukkers & Uitgevers, Voorschoten*

Van de redactie	2
Mededelingen en Publicaties	
- Symposium: "Geef hoogbouw de ruimte"	2
- Normalisatie "Windhinder in de gebouwde omgeving"	2
- NVBV-dag met als thema Brand bij Rockwool in Roermond	3
Interview	
- Bouwfysica-onderzoek en -onderwijs bij Civiele Techniek <i>Interview met Prof. ir. Hans Cauberg en Ir. Kees van der Linden</i>	6
Wetenschappelijke artikelen	
- Daglicht in musea <i>ir. J.H.G.M. de Kort, Dorsser raadgevende ingenieurs</i>	8
- Daglichtbeleving ondergronds <i>ir. M.A. Luten, ir. W.F.M. van der Vliet, ir. S. Korz</i>	13
- ILSA: een beslissingsondersteunend computersysteem voor kantoorverlichting <i>E.H. de Groot</i>	19
- Kierterm: de relatie tussen geluidwering en luchtdoorlatendheid <i>ing. Linda Evenhuis, ing. Jan Thijs Groenendijk, ir. Ruud van Herpen</i>	24



DAGLICHTBELEVING ONDERGRONDS..

Niets uit deze uitgave mag worden vernenigvuldigd in welke vorm dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Nederlands Vlaamse Bouwfysicavereniging.
De redactie en de Bouwfysicavereniging zijn op geen enkele wijze aansprakelijk voor directe of indirecte schade ontstaan door de toepassing of interpretatie van artikelen en andere mededelingen in dit blad.

Een beetje verlaat, maar wel extra interessant, het nieuwe nummer van Bouwfysica. Om te beginnen, in het spoor van de bedrijven waar veel van haar leden werkzaam zijn is de Bouwfysica vereniging zich gaan begeven op het vurige pad van brand (veiligheid), zich wel afvragend of dit nog onder bouwfysica valt. Als teken daarvan was 26 mei jongstleden het onderwerp van de 'Bouwfysicadag' brandveiligheid, een verslag daarvan en wellicht het antwoord op de vraag of brandveiligheid onder bouwfysica valt vindt u verderop in dit nummer. Daarnaast is er de gelegenheid onder andere de 'nieuwe' (inmiddels al 1 jaar) hoogleraar bouwfysica aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU-Delft te leren kennen. In een gedegen dubbelinterview door

Jacqueline Hooijschuur worden zowel Prof. Cauberg als ir. van der Linden geportretteerd.

Het thema van de artikelen in dit nummer blijkt geworden te zijn wel licht, maar geen lucht en geen geluid. In een artikel wordt daglicht behandeld, in ondergrondse ruimten, in een ander artikel komt juist kunstlicht aan de orde. Bovendien is er nog een artikel over noorderlicht.

Geen lucht en geen geluid komt aan de orde in een artikel over kierdichting.

Moge de inhoud van dit nummer u plezier geven en aanzetten tot schrijven.

Jaap Wijnia

MEDEDELINGEN EN PUBLICATIES

De Stuurgroep Windtechnologie organiseert het symposium:

"GEEF HOOGBOUW DE RUIMTE"

Datum: Donderdag 23 november 2000
Aanvang: 10:00 uur
Plaats: Hotel New York, Rotterdam

De rode draad van het symposium vormt de beleidsmatige aspecten die een rol spelen om hoogbouw op bepaalde locaties toe te staan. De sprekers op de dag zijn:

- René Steevensz, Nederlands architect die in Chicago zijn bureau heeft. Hij tekent onder meer voor het ontwerp van de de hoogbouw op de Luxorlocatie te Rotterdam, hoog circa 180 m, en de Hollandsche Meester, de geplande toren van 165 meter hoogte te Zoetermeer
- Jan Hoogstad, Nederlands architect, onder meer verantwoordelijk voor de Weena toren te Rotterdam
- Joost Schrijnen, Directeur dienst Stedebouw en Volkshuisvesting van de gemeente Rotterdam
- Lora Nicolao, werkzaam bij het bureau DEG W dat studies uitvoert voor de stedelijke inrichting, en dit onder meer voor Dublin en Rotterdam heeft gedaan
- Arjan Pleysier, lid van het bestuur van de stuurgroep windtechnologie en lid van de werkgroep Windhinder, zal ingaan

op de werkzaamheden binnen de werkgroep en op de huidige werkzaamheden om windhindercriteria te normeren in nen verband.

Bijzonderheden:

Deelname kosten: fl 100,- (studenten fl 15,-).
Informatie en aanmelding (tot 15 november) bij Wim Bierbooms, tel (015) 2782097, fax (015) 278 5347,
e-mail W.Bierbooms@ct.tudelft.nl o.v.v. uw naam, bedrijf en adres.



NORMALISATIE "WINDHINDER IN DE GEBOUWDE OMGEVING"

De gebouwde omgeving bepaalt in hoge mate het lokale windklimaat. Veranderingen in de gebouwde omgeving zowel bij hoogbouwprojecten maar ook bij relatieve laagbouw zoals winkelcentra leiden tot een ander windklimaat. Om dit soort gevolgen al in het ontwerpstadium te kunnen beoordelen, groeit de behoefte aan eenduidig en uniform te hanteren eisen en bepalingsmethoden vastgelegd in normen. Recent heeft NEN-Bouw een strategische verkenning uitgevoerd waarin is nagegaan of er een draagvlak te vinden is voor een dergelijke normalisatie. De reacties op dit initiatief waren over het algemeen erg enthousiast zodat geconcludeerd kan worden dat er sprake is van een grote belangstelling. Dit betekent dat voor "Windhinder in de gebouwde omgeving" een normcommissie opgericht gaat worden. De oprichtingsvergadering is gepland op 29 november 2000.

De basis en de leidraad voor het werk van een op te richten normcommissie wordt omschreven in een startdocument dat is opgesteld door de werkgroep "Windhinder" ingesteld door de stuurgroep Windtechnologie van de afdeling Bouw en Waterbouwkunde van het KIVI en NEN-Bouw.

De KIVI-werkgroep "Windhinder" bestaat uit:

ir. J.A. Pleysier (Voorzitter)

Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV, Den Bosch;

A.W. Alders

Adviesbureau Peutz & Associés BV, Mook;

ir. E. Willemsen

Nationaal lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Marknesse;

prof. ir. J.A. Wisse

Technische Universiteit Eindhoven, capaciteitsgroep FAGO;

ing. G. Visser

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.

Vanuit NEN-Bouw is de opstelling van dit startdocument begeleid door ir. R.H.M. Nouwen.

In het startdocument wordt een voorstel gedaan voor het opzetten van een normalisatietraject voor de beoordeling van de veranderingen die optreden in het windklimaat als gevolg van nieuwe planontwikkelingen in de gebouwde omgeving.

Aan de orde komen:

- Omschrijving problematiek
 - Doel van de normalisatie van een methode voor de bepaling van windhinder.
 - Opzet van de nieuwe norm.
 - Organisatie van de normalisatie van windhinder.
 - Werkwijze en fasering.
 - Planning.
 - Kosten.
 - Rapporteurskosten.
 - NEN-bureau kosten.
 - Financiering.
 - Belanghebbenden en specifieke deskundigen.
- Het is de bedoeling dat dit normalisatietraject uitmondt in een nieuwe Nederlandse norm NEN 8100 "Windhinder in de gebouwde omgeving".

Nadere inlichtingen, het startdocument en/of een aanmeldingsformulier voor de oprichtingsvergadering zijn te verkrijgen bij:

NEN-Bouw, Ir. R.H.M. Nouwen

Telefoon: 015 2690 156

Telefax: 015 2690 253

E-mail: ruud.nouwen@nen.nl.

NVBV-DAG MET ALS THEMA BRAND BIJ ROCKWOOL IN ROERMOND

Op vrijdag 26 mei vond bij Rockwool in Roermond de unieke branddag van de NVBV plaats. Een dag vol interessante lezingen en met een bezoek aan de Rockwool-fabriek en het brandlaboratorium. In dit artikel wordt van deze dag verslag gedaan. Dit verslag is voor diegene die deze dag gemist hebben bedoeld als informatie en voor de bezoekers van de branddag als herinnering en geheugensteuntje.

Na ontvangst door de heer De Raadt, manager fire safety bij Rockwool, werden we op de hoogte gebracht van de Rockwool-producten en activiteiten door middel van een video. Naast producten voor de bouw blijkt Rockwool ook producten te leveren voor de land- en tuinbouw en de auto-industrie. De laatste jaren wordt er bij Rockwool extra aandacht besteed aan de gevolgen voor het milieu van het product en het productieproces. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar de vervuiling door de fabriek, maar ook naar de verpakking van de producten en het gebruik en het afval bij de ontvanger. Naast de productiefabriek is een recyclefabriek gelegen. Hier wordt direct al het afval uit het productieproces verwerkt tot nieuwe grondstof voor de productie van steenwol.

De eerste spreker is de heer Koudijs, adviseur vakgroep brandveiligheid bij *dgm raadgevende ingenieurs bv* in Arnhem. Zijn verhaal heeft als titel "De adviespraktijk..... een vurig pleidooi voor meer kennis".

De invoering van het Bouwbesluit in 1992 heeft tot gevolg dat de adviserende rol van de brandweer verandert naar een toetsende rol. Zo ontstaat een nieuwe markt voor de adviseur. De brandadviseur moet voldoende kennis hebben, maar minstens zo belangrijk is zijn integriteit. Het gaat uiteindelijk om de veiligheid van mensen, de bewoners van gebouwen.

De doelstelling van de advisering voor brandpreventie is het realiseren van een brandveilig gebouw en het optimaliseren van de brandtechnische voorzieningen met als uitgangspunt de bouwregelgeving. Hierbij zijn twee aspecten van belang: het beschermen van mensen en de beheersbaarheid van brand.

Het Bouwbesluit is hierbij de regelgeving. De opdrachtgever draagt de verantwoordelijkheid en moet aan de regels voldoen. Er zijn uniforme regels gesteld in de regelgeving, deze worden echter verschillend geïnterpreteerd door adviseurs en door de brandweercorpsen. Het gemeentelijk beleid wordt ingevuld met richtlijnen. Deze richtlijnen zijn met name van het Landelijk Netwerk Brandpreventie, maar veel brandweercorpsen hebben eigen richtlijnen gemaakt. Het grote bezwaar van de richtlijnen is dat daar geen kennis uit de markt bij wordt betrokken.

Bij het oplossen van brandvraagstukken en het uitbrengen van een deugdelijk advies wordt gebruikgemaakt van uitgangspunten en scenario's. Het omschrijven van de uitgangspunten en scenario's per compartiment geeft de mogelijkheid het minst veilige scenario te vinden. Voor dit scenario moet een advies worden gegeven zodat het veilig wordt.

De kwaliteit en kennis van de adviseurs en toetsers laat vaak te wensen over. Een goede opleiding zou een begin zijn dit te verbeteren. De markt is bereid te investeren, maar wordt gefrustreerd door starre standpunten van de toetsers die voortkomen uit een gebrek aan kennis. Om dit probleem op te lossen onderzoeken de marktpartijen op dit moment de mogelijkheden voor de certificering van de adviseurs. Verder is het van belang dat de toetsende instanties op een hoger niveau gaan werken en dat er een onafhankelijk kenniscentrum van een hoog niveau komt. De overheid moet hierin het voortouw nemen. Het gaat tenslotte om de veiligheid van mensen!

De tweede spreker is de heer Suurenbroek, werkzaam bij de Universiteit Twente als docent en onderzoeker en (parttime) als brandweerofficier bij de gemeentelijke brandweer in Hengelo.

De heer Suurenbroek treedt regelmatig op als adviseur van de overheid op het gebied van brand. Hij spreekt vanuit een ruime ervaring als brandweerofficier.

Voor brandbestrijding is er de veiligheidsketen. Proactie – preventie – preparatie – repressie – nazorg. De nadruk ligt nu op de repressie: de brandweer redt wat er te redden valt bij grote branden. Het is van belang dat de nadruk in de keten verschuift van repressie naar preventie. de kennis van bouwen en woningtoezicht en de brandweer moet samenkomen in preventie: het voorkomen van brand, het voorkomen van (dodelijke) slachtoffers en het beperken van grote materiële schade.

Voor het vergroten van de preventieve maatregelen is het noodzakelijk dat er voldoende onderzoek voorhanden is over brand en het gedrag van hitte, vuur en rook, het gedrag van bouwmaterialen en gebouwen als geheel. De kennis is verspreid over verschillende participanten zoals de brandweer, de overheid en de adviesbureaus. Verder is er nog te weinig onderzoek gedaan over reacties van mensen onder stress. De modellen geven de werkelijkheid nog niet goed genoeg weer. Dit geldt met name voor het vluchtgedrag van mensen in complexe objecten als tunnels en andere ondergrondse ruimtes, zoals parkeergarages en winkelcentra. Overleg, kennisoverdracht en onderzoek zijn derhalve nodig.

Daar er nog niet voldoende aan preventie wordt gedaan en er ook bij een goede preventie branden ontstaan, is het noodzakelijk voor de brandweer dat er een goede preparatie plaatsvindt: die maatregelen die getroffen worden om de brandweer beter of sneller te laten optreden. Om voor een goede preparatie te zorgen dient men voldoende kennis van de repressie te hebben. Wat gebeurt er bij een brand en aan welke gevaren staat de brandweerman bloot en welke maatregelen kunnen we (vooral in gebouwen) treffen om de brandbestrijding beter te laten verlopen? Ook hiervoor is overleg en onderzoek nodig.

Er is een verschil in belang tussen de brandweer en de opdrachtgever. De brandweer wil in de eerste plaats mensen redden, wil zelf redelijk veilig kunnen werken en wil vervolgens uitbreiding van de brand naar derden voorkomen. Daarna pas wordt de brand geblust om de schade te beperken. De opdrachtgever wil vaak zo min mogelijk geld kwijt zijn aan preventieve maatregelen. Er is overleg nodig om voor alle partijen een goede oplossing te creëren. Dat overleg gebeurt te weinig. Zonder overleg is de brandweer bang voor nieuwe oplossingen. Bang, want de brandweer is altijd als laatste ter plaatse. Overleg is met name van belang bij de complexere situaties, zoals grote gebouwen en ondergrondse bouw.

Tot slot deelde de heer Suurenbroek met de aanwezigen enige ervaringen, opgedaan bij de bestrijding van de vuurwerkramp in Enschede. Ook hier is weer sprake van veel partijen en evenzoveel meningen over de oorzaken en gevolgen. Het laatste woord is er nog lang niet over gezegd.

Als laatste vertelt de heer De Raadt over brandveilig bouwen en een verenigd Europa. Voor een vrijhandelsverkeer tussen de lidstaten is het noodzakelijk dat nationale regels en wetgeving worden geharmoniseerd en Europese regels en wetten van kracht worden. Op het gebied van brandveiligheid zijn de volgende ontwikkelingen gaande binnen Europa:

- *harmonisatie van brandproeven*
een systeem van brandproeven om het brandgedrag van materialen te bepalen, geldig in Europa;
- *Europese klassering van materialen*
een systeem om materialen in de zeven Euroklassen in te delen naar brandgedrag;
- *Europese klassering van brandwerendheid*
een systeem om constructies in te delen en te coderen afhankelijk van prestaties tijdens brandproeven;
- *nieuwe proeven voor brandwerendheid*
duidelijker systeem van proeven en constructies afhankelijk van hun toepassing;
- *brandklassen in ce-markering.*

Er wordt veel Europees vastgelegd, maar er komt nog geen Europees Bouwbesluit. Verder mag iedere lidstaat nog zijn eigen veiligheidsniveau bepalen.

Het opstellen van één systeem van Europese klassering en het vaststellen van voorschriften voor de uitvoering van brandproeven op constructies bevordert de uitwisseling van kennis en de acceptatie van materialen en constructies tussen de verschillende landen. Het is dan niet meer noodzakelijk dure proeven in ieder land te herhalen.

Voor het vaststellen van het brandgedrag van materialen zijn de volgende onderdelen van belang:

- vlamuitbreiding, hitte ontwikkeling en temperatuurstijging;
- calorisch potentiaal;

- rookontwikkeling;
- druppelvorming.

In de Europese richtlijn ontstaan op basis van het bovenstaande zeven klassen voor de brandbaarheid van materialen. De klassen A1, A2, B, C, D, E en F krijgen een omschrijving van onbrandbaar voor A1 en A2 tot uiterst brandbaar voor F, waarbij de materialen van klasse A1, A2 en B geen flash-over veroorzaken. Brandbare producten uit de klasse C, D, E en ook F kunnen bij een brand een flash-over veroorzaken.

De genormeerde Europese brandproeven hebben nu veel meer een relatie met de praktijk.

In 2001 worden de en-normen ingevoerd. De Nederlandse normen en regels worden dan ingetrokken. Verder wordt het Bouwbesluit aangepast. Om de overgang naar de en-normen soepel te laten verlopen, komt na het definitief worden van de en-wijzigingen een korte overgangsregeling. Voor testrapporten komt er ook een regeling. Oude rapporten blijven nog een aantal jaren geldig.

Na de drie boeiende lezingen over de verschillende facetten van brand werd er een bezoek gebracht aan het brandlaboratorium van Rockwool. De heer Keuning van Adviesbureau Peutz heeft in het kort verteld welke brandproeven er mogelijk zijn en onder welke condities deze worden uitgevoerd. Daarna was er een spectaculaire demonstratie van twee dakbranden en het beproeven van verschillende isolatiematerialen in de oven. Op de foto's is te zien hoe de proeven er die dag uitzagen.



LOES REUBSAET

Damen Consultants is een Onafhankelijk onderzoeks- en Adviesbureau voor de bouw, nationaal en internationaal werkzaam vanuit Rotterdam, Arnhem en Singapore. Het bureau onderzoekt, adviseert en draagt kennis over op het gebied van bouwen, gebruiken en beheren van gebouwen. Daartoe zijn in Rotterdam en Arnhem 40 medewerkers actief.

In Rotterdam zijn gevestigd de groepen Beheer & Onderhoud, Gebouwinspecties, Onderzoek & Ontwikkeling en de zelfstandige dochteronderneming QD International.

In Arnhem zijn gevestigd de groepen Wonen & Vastgoed, Huisvestings-Management en Bouwfysica & Milieu. De opdrachtportefeuille bestaat uit nationaal en internationaal onderzoek, praktijkadviesing voor overheid, corporaties en vastgoedbeheerders en diverse projecten met een innovatief karakter.

Uw sollicitatie met c.v. kunt u schriftelijk of per E-mail richten aan
Damen Consultants Arnhem b.v.
T.a.v. de heer ing. S.T.K. Go
Postbus 694
6800 AR ARNHEM
kg@damenconsultants.nl

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met de heer ir. A.P. Poel (tel.: 026-4458222)

Voor onze vestiging te Arnhem zoeken wij op korte termijn:

Senior-Adviseur Bouwfysica & Milieu m/v

De werkzaamheden van de afdeling Bouwfysica & Milieu bestaan uit het uitvoeren van onderzoeks- en adviesopdrachten en het verzorgen van opleidingen en trainingen. De activiteiten van de afdeling zijn:

- Het in een vroege fase van het plan- en bouwproces adviseren over het ontwikkelen van duurzame concepten.
- Het toetsen van de bouwfysische kwaliteit van bestaande gebouwen en de daarin opgenomen installaties in het kader van de huidige wet en regelgeving alsmede het adviseren omtrent kosteneffectieve verbeteringen.
- Het adviseren bij het renoveren van gebouwen omtrent het verbeteren van de bouwfysische eigenschappen.
- Het verrichten van onderzoek naar nieuwe, innoverende concepten in het kader van milieuadviesing (toepassen van duurzame energie, arbeidsomstandigheden en duurzaam bouwen).

De senior-adviseur Bouwfysica werkt nauw samen met de andere vakgebieden van Damen Consultants en is verantwoordelijk voor het uitvoeren van projecten binnen het adviesgebied. Hij/zij zal zowel in een team als zelfstandig moeten kunnen werken.

Uw profiel

- kennis van bouwfysica op universitair of post-HBO-niveau en affiniteit met duurzaam bouwen
- minimaal drie jaar ervaring in de bouwfysische advisering met het accent op de utiliteitsbouw
- oog hebben voor innovatieve ontwikkelingen en nieuwe technieken
- onderhouden van een relatienetwerk met daarbij het kunnen opsporen en vertalen van de behoefte van potentiële opdrachtgevers naar uit te voeren advies- en onderzoeksprojecten
- de gebouwen conceptueel en in totale samenhang kunnen benaderen;
- adviesvaardigheden waaronder goede schriftelijke en mondelinge uitdrukkingsvaardigheid.

BOUWFYSICA-ONDERZOEK EN -ONDERWIJS BIJ CIVIELE TECHNIEK

Interview met Prof. ir. Hans Cauberg en Ir. Kees van der Linden

In november 1999 zijn prof. ir. Hans Cauberg en ir. Kees van der Linden aangesteld bij de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen aan de Technische Universiteit in Delft. Binnen deze faculteit is Bouwfysica en Installaties hun verantwoordelijkheid. Een goed moment voor een nadere kennismaking.

Hans Cauberg is voor vier dagen in de week aangesteld bij de faculteit Civiele Techniek Hij blijft één dag in de week werkzaam als directeur van Cauberg-Huygen raadgevende ingenieurs. Tevens is hij secretaris van het NAG en voorzitter van de normsubcommissie "Ventilatie van woningen".

Kees van der Linden is voor vier dagen per week aangesteld als universitair hoofddocent. Hij is één dag per week werkzaam bij AaCee bouwen en milieu. Hij is voorzitter van de normcommissie "Klimaatbeheersing in gebouwen". Kees van der Linden is geen onbekende voor de trouwe lezers van 'Bouwfysica': hij is een van de medeoprichters van de Bouwfysicavereniging.

Onderzoek

Het onderzoek bij de capaciteitsgroep Bouwfysica en Installaties wil Hans Cauberg op twee onderzoeksthema's concentreren namelijk 'intensief ruimtegebruik' en 'prestatiebeheersing'. Een belangrijk aspect bij de keuze van deze thema's was het aansluiten bij de overige kennisvelden van de sectie waarbij behalve Bouwfysica en Installaties, ook Afbouw en Bouwconstructies behoren. 'Wat we proberen is om het onderwerp waaraan we bouwfysisch onderzoek doen, ook één van die andere componenten mee te geven. We willen geen geïsoleerd bouwfysisch onderzoek doen, maar ook kijken welke kennis er al is en welke interacties mogelijk zijn om een vraagstuk integraal te benaderen. De architect, of opdrachtgever is immers niet geïnteresseerd in een aantal op zich zelf staande oplossingen, maar in een afgewogen bouwtechnisch advies.'

Intensief ruimtegebruik

Het onderzoek naar bouwfysische aspecten van intensief ruimtegebruik sluit aan bij het onderzoek dat al bij de sectie gedaan wordt. Bij intensief ruimtegebruik moet worden gedacht aan zeer hoge gebouwen, gebouwen boven snelwegen, bebouwing over tunnels etc, maar ook aan multifunctioneel gebruik van gebouwen.

Eén van de bouwfysische aspecten is het verkeerslawaai in dergelijke compacte situaties. Hierbij speelt niet alleen de uitbreiding in horizontale richting, maar ook in de verticale richting, loodrecht naar boven bijvoorbeeld. Een ander thema hierbij is het ventileren van gebouwen: kun je in een dergelijke situatie natuurlijk ventileren, is een mechanisch ventilatiesysteem noodzakelijk, of is een hybride ventilatiesysteem het optimum, rekening houdend met aspecten als binnenluchtkwaliteit duurzaamheid etc.

Ook geluiduitstraling uit tunnels is een mogelijk onderzoeksthema, dat hierbij aansluit. Hierbij kan de vraag gesteld worden of de huidige prognosetechnieken wel toepasbaar zijn, of dat gebruik moet worden gemaakt van meer geavanceerde numerieke methoden, een ontwikkeling die zich op andere gebieden van de bouwfysica ook voordoet.

Een tweede bouwfysische aspect is het ruimtelijk en conceptueel integreren van installaties met het gebouw. 'Bij hoogbouw heeft het toevoegen van installaties een grotere impact en veroorzaakt het hogere kosten dan bij laagbouw. De vraag wordt dan hoe je op een zo natuurlijk mogelijke manier een hoog gebouw kunt klimatiseren. Hierin past bijvoorbeeld een vloerkoelsysteem, maar ook het positief benutten van de hoge vorm van een gebouw'

Aansluiting op reeds bestaande onderzoeksthema's maakt een snelle opbouw van het onderzoek mogelijk. Dat betekent een keuze: je kunt niet op alle bouwfysische gebieden onderzoek doen. Wel wordt aangesloten op onderzoek naar 'duurzaam bouwen'. Kees van der Linden noemt als voorbeeld een onderzoek dan nu wordt uitgevoerd naar het verminderen van massa in gebouwen. Gezocht wordt naar een optimum tussen het minimaliseren van het materiaalgebruik vanuit milieuoogpunt en de benodigde thermische massa van de constructie uit oogpunt van thermische behaaglijkheid. Dit is tevens van belang voor de constructie en fundering, maar ook voor de geluidisolatie. 'Zo grijp je steeds weer terug op het integraal ontwerpen van gebouwen.'

Prestatiebeheersing

Het tweede onderzoeksthema is prestatiebeheersing. Hieronder wordt niet alleen het kwantificeren en meetbaar maken van bouwfysische prestaties van bouwcomponenten en bouwsystemen verstaan, maar ook het omgaan met onzekerheden hierbij, zowel aan de vraag-als aanbodzijde. In de bouwfysica wordt meestal niet expliciet rekening gehouden met onzekerheden, maar het is wel belangrijk om te weten hoe deze uitwerken op prestatieomschrijvingen en het uiteindelijke resultaat. Cauberg noemt als voorbeeld de constructie die thermisch-hygrisch beoordeeld moet worden. 'Als je als bouwfysicus de constructie afkeurt is er altijd wel iemand die zegt "zo doe ik het al 20 jaar en het is nog nooit fout gegaan". Dat geeft al aan dat er meer dan één waarheid is, er is meer dan alleen goed of fout. En bij bijvoorbeeld ventilatiesystemen speelt altijd het gebruikersgedrag een rol, ook dat is een onzekere factor. De onzekerheden in geluidisolatie, ventilatie etc. hebben invloed op de totale kwaliteit van een bouwfysisch element en dat moet je bij prestatiebeheersing een plaats geven.'

Installaties

Cauberg ziet de installatietechniek binnen de sectie vooral gerelateerd aan hetzij constructies, hetzij afbouw, hetzij

bouwfysica. 'De installatie wordt vooral benaderd vanuit het belang van het gebouw. Denk bijvoorbeeld aan een vloerkoelsysteem dat een interactie vormt tussen installatie en gebouw. Maar ook het ruimtegebruik van installaties en de positie van toevoer- en afvoeropeningen hebben een relatie met het gebouwontwerp.'

Onderwijs: van basiskennis naar basisvaardigheden

Twee jaar geleden is de vernieuwing van het bouwfysica-onderwijs al ingezet. Van der Linden kijkt terug op de oude opzet: 'Je moest eerst de basisdingen leren, en daarmee kon je in principe alle problemen aan. Abstract gezien is dat ook juist, maar voor aankomende ontwerpers is juist het aanhaken op het ontwerpproces belangrijk. Naast de pure fysica moet je laten zien hoe je dat gebruikt in het ontwerpproces. Het eerste bouwfysica-vak, dat de studenten pas in het 3^e jaar van hun studie krijgen, heeft daarom al duidelijke links met de ontwerp oefeningen.'

In het 4^e jaar kunnen de studenten zich verdiepen in de bouwfysica. Cauberg geeft aan dat hierbij parate kennis veel minder belangrijk is, dan het inzicht krijgen in 'hoe een bouwfysicus denkt'. De studenten die hier afstuderen zullen later vaak werkzaam zijn als constructeur, projectmanager en dergelijke, maar ze zullen in projecten wél tegen bouwfysische of installatietechnische problemen aanlopen. 'Het is belangrijk dat ze dan begrijpen hoe een bouwfysicus naar een oplossing zoekt. Bijvoorbeeld als in een project een probleem met flankerende geluidsoverdracht aan bod komt, moeten ze weten dat een bouwfysicus redeneert: geluid → constructie wordt aangestraald → constructie wordt in trilling gebracht → er kan demping optreden → er wordt geluid afgestraald. De formules om dit mechanisme te beschrijven hoeven ze niet van buiten te kennen, maar moeten wel een model kunnen opstellen, en daarmee het probleem kunnen analyseren. Ze moeten als deskundige in een bouwteam mee kunnen praten en mee kunnen denken bij het zoeken naar oplossingen.'

Ook bij de oefeningen is niet volledigheid het streven, maar het bewerkstelligen dat studenten bouwfysische problemen kunnen modelleren en analyseren. De studenten moeten vaardigheid krijgen in het schematiseren van een probleem, het oplossen ervan, maar ook de samenhang tussen de verschillende aspecten voor een constructie inzien.

'Natuurlijk gaan we er vanuit dat studenten die écht in bouwfysica geïnteresseerd zijn, zich specifiek bekwamen in het vak, bijvoorbeeld door middel van een bouwfysisch georiënteerde afstudeeropdracht' voegt Cauberg hier aan toe.

De universiteit versus de praktijk

Met een aantal medewerkers binnen de sectie die niet full-time op de universiteit werken is de aansluiting op de praktijk een sterk punt. Op de vraag naar het belang hiervan geeft Cauberg aan dat het onderzoek dat wordt uitgevoerd en de projecten die worden aangetrokken gericht moeten zijn op het ontwerpen van gebouwen. 'Dat heeft te maken met de traditie als ontwerp afdeling. Contacten met de buitenwereld zijn dan essentieel om niet alleen de ontwikkelingen te volgen, maar ze vooral vóór te blijven.' Ook wil hij praktijkproblemen, of aandachtsvelden die uit de praktijk komen, samen met een bedrijf of met de bouwnijverheid onderzoeken en oplossen. Hiervoor lopen al een aantal contacten.

Bouwfysica bij Bouwkunde en bij Civiele Techniek

'We hebben bij Civiele Techniek toch een andere benadering dan bij Bouwkunde' vindt Van der Linden. 'Bij Civiele Techniek is het uitgangpunt dat de techniek ingebracht wordt in het bouwproces als ondersteuning van de architect. Bij Bouwkunde gaat het er meer om hoe de architect zelf met de techniek omgaat. Maar het blijft een feit dat het veel op elkaar lijkt!'

Cauberg wil met betrekking tot onderzoek 'een eigen plek' vinden. 'We gaan uit van de sterke kanten die we hebben, zonder te dupliceren met andere faculteiten en universiteiten. We hebben, voldoende onderwerpen die hier thuishoren en waarin we, vanwege de setting waarin we werken, sterk zijn.'

Jacqueline Hooijschuur

Cauberg-Huygen raadgevende ingenieurs b.v.

DAGLICHT IN MUSEA

ir. J.H.G.M. de Kort, Dorsser raadgevende ingenieurs

INLEIDING

Bij verlichting in musea spelen drie factoren een belangrijke rol: architectuur, conservering en waarneming (beleving). De rol van licht en verlichting in de architectuur is evident: licht is een beeldend en ruimtedefiniërend element in de architectuur. In de museumarchitectuur vormen daklichten en gevelopeningen vaak beeldbepalende elementen en vormt het noord- of noorderlicht een belangrijk, steeds terugkerend thema.

Rond het noordlicht is een mythevorming ontstaan als zijnde de meest ideale daglichttoetreding. Deze mythevorming stemt niet overeen met de optimale waarnemingsuitgangspunten.

Ten aanzien van de andere twee factoren, conservering en waarneming, bestaan tegenstrijdige belangen die het verlichten van een museum tot een complexe zaak maken. Voor conservering van kunst is zo weinig mogelijk licht gewenst, terwijl voor goede waarneming veel licht noodzakelijk is.

In de praktijk blijken de gehanteerde maximale (conservering)waarden voor verlichtingsniveaus in musea niet aan te sluiten op de optimale uitgangspunten voor waarneming. Bovendien zijn ze gebaseerd op onduidelijke en dogmatische uitgangspunten. Door verder onderzoek en door het formuleren van betere uitgangspunten over de schadelijkheid van licht in musea kunnen zowel de conservering van kunst als de beleving ervan gediend worden. De bevindingen zijn gebaseerd op ervaringen in de advisering voor het Van Gogh museum, het Museum Boijmans van Beuningen en het Centraal Museum Utrecht.

Conservering

De (inter)nationaal gehanteerde conserveringscriteria voor verlichting van kunst en het goed presenteren van kunst staan nog steeds op gespannen voet met elkaar.

De internationale richtlijnen staan voor schilderijen geen hogere verlichtingsniveaus dan 150 lux toe en voor een goede kleur- en detailbeoordeling van kunstwerken zijn verlichtingsniveaus van zeker minimaal 300 lux gewenst, zie figuur 1.

De conserveringscriteria gaan uit van een maximale belasting van ongefiltreerd (dag)licht (gehele spectrum) van 600.000 luxuren per jaar. In een experimenteel onderzoek van Krochmann [1, 2] is deze waarde ooit bepaald. De waarde is vertaald naar een gebruiksduur van een museum van 365 dagen à 10 uur per dag en levert dan een toelaatbare waarde van ongeveer 150 lux op.

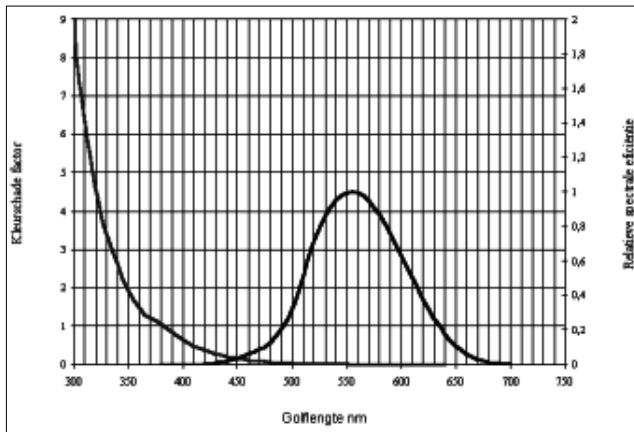
In de bepaling van deze maximaal toelaatbare waarde is niet expliciet rekening gehouden met de spectrale verdeling van het licht en de verschillende kleurschadefactoren van de verschillende componenten van het licht. Deze kleurschade factor neemt exponentieel af van uv-licht naar infrarood licht. UV-licht is het meest schadelijk, infrarood het minst, thermische opwarming door infrarood licht buiten beschouwing latend.

Door de luxwaarde te hanteren als beoordelingscriterium voor mogelijke lichtschaad wordt onvoldoende inzicht verkregen in de werkelijke schadelijkheid van het licht. Het wel of niet filteren van uv-licht wordt door de luxmeter immers niet gewaardeerd. Dit blijkt uit de meetkarakteristiek van de luxmeter (zie figuur 2) die de hoogste respons (spectrale efficiëntie) geeft bij 555 nm en is uitgelegd op de gevoeligheid van het menselijk oog (V_{λ} -curve voor fotopisch zien).

Onder een zonnepaneel kan een luxmeter minder dan 150 lux verlichtingsniveau aangeven, maar zal een schilderij onder invloed van het excessieve aandeel uv-licht zienderogen verbleken. Onder een natriumlamp bij verlichtingsniveaus van 150 lux of meer zullen nauwelijks verouderingscomponenten te meten zijn. Een luxmeting alleen zegt dus niet alles over schadelijkheid.

Materiaal	Verlichtingssterkte [lux]	UV belasting $\mu\text{W}/\text{lumen}$	mW/m^2
papier, aquarellen, textiel, kostuums, tapijten, behang, etsen, veren, was, tekeningen, ivoor, geschilderd leer, perkament, herbaria	max. 50	max. 75	3,75
ongeverfd leer, hout, schilderijen op doek, rubber, been, gepolychromeerd hout, paneelschilderingen, Chinees lakwerk, beschilderd blik (ook speelgoed)	max. 150 ¹	max. 75	11,25
(edele) metalen	geen eis ²	geen eis	-
stenen beelden	geen eis	geen eis	-
(geglazuurd) keramiek, aardewerk, tegels, email, glas	max. 300	max. 75	22,5
mineralen/stenen	max. 50-150 ³	max. 75	11,25

FIGUUR 1: CONSERVERINGSCRITEIA VOOR KUNSTVOORWERPEN (1).



FIGUUR 2: KLEURSCHADEFACOR (LINKS) EN V_{λ} -CURVE VOOR FOTOPISCH ZIEN (RECHTS).

Het effect van de schade door UV-licht wordt internationaal weliswaar ook gewaardeerd door grenzen te stellen aan de toelaatbare hoeveelheid UV-licht per lumen ($75 \mu\text{W}/\text{lumen}$), maar dit beoordelingscriterium wordt zelden in de museumwereld in de praktijk gehanteerd en is per definitie gekoppeld aan de luxmeting middels de relatie met de lichtstroom. De limitering is dan gelegen in de relatie lux (lumen/m^2) en $\mu\text{W}/\text{lumen}$ en de voorgeschreven maximale verlichtingsniveaus.

De beoordeling van de schadelijkheid gaat in de museumwereld vaak niet verder dan een simpele luxmeting.

Door de waarde voor de maximale verlichtingsterkte op 150 lux te stellen, wordt impliciet een limiet aan de UV-straling gesteld en wel in de vorm van de relatie: $75 \mu\text{W}/\text{lumen} * 150 \text{lumen}/\text{m}^2 = 11,25 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Deze waarde van $11,25 \mu\text{W}/\text{m}^2$ geeft een beter beoordelingscriterium voor de schadelijkheid en kan los gezien worden van het gemeten verlichtingsniveau. De meetwaarden worden echter nog niet gewogen naar de werkelijke schadelijkheid en het gegeven dat kortgolvig uv-licht schadelijker is dan langgolvig UV-licht wordt dan ook niet in deze beoordeling verwerkt.

De in de museumwereld gehanteerde maximale verlichtingsniveaus sluiten dus niet goed aan op de werkelijk schadebepalende factoren, mede omdat de luxmeter (V_{λ} -kromme) de schadelijke componenten (UV- en blauwlicht) voor een groot deel uifiltreert en niet waardeert in de waardebepaling. Een herziening van de meetmethodiek en het invoeren van schadelijkheidsmetingen op basis van een aangepaste uv-meetmethodiek zou een beter beeld geven van de risico's op beschadiging. De uv-meetsensor zou een meetkarakteristiek moeten bezitten die overeenstemt met de eerder beschreven schadefactor. Verder onderzoek hiernaar is gewenst.

De toelaatbare hoeveelheid zichtbaar licht (lux) zal dan niet bepalend zijn voor de verlichting van een kunstwerk, maar de stralingsintensiteit van de schadelijke componenten. Het (vrijwel) onzichtbare licht zal de maatstaf worden en niet het zichtbare.

Waarneming

Door aanpassing van de conserveringscriteria aan een meer met de schadelijkheid overeenstemmende beoordelingscriterium, gebaseerd op een andere meetmethodiek, kan mogelijk ook enige verruiming worden gegeven in de toelaatbare verlichtingsniveaus.

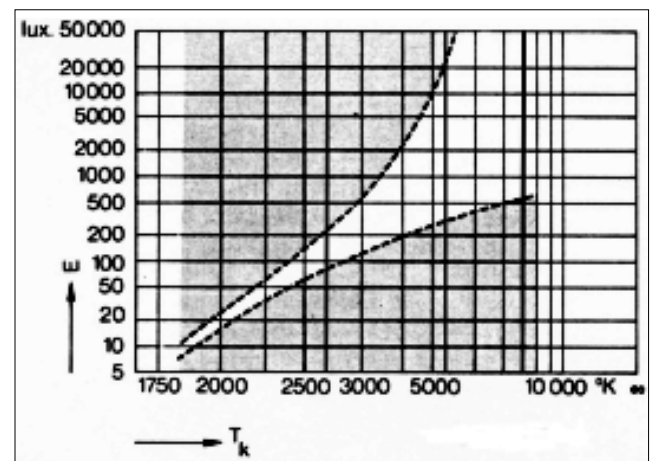
Zoals reeds aangegeven is hier onderzoek noodzakelijk en zal ook internationaal hierover overeenstemming dienen te bestaan. Verruiming van de verlichtingsnormen zou de verlichting en beleving van vele musea ten goede kunnen komen.

Vele musea worstelen nog steeds met de lage verlichtingsniveaus en de vaak grauwe sfeer als gevolg van deze lage verlichtingsniveaus, vaak in combinatie met toepassing van (fluorescentie)lampen met een hoge kleurtemperatuur.

De grauwe sfeer in museumzalen wordt in vele gevallen veroorzaakt door de combinatie van de lage verlichtingsniveaus en de hoge kleurtemperaturen.

Kruihof [3] heeft door proefondervindelijk onderzoek met personen aangetoond wat iedereen uit ervaring waarschijnlijk al weet, namelijk dat er een verband is tussen kleurtemperatuur van een lichtbron, het verlichtingsniveau en het behaaglijkheidsgevoel, zie figuur 3.

Voor licht met een lage kleurtemperatuur is een laag verlichtingsniveau acceptabel. Voor licht met een hoge kleurtemperatuur is een hoger verlichtingsniveau noodzakelijk. Bij verlichting met kaarslicht (lage kleurtemperatuur) volstaan een paar kaarsen om een aangename verlichting en een acceptabel verlichtingsniveau te realiseren, terwijl in een kantoor met (koele) fluorescentielampen met een hoge kleurtemperatuur een hoger verlichtingsniveau gewenst is om een aangename verlichting te kunnen realiseren. Indien fluorescentielampen met een hoge kleurtemperatuur gedimd worden, wat in sommige musea het geval is, ontstaat vaak een onaangenaam grijs en koud licht.



FIGUUR 3: DE KRUIHOF-CURVE GEEFT HET VERBAND WEER TUSSEN DE KLEURTEMPERATUUR VAN EEN LICHTBRON, HET VERLICHTINGSNIVEAU EN HET BEHAAGLIJKHEIDGEOVEL. HET NIET-GEARCEERDE GEBIED TUSSEN DE STIPPELLIJNEN GEEFT HET BEREIK AAN VAN HET BEHAAGLIJKHEIDGEBIED.

Uit de Kruihof-curve blijkt dat bij een bewolkte hemel (kleurtemperatuur 5500K) de voorkeursverlichtingssterkte tussen de 500 en 50.000 lux ligt. Bij zonlicht (kleurtemperatuur 4000-6000K) ligt de ondergrens op circa 300 lux en de bovengrens op 10.000 lux. Voor gloeilamplicht is de ondergrens voor de voorkeursverlichtingssterkte zelfs 100 lux. Voor de spectrumverdeling die bij het zogenaamde noordlicht past en die overeen komt met een kleurtemperatuur van 8.000K is deze voorkeursverlichtingswaarde aanzienlijk hoger.

De algemene tendens die uit het onderzoek van Kruithof gehaald kan worden is dat hoe lager de kleurtemperatuur is (warmer, roder licht), hoe lager het verlichtingsniveau uit comfortoverwegingen kan zijn.

Hoe hoger de kleurtemperatuur (kouder, blauwer), hoe hoger het verlichtingsniveau moet zijn om een comfortabel, niet grauwe verlichting te kunnen realiseren.

Gevoegd hierbij het feit dat de gevoeligheid van het oog afneemt naarmate men ouder wordt en hierdoor de onderdrempel voor het visuele comfort naar boven verschuift, kan gesteld worden dat de algemene toelaatbare verlichtingswaarde die gehanteerd wordt in de museumwereld van 150 lux voor schilderijen en 50 lux voor tekeningen aan de lage kant is. Beoordeeld vanuit het standpunt van Kruithof zou dit bovendien betekenen dat deze verlichtingsniveaus vrijwel alleen tot comfortabele resultaten kunnen leiden bij toepassing van lichtbronnen met een lage kleurtemperatuur, zoals halogeenspots of gloeilampen.

Prentenkabinetten met verlichtingsniveaus van 50 lux of minder en met buitensluiting van daglicht, zijn derhalve uit belevingsoogpunt meer gebaat met verlichting door kunstlichtbronnen met een lage kleurtemperatuur. Door het grote aandeel roodlicht van een dergelijke lichtbron zullen koude kleuren minder goed worden weergegeven. Het geringe aandeel uv-licht maakt deze lichtbronnen echter ook uit conserveringsoogpunt interessant.

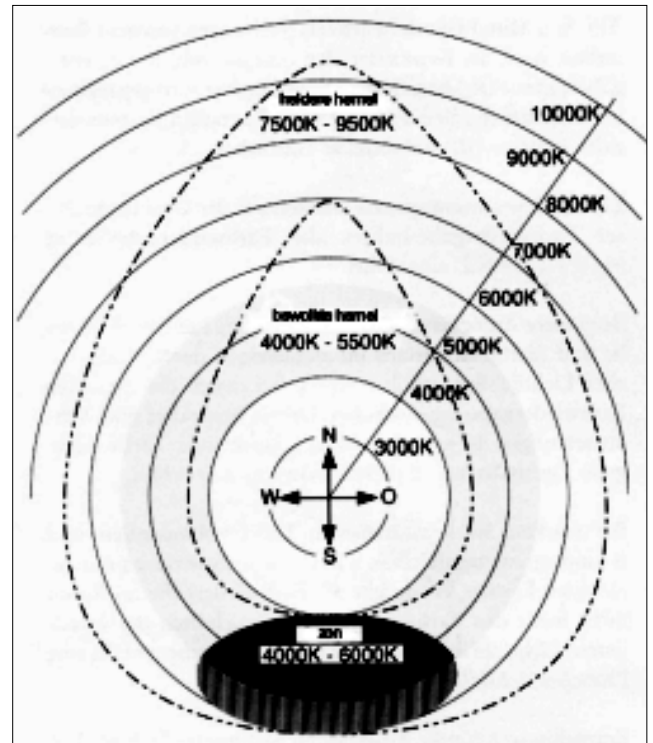
In Nederlandse musea werd en wordt echter nog steeds veel fluorescentielicht met een hoge kleurtemperatuur toegepast. Voornamelijk als aanvulling op het daglicht. Het daglicht heeft over het algemeen een hoge kleurtemperatuur, zeker bij bewolkte hemel of bij heldere hemel en uitsluiting van de zoninstraling. In deze gevallen is een hoge kleurtemperatuur als aanvulling op het daglicht vrijwel onvermijdelijk. In veel expositiezalen is dit het geval omdat daklichten vaak op het noorden gericht zijn en gevelramen eveneens vaak aan de noordzijde gesitueerd zijn. Deze voorliefde voor het noordlicht is in belangrijke mate toe te schrijven aan de mythevorming die rond het noordlicht is ontstaan.

Noordlicht

In de negentiende eeuw ontwikkelde zich in kunstenaarskringen het idee dat ramen op het noorden het beste en meest constante daglicht zouden geven en daarom de ideale verlichting zouden vormen voor ateliers. De kunstenaars zouden zo dagenlang aan een schilderij kunnen werken zonder last te hebben van wisselende kleurweergave en zontotreding. Ateliers werden met grote noordramen en daklichten op het noorden uitgevoerd en de schilder Mesdag heeft dit dan ook in zijn zelf ontworpen doorgevoerd. Het Mesdagmuseum is in Nederland een van de eerste exponenten van een dergelijk concept. Voor restauratie- en schildersateliers is voor deze wens voor een constante lichttemperatuur nog begrip op te brengen. Hoewel ook het licht door noordramen niet constant is, is door uitsluiting van de zontotreding wel de stemmingswisseling geminimaliseerd. In de restauratiewereld wordt nog steeds een voorliefde voor het noordlicht aan de dag gelegd en het concept wordt bijna dogmatisch doorgevoerd in museumzalen.

Hierbij wordt voorbij gegaan aan het feit dat vele landschapsschilders vroeger vaak in de openlucht schilderden (Van Gogh) en dat veel hedendaagse kunst niet meer in deze

traditionele ateliers wordt gemaakt en een dynamischer karakter heeft gekregen (video, foto's, computers). Bovendien zijn veel oudere schilderijen (gouden eeuw) onder andere licht condities ontstaan dan onder die waar- onder zij nu geëxposeerd worden.



FIGUUR 4: DE RELATIE TUSSEN DE KLEURTEMPERatuur VAN DAGLICHT, DE ORIËNTATIE VAN EEN GEVELOPENING EN DE BEWOLKINGSGRAAD.

Een zonnige Van Gogh kan daardoor verpieteren in een grauwe zaal met koud noordlicht. Afstemming van licht op de intentie van de schilder en de ontstaansomstandigheden van het kunstwerk is nog vaak te missen in een museum.

Dat licht dat door ramen op het noorden naar binnen valt een constante kleurweergave heeft is geenszins waar: bij volledig bewolkte hemel is de kleurtemperatuur van het licht door alle daglichtopeningen gelijk. Het licht door oost, west en noordopeningen is vrijwel identiek van karakter.

Bij een licht bewolkte hemel wordt de kleur van het licht bepaald door de reflecties van het zonlicht tegen de wolken en bij een volledig heldere hemel is er sprake van het spreekwoordelijke noordlicht met een zeer hoge kleurtemperatuur veroorzaakt door de blauwe hemelkoepel.

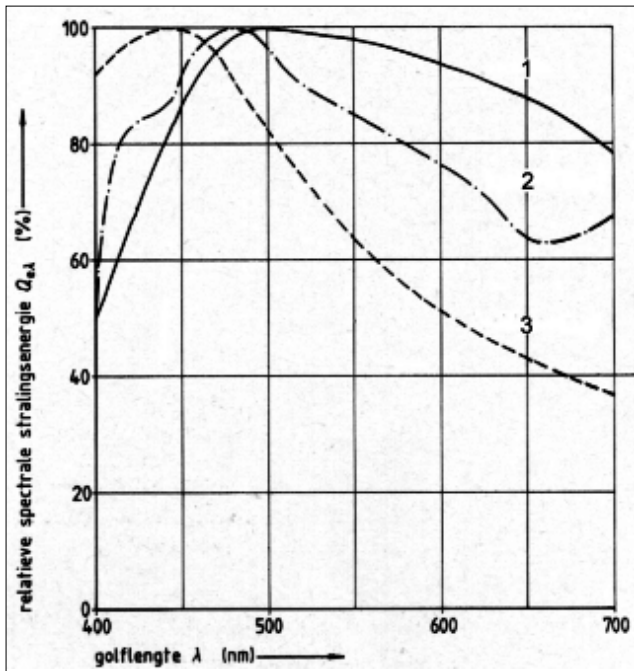
Uit figuur 4 blijkt dat licht dat door openingen gericht op het noorden binnentreedt kan variëren van 5000 tot 10000K.

Door het zonlicht uit te sluiten en het blauwe licht van de hemelkoepel te benadrukken ontstaat nu onder deze mythevorming in museumzalen een koude daglichtsfeer, die enkel met koel kunstlicht goed aan te vullen is.

Hiermee is tevens de controversie tussen verlichtingsniveau en conserveringseisen compleet. In figuur 5 wordt dit benadrukt.

Het koude, ongefiltreerde noordlicht (curve 3, blauwe hemelkoepel) bevat een verhoudingsgewijs groot aandeel blauw

licht en ultra violet licht. Om een aangename sfeer in de zalen te creëren is er volgens het onderzoek van Kruithof een hoger verlichtingsniveau vereist dan volgens de conserveringscriteria wenselijk is.



FIGUUR 5: DE SPECTRALE VERDELING VAN DAGLICHT: NOORDLICHT (CURVE 3) VERSUS ZONLICHT (CURVE 1).

Voeg hierbij het gegeven dat door de onevenwichtige spectrale verdeling van het noordlicht de warme kleuren maar matig worden weergegeven en de mythe van het noordlicht als zijnde de ideale verlichting voor kunstwerken is ontrafeld.

Literatuurlijst

- [1] Aydinli, Hilbert, Krochmann: Über die Gefährdung von Ausstellungsgegenständen durch optische Strahlung (Lichtforschung 5, 1983, Nr. 1, p.35-47)
- [2] Krochmann: Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken (Restauro 1988, p.227-234)
- [3] Robert G. Davis and Dolores N. Ginther: Correlated Color temperature Illuminance Level, and the Kruithof curve (Journal of the Illuminating Engineering Society, 1990)
- [4] Dr. B.A.H.G. Jutte, Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Passieve conservering klimaat en licht (1994)
- [5] Thomson.G. A New Look at Colour Rendering, Level of illumination and Protection from ultra-violet (Radiation in Museum Lighting SIC 6 (1961), p49-69)
- [6] Bescherming tegen kleurschade, Philips Lighting, Philips Nederland b.v. 1997

Cauberg-Huygen is opgericht in 1975, dit jaar vieren wij dan ook ons 25 jarig jubileum. Inmiddels is het bureau uitgegroeid tot een raadgevend ingenieursbureau met meer dan 100 gekwalificeerde medewerkers.

Vanuit onze vestigingen in Maastricht, 's-Hertogenbosch, Rotterdam, Amsterdam en Zwolle bestrijken wij de hele Nederlandse markt, en zijn wij betrokken bij spraakmakende projecten. In Zwolle beschikken wij over een goed geoutilleerd laboratorium.



advies en onderzoek
akoestiek en lawaai-beheersing
bouwfysica en binnenmilieu
trillingstechniek
milieutechniek
duurzaam bouwen

In 's-Hertogenbosch en Maastricht zoeken wij enthousiaste collega's

Projectleiders Bouwfysica, Brandveiligheid En Industrielawaai

1. (Ervaren) projectleider bouwfysica (HBO-TU)

U stelt offertes op, voert zelfstandig opdrachten uit, rapporteert en voert overleg. U hebt uw specialisme in het vakgebied bouwfysica en/of bouwakoestiek, en bent voldoende generalist om een goede gesprekspartner van onze opdrachtgevers te zijn. U wordt betrokken bij grote en spraakmakende bouwplannen.

Bij projectleiders met interesse in wetenschappelijk onderzoek bestaat een (belangrijk) deel van het werk uit het uitvoeren van onderzoeksopdrachten.

2. (Ervaren) projectleider bouwfysica/bouwakoestiek (HBO-TU)

U stelt offertes op, voert zelfstandig opdrachten uit, rapporteert en voert overleg. U hebt uw specialisme in het vakgebied bouwakoestiek, en bent voldoende generalist om een goede gesprekspartner voor onze opdrachtgevers te zijn. U hebt een talent

voor het organiseren van grote projecten. U wordt betrokken bij spraakmakende (zeer) grote infra-structurele projecten.

3. Wetenschappelijk onderzoeker bouwfysica

U besteedt een belangrijk deel van uw tijd aan het mede initiëren en uitvoeren van studies en onderzoeksopdrachten voor nationale en internationale projecten. U hebt een goede beheersing van de engelse taal. U hebt oog voor innovatieve ontwikkelingen en voor nieuwe technieken.

4. (Ervaren) projectleider brandveiligheid

U stelt offertes op, voert zelfstandig opdrachten uit, rapporteert en voert overleg. U hebt uw specialisme in het vakgebied brandveiligheid en/of bouwfysica, en bent voldoende generalist om een goede gesprekspartner van onze opdrachtgevers en van de controlerende instanties te zijn. U bent in staat om zowel brandveiligheidsconcepten op te stellen, als om onze opdrachtgevers praktische adviezen te verstrekken. U wordt betrokken bij grote en spraakmakende bouwplannen.

5. (Ervaren) projectleider

U stelt offertes op, voert zelfstandig opdrachten uit, rapporteert en voert overleg met onze opdrachtgevers en met controlerende instanties. U hebt uw specialisme in het vakgebied Industrielawaai en/of planologische akoestiek. U kunt leiding geven aan een projectteam. U hebt ervaring met het initiëren van en participeren in grote spraakmakende projecten. Ervaring als accountmanager is niet noodzakelijk, maar is wel een pluspunt.

Voor de invulling van de diverse functies zoeken wij zowel projectleiders met enige ervaring, als (zeer) ervaren projectleiders.

Wij bieden :

- ruimte voor opleiding en studie
- moderne automatiseringsfaciliteiten.
- een professionele werkomgeving waarin kwaliteit en visie voorop staan.
- inhoudelijk afwisselende projecten.
- prima primaire en secundaire arbeidsvoorwaarden

U hebt:

- een gedreven oplossingsgerichte instelling met gevoel voor ondernemerschap
- goede communicatieve vaardigheden
- leidinggevende capaciteiten
- de capaciteit om over de grenzen van het eigen vakgebied heen te kijken

U kunt:

- in teamverband maar ook zelfstandig werken
- een relatienetwerk opbouwen en onderhouden

Voor alle vacatures geldt dat de standplaats Maastricht of 's-Hertogenbosch kan zijn.

Informatie:

Functionies 1 t/m 4:

ir. J.A. Pleysier (06 - 50 64 51 02)

Functie 5:

dr. F.L.H. Vanweert (06 - 54 25 64 08)

Sollicitatie richten aan:

Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV

T.a.v. de heer ir. B.H.C.M Puts

Postbus 480

6200 AL MAASTRICHT

DAGLICHTBELEVING ONDERGRONDS

Ir M.A. Luten - EGM onderzoek bv
Ir W.F.M. van der Vliet - EGM bouwadviseurs
Ir. S. Korz - EGM onderzoek bv



INLEIDING

Daglichttoetreding in gebouwen wordt algemeen erkend en gewaardeerd. In ondergrondse ruimten is daglicht echter niet vanzelfsprekend aanwezig. De vraag is of daglichttoetreding in ondergrondse ruimten wenselijk is, zo ja, hoe dat gerealiseerd kan worden en hoe dat wordt gewaardeerd. Deze vragen zijn onderzocht in het kader van het stimuleringsprogramma Technologie & Samenleving van Senter. Het onderzoek is uitgewerkt met behulp van literatuur, analyses van bestaande ondergrondse ruimten en ontwerpen, onderzoek naar bestaande daglichtsystemen en gesprekken met deskundigen.

Het artikel beschrijft de belangrijkste eigenschappen die essentieel zijn voor de beleving van daglicht, de wenselijkheid van daglicht in ondergrondse ruimten, systemen om daglicht toe te laten treden in ondergrondse ruimten en de waardering van het zo toegelaten daglicht. De publicatie 'Daglichtbeleving ondergronds' die naar aanleiding van dit onderzoek is verschenen, is aan te vragen bij Senter, telefoon 070 - 3610339. Dit artikel is een samenvatting van deze publicatie.

Eigenschappen van daglicht

Daglicht heeft een aantal kenmerkende eigenschappen:

- het heeft specifieke fysische kenmerken wat betreft intensiteit, kleur, richting en diffusiteit;
- het heeft een grote, stimulerende dynamiek;
- het geeft informatie over omstandigheden buiten (seizoen, tijd, weer) als er uitzicht naar buiten is;
- en het heeft fotobiologische kenmerken die invloed hebben op de gezondheid van mensen.

In dit artikel wordt niet nader ingaan op fysische eigenschappen van daglicht omdat deze voor de lezer als bekend mogen worden verondersteld.

De fotobiologische kenmerken worden vaak onbewust waargenomen: pas als we langdurig zonder daglicht leven, gaan we het gebrek eraan merken. Verder blijkt dat noch de fysische kenmerken van daglicht noch de dynamiek ervan bewust worden gewaardeerd (met uitzondering van direct zonlicht dat in Nederland over het algemeen positief wordt ervaren). Vooral de informatie over en contact met 'buiten' worden gewaardeerd.

Dat wat daglicht zo bijzonder maakt is echter de combinatie van deze vier eigenschappen. Het wegvallen van één van deze eigenschappen geeft kwaliteitsverlies en daarmee een lagere en soms zelfs negatieve waardering.

Wenselijkheid van daglichttoetreding

In ruimten waar langdurig mensen aanwezig zijn is daglicht zeer gewenst. Dit komt vooral door de hoge waardering van de combinatie van de vier genoemde eigenschappen van daglicht. In ruimten waar mensen slechts kortdurend aanwezig zijn zoals bijvoorbeeld archieven en tunnels, is daglicht niet altijd noodzakelijk. Kunstlicht kan daar ook voldoen.

Voor bepaalde recreatieve ruimten en opslagruimten is daglicht zelfs ongewenst. In bijvoorbeeld bioscopen, theaters en discotheken kan daglicht zelfs hinderen. Daglicht kan ook een schadelijke invloed hebben op sommige producten zoals bijvoorbeeld levensmiddelen, medicijnen en kunstwerken.

Delen van gebouwen waarin mensen veel tijd doorbrengen moeten voldoende afwisseling in licht en donker hebben, passend bij de stroom van verplaatsingen. Mensen hebben de neiging naar het licht toe te gaan. Daarom zouden alle belangrijke punten in een circulatiesysteem, in- en uitgangen, trappen, liften en kruispunten systematisch lichter moeten zijn, zodat dergelijke plekken natuurlijke doelen worden.

Daglicht en veiligheidsbeleving

Algemeen wordt aangenomen dat daglicht wenselijk is voor veiligheidsbeleving en dat daglicht veiligheidsgevoelens bevordert: als er maar voldoende daglicht is, is het veilig. De relatie van daglicht met veiligheidsbeleving is echter ambivalent. Waarom het verband tussen daglicht en veiligheidsbeleving wordt gelegd is niet helemaal duidelijk. Het kan zijn dat de afwezigheid van daglicht in ondergrondse omgevingen onbewust wordt geassocieerd met donkere, onveilige situaties of dat kunstlicht wordt geassocieerd met 'slecht' licht en daglicht altijd met een prachtig stralende zon. Vast staat dat licht in het algemeen een belangrijke rol speelt bij sociale veiligheid. De rol van daglicht voor sociale veiligheid in ondergrondse ruimten is zeer beperkt. Sterker nog, toepassing van daglicht kan zelfs onveilige situaties geven:

- als er weinig daglicht is met een hoge kleurtemperatuur ('koud' licht);
- als het daglicht verblindend is of schitteringen geeft op glanzende oppervlakken;
- als er silhouetvorming is door tegenlicht.

Verder kan de 'dynamiek' in lichtsterkte en helderheid van daglicht een negatieve rol spelen bij de veiligheidsbeleving. Door de dynamiek in helderheid kan daglicht soms te veel contrasten geven. Ook kan het te donker zijn bij slecht weer, waardoor onveilige situaties ontstaan. De dynamiek van daglicht kan echter ook een positief effect hebben omdat het afwisseling en afleiding geeft.

Het informatie-aspect van daglicht speelt over het algemeen een positieve rol bij veiligheidsbeleving. Uitzicht op de omgeving biedt variatie en afleiding, maar ook een idee van hoe de situatie 'buiten' is. Het laat iets zien van 'waar ben ik en waar kan ik naar toe'.

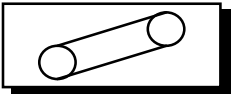
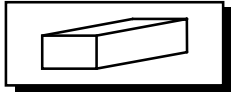
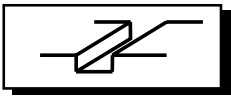
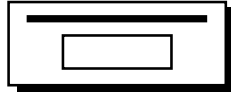


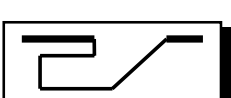
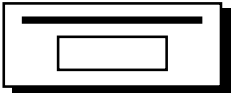

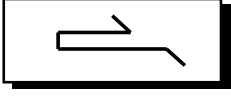
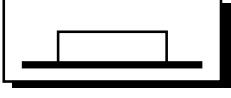
Helaas is juist dit aspect van daglicht vrijwel niet ondergronds te brengen. Mogelijk is informatie over en contact met 'buiten' wel te simuleren door imitatie en projectie,

maar het effect daarvan op veiligheidsbeleving is onbekend.

Daglichttoetreding in ondergrondse ruimten

De mogelijkheden om daglicht in ondergrondse ruimten te laten toetreden zijn afhankelijk van het type ruimte.

In figuur 1 zijn deze voor een aantal ondergrondse ruimtetypen samengevat.

	Vorm		Daglichtmogelijkheden
soort ruimte	tunnel/buis		Aan de uiteinden. De overgangen naar de buitenwereld moeten geleidelijk zijn vanwege verblindingsaspecten. Daglichtopeningen in de tunnels zelf zijn mogelijk, maar kunnen alleen toegepast worden als er geen verblindingsgevaar is. Bij voorkeur is extra daglicht nodig in voetgangers- en fiets-tunnels.
	kamer/zaal		Alle conventionele soorten daglichtopeningen, zowel in wanden als in plafonds: ramen, koepels, daklichten.
	open sleuf		Vanaf boven- en zijkanten. Ook toe te passen rondom verzonken ruimten voor horizontale daglichttoetreding. Breedte en afwerking is sterk bepalend voor de hoeveelheid daglicht in de onderste lagen. Als de sleuf erg smal is, neemt het daglicht naar beneden toe sterk af. Uitzicht in of op een open sleuf is afhankelijk van de breedte van de sleuf en de afwerking van de wanden.
maaiveld-openingen	geen		Geen.
	verticaal		Verticaal lichttransport.
	atrium		Combinatie van een open (rechthoekige) sleuf, met verticale daglichttoetreding.
	schuin		Combinatie tussen tunnel/buis en een open sleuf. Daglichttoetreding kan van opzij en van boven. Uitzicht is afhankelijk van de afstand tot het maaiveldtalud en de afwerking daarvan.
ligging t.o.v. maaiveld	onder maaiveld		Direct onder maaiveld: verticale openingen. Uitzicht mogelijk via transparante daklichten. Dieper onder maaiveld: geleiding. Uitzicht niet mogelijk.
	in wal/dijk		Via horizontale wanden en via 'dak'. Voldoende mogelijkheden voor uitzicht. Met de ruimte-indeling rekening houden met daglicht vanaf één kant.
	in heuvel/berg		In talud mogelijkheden voor ramen/daklichten.
	boven maaiveld (raamloos)		Geen.

FIGUUR 1: ONDERGRONDSE RUIMTEN EN DAGLICHTMOGELIJKHEDEN

Geleiding en vervanging

In ondergrondse ruimten zou gezocht kunnen worden naar geleiding en vervanging van daglicht.

Daglichtgeleidings- en ombuigingsssystemen worden vaak ten bate van energiebeperking toegepast, want daglicht is een 'gratis' lichtbron. Systemen met reflectoren, ombuigers, geleiders, prisma's en lichtplanken worden toegepast om daglicht en zonlicht tot ongeveer drie lagen ondergronds te geleiden, of om direct zonlicht in diffuus licht om te zetten. De vraag is of het resulterende licht nog als daglicht wordt ervaren, dus of de vier kenmerkende eigenschappen nog aanwezig zijn.

Figuur 2 geeft een beknopt overzicht van de principes, de technieken en de werking van daglichtgeleiding of -vervanging [1]. Voor een volledig overzicht van alle daglichtsystemen, uitgebreide technische details en fotometrische gege-

vens verwijzen we naar 'Daylighting in Architecture' [2]. Hier gaan we nader in op de werking en beleving van de verschillende systemen.

Horizontaal lichttransport

Daglichttoetreding door conventionele ramen is een bekend en zeer gewaardeerd verschijnsel. Zonder uitpuittend op alle eigenschappen in te gaan, noemen we een aantal relevante opvallende aspecten voor mogelijke (half) ondergrondse toepassingen [3]:

- bij diffuus licht heeft de raamvorm weinig invloed op de verdeling van het licht, behalve bij extreem smalle of hoge typen;
- gericht licht geeft projecties van het raam in de ruimte;
- openingen hoog in de wand dringen dieper in ruimte door dan laag in de wand;
- openingen hoog in een wand geven verblinding omdat het licht onder een steile hoek naar binnen komt;

Principe	Techniek	Werking	Beleving
Horizontaal lichttransport	Gevelopeningen (conventioneel)	Inval van direct zonlicht en diffuus hemellicht; geeft een hoge verticale verlichtingssterkte; mogelijkheden voor uitzicht	Zeer positief
Verticaal lichttransport	Glasoverkappingen: atria, lichthoven en daklichten	Verticaal lichttransport van buiten naar een ondergrondse ruimte en/of ruimten die daaraan grenzen; geeft een hoge horizontale verlichtingssterkte	Positief, onder voorwaarden
	Transport over korte afstand: lichtschachten, lichtkokers, light pipes	Zeer plaatselijk verticaal lichttransport van buiten naar een ondergrondse ruimte, Bij langere afstanden veel lichtverlies	Matig: geen daglichtbeleving meer
	Transport over langere afstanden door glas- en kunststofvezels	Transport van licht vanuit een bron naar een willekeurige andere plek	Matig: geen daglichtbeleving Veel lichtverlies Kan decoratief zijn
Reflectie, verstrooiing of ombuiging van licht	Gevelsystemen: horizontale en verticale lamellen, lichtplanken, prisma's	Ombuiging van diffuus invallend daglicht en direct zonlicht naar (overwegend) horizontaal invallend licht; geeft verstrooiing en daarmee gelijkmatig licht	Matig: geeft saai en doods licht of juist alleen een lichtvlek bij zonlicht
	Reflectoren: spiegels, heliostaten	Ombuiging van diffuus invallend daglicht en direct zonlicht in een bepaalde richting	Matig: geen daglichtbeleving Bij zonlicht bewegende lichtvlekken
	Anidolische systemen	Concentratie van diffuus licht	Verdeling van licht wordt beïnvloed, niet de hoeveelheid
Simuleren van daglicht	Kunstlicht dat de actuele daglichtkleur, lichtsterkte en fluctuaties simuleert, ruimte-ingrepen die de illusie van daglicht geven	Geeft een lichttechnische nabootsing van een bovengrondse ruimte	Kunstmatig effect Kan decoratief zijn, maar ook hinderen of gaan vervelen
Simuleren van informatie	Spiegels, periscopen, videosystemen, ruimtelijke effecten met de illusie van uitzicht	Geeft een indirect en/of kunstmatig beeld van de bovengrond of elders	Kunstmatig effect Kan decoratief zijn, maar ook hinderen of gaan vervelen

FIGUUR 2: BELEVING VAN DAGLICHTGELEIDINGS EN -VERVANGINGSSYSTEMEN

- het interieur (licht of donker, gekleurd) en de buitenomgeving bepalen samen de uiteindelijke hoeveelheid daglicht binnen;
- kleine daglichtopeningen in een grote wand geven sneller kans op verblinding door contrast;
- een grote daglichtopening in een kleine ruimte geeft verblinding door de wijde ruimtehoek waaronder men het raam tegen de heldere hemel ziet;
- ramen geven vooral contact met buiten.

Verticaal lichttransport

Daglicht dat van boven een ruimte binnenkomt geeft hoge horizontale verlichtingssterktes.

Het effect is dat wanden donker lijken, de vloer licht wordt en onder meubels en voorwerpen een donkere schaduw ontstaat [3]. Via diverse zogenaamde bovenlichtsystemen kan gebruik gemaakt worden van optimaal daglicht: het daglicht van boven is ongeveer drie keer zo veel als daglicht van opzij. Daglichttoetreding in ondergrondse ruimten via atria, lichtstraten, lichthoven en daklichten wordt - na horizontale daglichttoetreding - het meest gewaardeerd. Informatie-aspecten en fotobiologische eigenschappen van het daglicht blijven in deze situaties redelijk gehandhaafd.

Glasoverkappingen: atria, lichthoven en daklichten

Glasoverkappingen kunnen op grote schaal (atria), middelgrote schaal (lichthoven) en op kleine schaal worden toegepast (daklichten).

- **Atria**

Atria kunnen worden toegepast om ruimte en licht te maken binnen erg grote en hoge of diepe gebouwen, of die nu ondergronds zijn of niet. Atria kunnen in grote (ondergrondse) complexen tot diepten van 50 meter of meer gaan. Een atrium kan het gevoel van opgesloten zijn en de negatieve beleving van gesloten ruimten verminderen. Daarbij kan een atrium een oriëntatie- en ontmoetingspunt zijn in een ondergronds complex. Goed ontworpen atria voor daglichttoetreding hebben grote glasvlakken in de binnengevels, reflecterende elementen en lichte kleuren [4]. In dergelijke situaties bestaat echter een risico van verblinding en hinderlijke schitteringen. De beoordeling van het uitzicht en de privacy binnen een atrium wordt bepaald door de maatvoering, de vorm, de inrichting en het gebruik. Een atrium moet daarvoor een minimale breedte van 15 à 20 meter hebben. Gebruik van kleinere afmetingen geeft ernstige beperkingen voor een aanvaardbare hoogte. Atria kunnen echter ook privacyproblemen hebben: omdat er zoveel mogelijk ramen worden gemaakt, kan er ook van te veel inkijk sprake zijn [5].

- **Lichthoven/lichtstraten**

Lichtstraten en lichthoven zijn sleuven of openingen in een gebouw, waarbinnen daglicht kan komen. De afmetingen zijn veel kleiner dan bij een atrium. Lichtstraten en lichthoven kunnen overdekt of open zijn. Overdekte lichthoven of -straten hebben hetzelfde effect als atria: de afmetingen en de afwerking bepalen de hoeveelheid binnenvallend daglicht. Bij smalle en hoge lichtstraten of -sleuven neemt de verlichtingssterkte binnen een gebouw op korte horizontale afstand aan de gevel snel af. Zie foto 1. Bij open lichthoven of -straten is er tevens invloed van het weer (regen, sneeuw, zon, kou en warmte). Een lichthof of -straat kan een gebruiksfunctie hebben (verkeer, verblijf) maar ook een 'uitzichtpunt' zijn.



FOTO 1: ONDERGRONDSE PARKEERGARAGE UMC ST RADBOUD NIJMEGEN.

FOTO MICHEL CLAUS, AMSTERDAM

- **Daklichten**

Daklichten zijn kleine plaatselijke verticale openingen. Voor de verlichting van grote ruimten zijn veel openingen op regelmatige afstand van elkaar nodig om de lichtinval redelijk gelijkmatig te krijgen. De gelijkmatigheid hangt af van de verhouding van de afstand tussen de daklichten en de hoogte van de ruimte [6]. Een klassiek voorbeeld van een daklicht is het sheddak dat een grote gelijkmatigheid aan binnenvallend daglicht geeft. Het uitzicht naar buiten is sterk situatieafhankelijk. Door vervuiling van de daklichten kan de lichtinval verminderen. Daklichten komen ook voor in combinaties met lichtkokers.

Lichtschachten, lichtkokers, lightpipes

Lichtschachten, -kokers of lightpipes transporteren het licht over kortere afstanden. Ze komen in talloze uitvoeringen voor. Uitzicht naar buiten is niet mogelijk. Licht komt in de schachten of kokers en wordt vervolgens via reflecterende materialen verder geleid. De resulterende lichtsituatie is niet van kunstlicht te onderscheiden. De indruk kan zelfs zijn dat er 'slecht' kunstlicht is toegepast als er te weinig licht met een te koude kleur is (Kruithof-effect) dat ook nog varieert in sterkte. Het is "tweedehands daglicht", en het kan een "vreselijk druilerige atmosfeer" geven (citaten van drs. L. Zonneveldt, TNO-Bouw-TUE en Dr. A. Tenner, Philips Lighting BV, 1999). Het rendement bij diffuus invallend licht is laag.

Glas- en kunststofvezels

Glas- en kunststofvezels kunnen worden gebruikt voor transport en verspreiding van licht. Meestal is de directe bron erachter kunstlicht. De lichtbron moet namelijk sterk geconcentreerd zijn. Het is een kostbare techniek. Als kunstlicht wordt het gebruikt voor decoratie en in ruimten waar geen conventionele lichtbronnen kunnen worden geplaatst.

Reflectoren: spiegels, heliostaten en anidolische systemen

Spiegels of heliostaten met spiegels (in een vaste stand of automatisch de beweging van de zon volgend), werken alleen bij direct zonlicht. Beneden in de ruimte is het resultaat een lichtplek met een grote helderheid. Deze lichtplek is te gebruiken als decoratief element: het kan objecten uitlichten en bepaalde plekken in een ruimte accentueren. Als er veel



FOTO 2: SPIEGEL IN CENTRALE HAL BANK MEES PIERSON ROTTERDAM OM DAGLICHT VANAF EEN DAK NAAR BENEDEN TE REFLECTEREN
FOTO PETER DE RUIG, DEN HAAG

wind is kan het systeem bewegen, waardoor de lichtvlek beneden kan gaan 'wapperen' (citaat Zonneveldt, 1999).

Anidolische systemen bestaan uit twee parabolische reflectoren die als een concentrator werken om diffuus daglicht in een ruimte te brengen. Vooral nog zijn hiervan geen praktijkgegevens van bekend.

Reflectie, verstrooiing of ombuiging van licht

Reflectie, verstrooiing of ombuiging van licht kan door lamellen van verschillende materiaaltypen, door systemen als lichtplanken, prisma's, heliostaten en door anidolische systemen die het licht concentreren. De systemen zijn vrijwel alleen effectief bij direct zonlicht, met uitzondering van anidolische systemen die met name bedoeld zijn voor concentratie van diffuus daglicht. In Nederland is het echter vrijwel geen dag onbewolkt. Gemiddeld hebben we slechts zo'n 1200 - 1400 zonuren op jaarbasis (minder dan $\frac{1}{3}$ van de etmalen), dus is het rendement van de meeste van deze systemen laag. Uitzicht naar buiten is bij reflectiesystemen niet mogelijk.

Gevelsystemen: lamellen, lichtplanken en prisma's

Gevelsystemen bestaan vaak uit combinaties van luifels, lamellen, prisma's en lichtplanken.

Voor alle varianten geldt dat het lichtniveau in de ruimte aan de gevel wordt verlaagd, zonder dat het niveau verder de ruimte in wordt verhoogd. Een groot nadeel van alle gevelsystemen is overigens dat het uitzicht wordt belemmerd. Bij sommige systemen worden vaak spiegelende oppervlakken (bijvoorbeeld op het plafond achter de ramen) toegepast. Spiegelende oppervlakken zijn echter vrijwel altijd storend, vanwege de reflecties van zowel licht als beweging. De lichtreflecties (vaak in het perifere gezichtsveld) kunnen hinderlijk zijn door verblinding of schittering of door de reflectie van bewegingen (citaat Zonneveldt, 1999).

Lamellen

Lamellen die in de richting van de zon zijn gedraaid weren de zon en verstrooien het licht: binnen geeft het een grote gelijkmatigheid van licht, maar er gaat ook licht verloren [3]. Spiegelende lamellen hebben daarbij altijd het gevaar van schittering en verblinding voor de omgeving.

Lichtplanken

Lichtplanken in ramen aan zuidgevels hebben de bedoeling om het daglicht op zonnige dagen dieper de ruimte in te geleiden. Bij diffuus licht werken ze nauwelijks.

Prisma's

Glasblokken met kunststof of glazen prisma's kunnen het licht ombuigen de ruimte in of tegen het plafond laten reflecteren. De prisma's moeten daarvoor precies gericht kunnen worden op de richting van de invallende straling, anders is de transmissie erg laag. Nadelen zijn de beperkte doorlaatbaarheid, veel lichtverlies, soms hinder van de zon en uitzichtverlies [3]. In het algemeen worden prisma's gebruikt om zonlicht diffuus door te laten.

Simuleren van daglicht en informatie

Fysisch gezien kan daglicht gesimuleerd worden, maar de vraag is of dat gewaardeerd wordt. Als de relatie met buiten weg is, is ook het begrip voor de dynamiek van het daglicht weg. Daarbij is het de vraag of de informatie die daglicht geeft

gesimuleerd kan worden. Waarschijnlijk komen daglichtsimulaties bevreemdend of erg kunstmatig over. Op grotere diepten ondergronds wordt namelijk geen daglicht of uitzicht meer verwacht. Simulaties voegen in dergelijke gevallen geen kwaliteit toe, maar maken extra duidelijk dat de omgeving een kwaliteit mist. Voor de invloed op het bioritme maakt het overigens waarschijnlijk niet uit of er kunst- of daglicht is, als er maar veel licht is.

Simuleren van daglicht

Het kleurenspectrum van daglicht is goed te simuleren. De zogenaamde volspectrumlampen met een lage kleurtemperatuur kunnen een sterke illusie van daglicht geven als ze indirect worden toegepast, achter translucente panelen of boven een diffuus daklicht. Dit licht wordt bij lage sterkten echter niet altijd positief gewaardeerd. 's Avonds en in het donker worden de volspectrum lampen 'onplezierig, koud en hard' gevonden (citaten Tenner en Zonneveldt, 1999). Als de variatie van het daglicht gesimuleerd wordt door kunstlicht kan het effect als sterk kunstmatig worden ervaren en ergeriswekkend zijn [7].

Er kan wel een illusie van daglicht worden gegeven door in combinatie met goed kunstlicht bepaalde kunstgrepen in de afwerking van ruimten te toe te passen. Dat kan onder andere door:

- het vergroten van afmetingen, vooral in hoogte, met een lichte afwerking en indirecte aanlichting van het plafond of juist een donkere afwerking van plafond en wanden om de impressie van een oneindige ruimte te geven;
- het gebruik van koven en nissen, aangekleed met bijvoorbeeld sculpturen of planten, met daarin licht van een hoge kleurtemperatuur.

Simuleren van informatie

Informatie over 'buiten' kan op een aantal manieren worden gegeven.

Een voorbeeld is een periscoop: het geeft vanuit de ondergrondse ruimte een blik op de bovenwereld. Het is een sterk kunstmatige manier van 'uitzicht', maar het is een decoratief element. Er moet moeite voor worden gedaan om even naar buiten te kijken.

Om het uitzicht meer algemeen te maken zouden video-schermen op de wanden 'realtime' beelden van buiten kunnen projecteren. Dat kan afleiding geven. In bijvoorbeeld wachtruimtes kan dat positief ervaren worden. De wand wordt echter al snel ervaren als een televisieprogramma. Het beweegt voortdurend en dat zou storend kunnen zijn. Bij langdurig verblijf in een ruimte met dergelijke wanden zouden er wellicht lamellen of gordijnen voorgehangen moeten worden om de hinder te verminderen (citaat Zonneveldt, 1999).

Tenslotte kan de illusie van 'uitzicht' worden gegeven door het aanbrenge van barok- en perspectief-effecten (door bepaalde schilderijen, zoals een raam met 'uitzicht', een doorlopende weg aan het einde van een gang). Door het ontbreken van de dynamiek van het echte daglicht, het echte uitzicht en de informatie over 'buiten' en door het ontbreken van de fotobiologische kenmerken, kunnen we bij dergelijke illusie-effecten - hoe mooi soms ook - echter niet spreken van daglichtvervangning.

Conclusie

Daglichtreflectie- en geleidingssystemen kunnen ten bate van beperking van het energiegebruik worden toegepast. Systemen met reflectoren, geleiders, prisma's en lichtplanken worden toegepast om dag- en zonlicht tot ongeveer drie lagen ondergronds te geleiden of om direct zonlicht in diffuus licht om te zetten. Het resulterende licht zal echter niet meer als daglicht worden ervaren omdat essentiële eigenschappen als informatie, uitzicht en fotobiologische eigenschappen ontbreken. De uiteindelijke lichtsituatie is meestal niet van kunstlicht te onderscheiden. De indruk kan zelfs ontstaan dat er 'slecht kunstlicht' is toegepast. Daglichtreflectie en geleidingssystemen zijn vooral bruikbaar als er voldoende direct zonlicht is. In Nederland komt er vrijwel geen dag voor zonder bewolking waardoor het rendement van deze systemen gering is.

Op grotere diepten kunnen daglichtgeleidende systemen geen bijdrage meer leveren aan een acceptabel verlichtingsniveau. Kunstlicht moet deze rol dan altijd overnemen.

De meeste waardering gaat uit naar ondergrondse ruimten waar het daglicht wordt toegelaten via lichthoven, atria, lichtstraten en daklichten. Dit is te danken aan het feit dat het informatie-aspect en de fotobiologische eigenschappen hierbij redelijk gehandhaafd blijven.

ILSA: een beslissingsondersteunend computersysteem voor kantoorverlichting

mevr. E.H. de Groot, TNO Bouw, Divisie Gebouw en Installatie, Delft.



SAMENVATTING

Het doel van het project beschreven in dit artikel is het ontwikkelen van een gereedschap om ontwerpers van gebouwen te ondersteunen bij de toepassing van energie-efficiënte dag- en kunstlichtsystemen voor kantoorgebouwen. Dit gereedschap heet "Integrated Lighting System Assistant" [ILSA]. Er is een verlichtingsmodel ontwikkeld dat is opgebouwd uit de variabelen die in de vroege ontwerpfasen van belang zijn voor de uiteindelijke prestatie van het verlichtingsontwerp. Een psychofysische evaluatiemethode is toegepast om de prestatie van een conceptueel verlichtingsontwerp te voorspellen.

Introductie

De beslissingen die genomen worden tijdens de eerste drie fasen van het bouwproces, Initiatiefase, Programma van eisen, Ontwerpfase, zijn cruciaal; met name in deze fasen worden veel belangrijke beslissingen genomen met een potentieel grote impact op het eindresultaat in termen van flexibiliteit, efficiëntie en effectiviteit van het uiteindelijke gebouw. Het ontwerpproject dat in dit artikel beschreven wordt richt zich op het nemen van beslissingen in de conceptuele ontwerpfasen. Dit is de fase waarin de uitgangspunten uit het programma van eisen worden vertaald in de eigenschappen van een conceptueel ontwerp, waarin ontwerpissues aan de orde komen die vaak richtinggevend en tegelijkertijd beperkend en onomkeerbaar zijn [1], [2]. De beslissingen worden gebaseerd op de dan beschikbare informatie die misschien onjuist, onvolledig of extreem ingewikkeld is [3]. Het is hierom wenselijk de aanwezige kennis te structureren om daarmee een systeem te ontwikkelen waarmee ontwerpers kunnen worden ondersteund bij het nemen van beslissingen. Dit heeft geresulteerd in de volgende doelstelling:

Ontwerp een interactief computergebaseerd systeem om ontwerpers van gebouwen te assisteren bij het gebruiken van data op het gebied van energie-efficiënte dag- en elektrische verlichting en een model van geïntegreerde lichtsystemen om het probleem van het kiezen van kantoorverlichting te adresseren.

Ontwerpproces kantoorverlichting

In het ontwerpproces van kantoorverlichting zijn in het algemeen drie onderdelen te onderscheiden:

- Het opstellen van gebruikerseisen (programma van eisen).
- Het selecteren van variabelen, die gezamenlijk het ontwerp vormen.
- Het evalueren van het ontwerp.

Deze drie onderdelen worden hieronder kort toegelicht en hebben de basis gevormd voor de uitwerking van het project.

Opstellen van gebruikerseisen

Kantoren zijn ontworpen om werknemers te huisvesten die zich concentreren en op verschillende manieren communiceren, [4]. Kantoorverlichting zou de werknemers in staat moeten stellen deze taken effectief uit te voeren. Het waarborgt de zichtbaarheid van de visuele taak die uitgevoerd moet worden, en het beïnvloedt het uiterlijk van de ruimte en de stemming en productiviteit van de werknemers. Bij verlichting moeten tegelijkertijd de eisen betreffende de zichtbaarheid en esthetica worden beschouwd. Deze aspecten moeten samenwerken om een stimulerende en comfortabele omgeving en goede zichtbaarheid te creëren.

De gebruikerseisen voor kantoorverlichting worden in de conceptuele ontwerpfasen vastgelegd in een *functioneel programma*

Eisen	Waarde
<i>Algemeen</i>	
Land	NL
Locatie	Eindhoven
Gebouwtype	Kantoor
Ruimtetype	Cel: 3.60 x 5.40 x 2.80 m ³
Oriëntatie	West
Obstructie	Geen
Aantal mensen	1
Gemiddelde leeftijd	45-50 jaar
Activiteiten	Administratief, PC
Luminantie verhouding	10:3:1 [6]
Standaard verlichtingssterkte	400-800 lux [6]
<i>Uitstraling van de ruimte</i>	
Atmosfeer	Professioneel
Locatie werkplek	Raamzijde
Kleur wanden	Licht
Kleur plafond	Licht
Kleur vloer	Medium
<i>Daglicht</i>	
Gebruik van daglicht	Maximaal
Uitzicht	Belangrijk
Vermijden van reflecties	Belangrijk
<i>Elektrisch licht</i>	
Lichtkleur	Warm wit
Kleurweergave	Natuurlijke kleuren
Uniformiteit	Hoog
Afscherming armatuur	Belangrijk
Energiegebruik	Minimaal
Flexibiliteit	Gemiddeld

TABEL 1: STANDAARD PROGRAMMA VAN EISEN.

ma van eisen. Voor dit project is gebruik gemaakt van een specifiek programma van eisen, omdat een mechanisme om een functioneel programma van eisen voor kantoorverlichting af te leiden uit het algemene programma van eisen voor een kantoorgebouw ontbrak. Het gekozen programma van eisen is bestemd voor een specifiek kantoorverlichtingsontwerp gebaseerd op de eisen die werden opgesteld voor de renovatie van drie celkantoren op de tiende verdieping van het hoofdgebouw van de Technische Universiteit in Eindhoven, [5]. Deze bestaande situatie is gebruikt als referentieoplossing, waarmee alle nieuwe oplossingen vergeleken worden.

Het gehanteerde programma van eisen bestaat uit algemene werkplekeisen en additionele lichteisen voor daglicht en elektrisch licht, die hieronder gepresenteerd worden in tabel 1.

In de algemene werkplekeisen is beschreven dat in de kantoorruimte een persoon in de leeftijdscategorie 45-50 jaar administratieve taken uitvoert gebruikmakend van een PC. De ruimte heeft een raam in de westgevel. Volgens de norm NEN 1890 [6] is een luminantieverhouding (taak: omgeving: periferie) van 10:3:1 wenselijk en moet de standaard verlichtingssterkte op het werkvlak tussen de 400 en 800 lux zijn.

De additionele lichteisen kunnen worden onderverdeeld in

eisen voor de uitstraling van de ruimte, eisen voor daglicht, en eisen voor elektrisch licht. De eisen voor de uitstraling van de ruimte beschrijven de atmosfeer, de locatie van de werkplek, en de kleuren van de oppervlakken in de ruimte. Een 'professionele' atmosfeer betekent dat er moeite gedaan moet worden om de ruimte chic en stijlvol eruit te laten zien; dit in tegenstelling tot een 'algemene' atmosfeer. Voor de locatie van de werkplek wordt geëist dat deze aan de 'raamzijde' moet zijn: het bureau mag maximaal 5 m van het raam verwijderd zijn, [5]. De kleur van de wanden is 'licht', wat een reflectiefactor tussen 60 en 70% inhoudt, terwijl deze waarde voor het plafond een reflectiefactor tussen 70 en 80% betekent. De vloer heeft een kleur 'medium' wat neerkomt op een reflectiefactor tussen 20 en 30%.

De daglichteisen schrijven voor dat er 'maximaal' gebruik gemaakt moet worden van daglicht en dat het uitzicht en het voorkomen van reflecties allebei 'belangrijk' zijn. Deze aspecten moeten dus tijdens het ontwerp in beschouwing genomen worden.

De eisen voor elektrisch licht bepalen dat de kleur van het licht 'warm wit' moet zijn. Dit wil zeggen dat een lichtbron met een kleurtemperatuur tussen 2900 en 3300 K moet worden toegepast. Bovendien moet de lichtbron een kleurweergave hebben waarbij 'natuurlijke kleuren' goed waar te

Daglicht variabelen	
1	<i>Geve type</i> – Constructie type van de buitenmuur. Dit is belangrijk om te bepalen welke aanpassingen aan de gevel en welke toevoegingen mogelijk zijn.
2	<i>Raamoppervlakte</i> – Het percentage van de buitenmuur dat transparant is. Dit bepaalt de maximale hoeveelheid daglicht die de ruimte binnen kan komen.
3	<i>Raamoriëntatie</i> – De manier waarop het raam gepositioneerd is in de gevel. Dit geeft de voorkeur voor 'licht' (verticaal) of 'zicht' (horizontaal).
4	<i>Glastype</i> – Type glas dat is toegepast in het raam. Met name de kleur van het glas is belangrijk; getint glas geeft een verkleurd beeld van de buitenwereld.
5	<i>Features buiten</i> – De aanpassingen aan de buitenkant van de gevelconstructie. Deze kunnen de hoeveelheid licht die de ruimte binnenkomt beïnvloeden.
6	<i>Features gevel</i> – De aanpassingen aan de gevelconstructie zelf. Deze kunnen de hoeveelheid licht die de ruimte binnenkomt beïnvloeden.
7	<i>Features binnen</i> – De aanpassingen aan de binnenkant van de gevelconstructie. Deze kunnen de hoeveelheid licht die de ruimte binnenkomt beïnvloeden.
8	<i>Elementen buiten</i> – Zonweringen aangebracht aan de buitenkant van het raam. In het geval van een klimaatgevel, of een tweede-huid-gevel wordt deze zonwering tussen de glasoppervlakken geplaatst.
9	<i>Elementen binnen</i> – Zonweringen aangebracht aan de binnenkant van het raam.
Elektrisch licht variabelen	
10	<i>Lichtrichting</i> – De richting waarin het meeste licht het armatuur verlaat.
11	<i>Verlichtingssterkte</i> – De verlichtingssterkte zoals ontworpen binnen de voorgeschreven bandbreedte van 400-800 lux.
12	<i>Lichtverdeling in de ruimte</i> – De manier waarop het licht verdeeld wordt in de ruimte.
13	<i>Lichtbron</i> – Type lamp.
14	<i>Armatuurpositie</i> – De positie in de ruimte waar het armatuur is bevestigd.
15	<i>Armatuurtype</i> – Het rooster type in het armatuur ten behoeve van de afscherming van de lichtbron.
Regelingsvariabelen	
16	<i>Zonwering regeling</i> – Manier waarop de zonwering geregeld wordt; het onderscheid is gemaakt in mate van automatisering.
17	<i>Elektrisch lichtregeling</i> – Manier waarop het elektrisch licht wordt geschakeld, het onderscheid is gemaakt in het gebied dat tegelijkertijd geschakeld wordt.
18	<i>Regeloptie</i> – Type regeling.

TABEL 2: ACHTTIEN VARIABLEN VOOR KANTOORVERLICHTING

nemen zijn; de factor die kleurweergave aangeeft, R_a , moet tussen 80 en 90% liggen. De uniformiteit van het licht op het werkvlak moet 'hoog' zijn en er moet dus voorkomen worden dat schaduwpatronen of direct zonlicht op het bureau kan vallen. Tenslotte is het 'belangrijk' dat de armatuur afgeschermd is, waardoor alleen armaturen met een afschermhoek groter dan 30° kunnen worden toegepast.

Selecteren van variabelen

Tijdens dit project is een verlichtingsmodel ontwikkeld dat bestaat uit achttien variabelen die worden beschouwd als de belangrijkste factoren in de conceptuele ontwerpfase van kantoorverlichting, zie tabel 2.

De variabelen zijn in drie categorieën verdeeld:

- *daglichtvariabelen*, relevant voor het daglichtsysteem.
- *elektrisch lichtvariabelen*, relevant voor het elektrisch lichtsysteem.
- *regelingsvariabelen*, relevant voor de mogelijkheden om het daglicht te doseren en het elektrisch licht te regelen.

Van de negen daglichtvariabelen zijn er vier die betrekking hebben op de gevel zelf (variabele 1 t/m 4), drie geven mogelijke aanpassingen aan de gevel (variabele 5, 6 en 7) en de overige twee geven elementen weer die aan het raam kunnen worden toegevoegd (variabele 8 en 9). Er zijn zes variabelen voor de elektrische verlichting geïdentificeerd. Drie daarvan hebben betrekking op de hoeveelheid en de verdeling van het elektrisch licht (variabele 10, 11 en 12) en de andere drie op de armatuur (13, 14 en 15). De drie regelingsvariabelen beïnvloeden de hoeveelheid daglicht (variabele 16) of elektrisch licht (variabele 17 en 18).

Evalueren van ontwerp

Wanneer keuzes gemaakt zijn voor alle achttien variabelen wordt het verlichtingssysteem geëvalueerd op verschillende gebieden, die prestatie-indicatoren genoemd worden. De methode die hiervoor gebruikt wordt is de psychofysische methode, [7a] en [7b]. Hierbij worden voor alle alternatieve concepten per variabele prestatiewaarden bepaald ten opzichte van een referentieconcept (waarvan de waarde op 0 wordt genormaliseerd) voor de vijf prestatie-indicatoren die in dit project beschouwd worden:

- *Visueel comfort* – een subjectieve prestatieindex, die door ieder individu anders geïnterpreteerd wordt. Bekende oorzaken van visueel discomfort zijn verblinding, schaduwvorming, gebrek aan regelmogelijkheden voor zonwering en verlichtingssterkte.
- *Energie-efficiëntie* – omvat naast kosten voor het gebruik van energie ook de besparing die specifieke verlichtingsconcepten kunnen opleveren.

- *Initiële kosten* – omvat materiaalkosten en installatiekosten van het verlichtingssysteem.
- *Operationele kosten* – kosten veroorzaakt door reparatie en vervanging van onderdelen. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is worden energiekosten in deze index buiten beschouwing gelaten; deze zijn in de index *Energie efficiëntie* opgenomen.
- *Flexibiliteit* – geeft het gemak (in tijd en in kosten) weer waarmee een verlichtingssysteem kan worden aangepast wanneer door veranderingen in de organisatie andere eisen gesteld worden aan het verlichtingssysteem.

De prestatiewaarden per concept zijn in dit project geïmplementeerd op de manier die in tabel 3 wordt weergegeven. Vergelijking 1 is gebruikt om de vijf prestatie-indicatoren voor iedere oplossing te bepalen:

$$P_i = \frac{1}{18} \sum_{j=1}^{18} p_{i,j} \quad (1)$$

hierin is P de prestatiewaarde van het totale verlichtingssysteem, p is de prestatiewaarde van de variabele, i is een van de prestatie-indicatoren {visueel comfort, initiële kosten, operationele kosten, energie efficiëntie, flexibiliteit}, en j geeft een van de 18 variabelen weer.

Integrated Lighting System Assistant (ILSA)

Het model voor kantoorverlichting vormt de basis voor het beslissingsondersteunend computersysteem ILSA dat ontwikkeld is tijdens het hier beschreven promotiewerk. In het computersysteem zijn dezelfde drie ontwerpprocessen te onderscheiden die zich tijdens de hiervoor beschreven conceptuele ontwerpfase van kantoorverlichting afspelen:

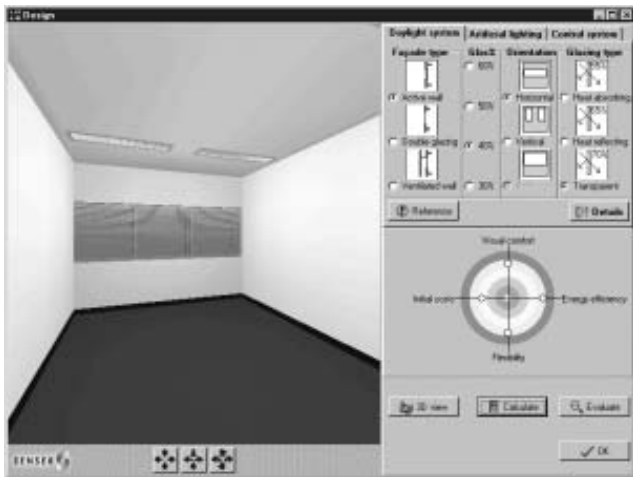
- Het selecteren van die eisen uit het algemene programma van eisen die voor het ontwerp van verlichtingsystemen van belang zijn, wat zich in ILSA beperkt tot het presenteren van een specifieke invulling voor het functionele programma van eisen.
- Het selecteren van de achttien variabelen die gezamenlijk het verlichtingssysteem vormen.
- Het evalueren van het uiteindelijke verlichtingssysteem op de vijf prestatiegebieden.

Ontwerpomgeving van ILSA

Het voert te ver om op deze plaats de werking van alle onderdelen van ILSA te beschrijven. Enkele aspecten van de ontwerpomgeving van ILSA, weergegeven in figuur 1, zullen hier wel worden toegelicht. Een van die onderdelen is een Virtual Reality component die een driedimensionaal beeld van de ruimte weergeeft. Wanneer een van de variabelen wordt gewijzigd, wordt ook het beeld aangepast.

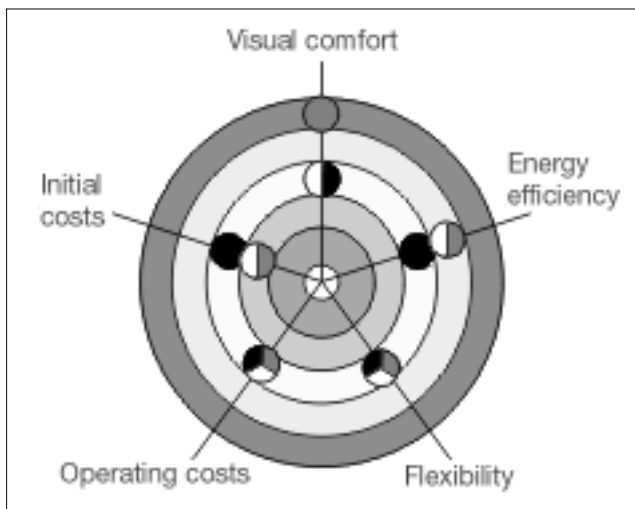
Verlichting systeem variabele j	P_j , visueel comfort	P_j , energie efficiëntie	P_j , initiële kosten	P_j , operationele kosten	P_j , flexibiliteit
Alternatief 1					
Alternatief 2					
·					
Alternatief n					

TABEL 3: TABEL STRUCTUUR VOOR DE PSYCHOFYSISCHE METHODE



FIGUUR 1: ONTWERPOMGEVING VAN ILSA, (1).

Een tweede onderdeel van de ontwerpomgeving van ILSA is de Radar Chart, die speciaal voor ILSA werd ontwikkeld. In figuur 2 is dit onderdeel uitvergroot weergegeven.



FIGUUR 2: RADAR CHART WAARMEE DE PRESTATIE WAARDEN IN ILSA GEVISUALISEERD WORDEN, (1).

De Radar Chart bestaat uit vijf ringen. Vanaf het centrum naar buiten toe bewegen impliceert een verbetering in prestatie t.o.v. het beschreven referentieontwerp (celkantoren TU-EINDHOVEN). De derde ring geeft aan dat de prestatie van het betreffende ontwerp evengoed is als het referentieontwerp op dat gebied. De vierde ring vanaf het midden geteld geeft een prestatie aan die beter is dan die van de referentieoplossing, terwijl de vijfde ring een veel betere prestatie aangeeft. Vanaf de rand naar binnen toe bewegen impliceert een vermindering in prestatie t.o.v. het referentieontwerp. De tweede ring, geteld vanaf het midden geeft een slechtere prestatie aan dan die van de referentieoplossing, terwijl de eerste een veel slechtere prestatie aangeeft. Iedere oplossing heeft zijn eigen kleur bolletjes in de Radar Chart waardoor de prestaties van vier verschillende oplossingen met elkaar vergeleken kunnen worden (de referentieoplossing heeft zwarte bolletjes).

Validatie

Tijdens het project hebben verschillende gelegenheden plaatsgevonden waarbij het ontwikkelde verlichtingsmodel

gevalideerd werd met deskundigen op het gebied van verlichting. Zo zijn er een zestal interviews geweest met zowel kunstlicht- als daglichtdeskundigen. Aan het einde van het project is er een workshop met dertien deskundigen georganiseerd waarbij ILSA getoond is en het verlichtingsmodel ter discussie is gesteld [8]. Het doel van deze workshop was het verkrijgen van feedback en het valideren van de geïmplementeerde kennis. De doelstellingen waren het valideren van:

- het verlichtingsmodel: *zijn de 18 geïdentificeerde variabelen de goede en is het model compleet?*
- de evaluatiemethode: *is het mogelijk een verlichtingssysteem te evalueren op basis van de prestatie van alle variabelen en zijn er geen tweede orde effecten?*

Als resultaat van deze validatie is naar voren gekomen dat de achttien variabelen in het geïmplementeerde verlichtingsmodel goed overeenkomen met de dagelijkse ontwerp praktijk van kantoorverlichting. Verder is gebleken dat het niet eenvoudig om overeenstemming te bereiken over de individuele prestaties van alle afzonderlijke concepten per variabele, terwijl tijdens de validatie van de evaluatiemethode voor twee complete cases wel overeenstemming is bereikt.

Conclusies

Het ILSA-prototype laat zien dat het mogelijk is om het nieuwe verlichtingsmodel en de evaluatiemethode te implementeren in een werkend prototype. Een uitontwikkeld computerprogramma waarin het ontwikkelde model en de methode zijn geïmplementeerd zal architecten kunnen assisteren en ondersteunen bij het nemen van beslissingen in de vroege ontwerpfase van geïntegreerd dag- en elektrisch lichtontwerp. Hiermee zal de communicatie tussen architecten en verlichtingsdeskundigen kunnen verbeteren; verlichtingsdeskundigen zullen hun kennis beschikbaar moeten blijven stellen en architecten zullen er gebruik van maken wanneer zij een conceptueel verlichtingsontwerp maken. Verder zal de kennisuitwisseling tussen onderzoekers en ontwerpers kunnen verbeteren, wanneer de onderzoeksinstituten samen met de verlichtingsdeskundigen ILSA actueel houden door nieuwe innovatieve concepten voor kantoorverlichting toe te voegen.

Het gebied waar ILSA op dit moment kan worden toegepast is echter erg beperkt: alleen voor kantooromgevingen die aan een bepaald programma van eisen voldoen, zijn de prestatiewaarden per concept in relatie tot een bepaald referentieconcept geïmplementeerd. Dus alleen voor een specifieke kantoorruimte kunnen voorspellingen gedaan worden voor vijf prestatiegebieden in relatie tot een bepaalde referentieoplossing. Desalniettemin zou de gebruikte kennisacquisitie methode herhaald worden om de prestatiewaarden te vinden in relatie tot andere specifieke programma's van eisen, andere referentieoplossingen en andere concepten. Verder wordt verondersteld dat het ook mogelijk moet zijn om dezelfde strategie toe te passen om de prestatiewaarden te vinden voor andere kennisgebieden dan kantoorverlichting.

Naschrift

Het in dit artikel beschreven ontwerpproject is uitgevoerd in het kader van een promotiewerk aan de Technische Universiteit Eindhoven dat werd ondersteund door het Stan Ackermans Instituut en dat onder supervisie stond van prof. P.G.S. Rutten en prof. H.J.P. Timmermans.

Referenties

- [1] Groot, E.H. de Integrated Lighting System Assistant. Dissertatie, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1999.
- [2] Rutten, P.G.S. en Trum, H.M.G.J. "Meer Ontwerpen dan Rekenen; een Meta-Ontwerpomgeving voor Gebouw en Installatie", *TVVL magazine* 4, pp. 14-22, 1998.
- [3] Groot, E.H. de, et al. "A Decision Support System for Preliminary Design" in Lacasse, M.A. and Vanier, D.J. (eds.) *Proceedings of the 8dbmc Conference*. pp. 970-979, 1999.
- [4] Rae, M.S. *Lighting Handbook; Reference & Application 8th edition*. Illuminating Engineering Society of North America, New York, 1993.
- [5] Zonneveldt, L. en Mallory-Hill, S.M. "Evaluation of Daylight Responsive Lighting Control Systems" in M.R. Atif (ed.) *Proceedings of Daylighting '98*. pp. 223-230, 1998.
- [6] *NEN 1890 (1991) Interior Lighting - Functional Requirements*. NNI, Delft.
- [7a] Veldhuisen, K.J. en Timmermans, H.J.P. "Voorkeuren en Waarderingen 1; een Drietal Meetsystemen", *Mens en Maatschappij* Vol. 56, No. 2, pp. 154-172, 1981.
- [7b] Veldhuisen, K.J. en Timmermans, H.J.P. "Voorkeuren en Waarderingen 2; de Vergelijking van een Drietal Meetsystemen", *Mens en Maatschappij* Vol. 56, No. 3, pp. 275-293, 1981.
- [8] Groot, E.H. de, en Mallory-Hill, S.M. *Proceedings WEDA-ILSA Workshop. FAGO-rapport*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1999.

KIERTERM: *de relatie tussen geluidwering en luchtdoorlatendheid*

Ing. Linda Evenhuis – Cauberg-Huygen RI
Ing. Jan Thijs Groenendijk – Verweij Architecten b.v.
Ir. Ruud van Herpen – Cauberg-Huygen RI



INLEIDING

De afgelopen jaren wordt er steeds meer aandacht besteed aan het toepassen van energiezuinige maatregelen in de bouw. De gestelde eis aan de energieprestatiecoëfficiënt wordt alsmar aangescherpt. Een maatregel die hier direct mee in verband staat, is het verminderen van de luchtdoorlatendheid van de gebouwmhulling. Deze luchtdoorlatendheid is te minimaliseren door middel van goede kier- en naadafdichting.

De geluidwering van de gebouwmhulling is evenzo afhankelijk van de mate van afdichting van kieren en naden. Bij afdichtingen die veel worden toegepast, is de geluidwering al bepaald. Deze zijn onderverdeeld in verschillende kierendichtingsklassen. Er is echter niet bekend welke luchtdoorlatendheid moet worden toegekend aan een bepaalde kierendichtingsklasse.

In het kader van een afstudeeronderzoek is bij Cauberg-Huygen de relatie tussen de geluidwering en de luchtdoorlatendheid van naden en kieren in kaart gebracht. Dit is vooral relevant bij het bouwen op geluidbelaste lokaties.

Luchttransport

De fysische processen bij de luchtstroming door een opening, zoals ramen en kieren, zijn zo ingewikkeld dat het niet haalbaar is om een formule op te stellen die de werkelijkheid nauwkeurig beschrijft. De lucht volumestroom door een opening kan worden benaderd met de volgende formule.

$$Q_v = C \cdot (\Delta p)^n \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

Hierin is:

Q_v = lucht volumestroom [m^3/s];
 C = capaciteit (lucht volumestroom bij 1 Pa drukverschil) [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa}^n)$]
 Δp = drukverschil over de gevel of het gevelement [Pa];
 n = stromingsexponent [-].

De stromingsexponent n varieert van 0,5 tot 1. Voor laminaire stroming geldt $n = 1$, voor turbulente stroming geldt $n = 0,5$. Wanneer $n < 1$ gedraagt de luchtstroomweerstand zich niet-lineair.

De capaciteit van openingen kan bepaald worden voor drie verschillende situaties; bij grote openingen, bij kanalen en bij

naden en kieren. De capaciteit voor naden en kieren is afhankelijk van de weerstandcoëfficiënt van deze openingen. Deze coëfficiënt is theoretisch niet nauwkeurig te bepalen; alleen door middel van metingen kan deze achterhaald worden. Voor kleine openingen, zoals spleten, naden en kieren, is de spleetdiepte en spleetvorm van belang. Voor de capaciteit geldt theoretisch het volgende verband:

$$C = \frac{A \sqrt{\frac{2}{\rho}}}{1 + \sqrt{\frac{\lambda \cdot l}{D + \sum \zeta_i}}} \quad [\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa}^n)] \quad (2)$$

Hierin is:

A = spleetoppervlakte in doorsnede [m^2];
 ρ = dichtheid van lucht [kg/m^3];
 λ = wandwrijvingscoëfficiënt [-];
 l = spleetdiepte [m];
 D = hydraulische diameter ($4 \times$ oppervlakte/omtrek) [m];
 ζ_i = weerstandsfactor van element i [-];
 i = het aantal weerstandsverhogende elementen in het kanaal (bocht, knik, vernauwing, etc.).

Voor de bijbehorende stromingsexponent geldt $n = 0,5$, zolang de stroming turbulent is. Dit is het geval bij relatief grote openingen. Bij kleinere openingen, zoals naden en kieren wordt die stroming meer laminair en ligt de stromingsexponent tussen de 0,5 en 1.

Geluidoverdracht

De theoretische geluidisolatie van spleten is alleen te benaderen, indien het rechte spleten zonder dichtingsprofiel betreft. De geluidisolatiewaarde van een spleet midden in een wand met spleetdiepte d en spleetbreedte b wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$R_{kier} = -10 \lg \left(\frac{m \cdot K_g}{2n^2 \cdot \sin^2(K_g(L + 2e)) + 2K_g^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Hierin is:

m = geluidsveldfactor; bij een spleet en diffuus veld; $m = 8$
 n = plaatsfactor, bij een spleet midden in een wand; $n = 1$

$$e = \text{de spleetverlenging}; \quad e = \frac{1}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{4.5}{K_g}\right) \quad [-]$$

$$L = \text{spleetslankheid}; \quad L = \frac{d}{b} \quad [-]$$

$$K_g = \text{het golfgetal}; \quad K_g = \frac{2\pi \cdot f \cdot b}{c} \quad [-]$$

d = spleetdiepte [m]

b = spleetbreedte [m]

f = frequentie [Hz]

c = voortplantingssnelheid van geluid [m/s]

boven $K_g = 1,5$ wordt R_{kier} 0 dB

Bij elke spleet met een bepaalde spleetbreedte en -diepte is sprake van een resonantieverschijnsel. Resonantie is in dit geval de eigentrilling van het luchtpakket in een opening. Bij eerder genoemd resonantieverschijnsel krijgt de isolatiewaarde een negatieve waarde rond de resonantiepieken. Praktisch vertaald betekent dit dat bij een negatieve isolatiewaarde het geluidveld aan de bronzijde van de spleet wordt beïnvloed alsof het geluid wordt aangezogen en daardoor wordt versterkt. Er gaat derhalve meer geluidenergie door dan op grond van de grootte van de opening kan worden verwacht. De frequentie van de resonantiepieken is afhankelijk van de diepte van de spleet. Hoe dieper de spleet, hoe lager de resonantiefrequentie. Mocht er sprake zijn van een direct geluidsveld in plaats van een diffuus geluidsveld dan kunnen er reflecties optreden in de spleet. Dit heeft (in tegenstelling tot resonantie) een positieve invloed op de geluidisolatiewaarde van die spleet.

Theoretische beschouwing

In de GGG 1997 is een formule aangehouden waarmee suskassen onderling op geluidwering en ventilatiecapaciteit vergeleken kunnen worden. Hiervoor is de grootte $R_{q;A}$ ingevoerd. Deze wordt als volgt bepaald:

$$R_{q;A} = D_{ne;A} + 101g(Q_v) - 40 \quad [\text{dB(A)}] \quad (4)$$

Hierin is:

$R_{q;A}$ = geluidisolatiewaarde van de suskast A-gewogen [dB(A)];

$D_{ne;A}$ = het A-gewogen niveauverschil genormeerd op 1m lengte

of 1 exemplaar en 10 m² ruimteabsorptie [dB(A)];

Q_v = de luchtvolumestroom [dm³/s] bij 1 Pa drukverschil per meter lengte of per stuk (bij puntvormige voorzieningen).

De term '-40' behoeft enige nadere uitleg. In de GGG 1997 wordt de bovenstaande formule op de volgende wijze uitgeschreven:

$$R_{q;A} = D_{ne;A} + 101g\left(\frac{Q_v}{1 \cdot 10^3 \cdot A_0}\right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (5)$$

Voor de ruimteabsorptie A_0 wordt 10 m² aangehouden. Q_v

wordt weergegeven in de eenheid [dm³/s]. De factor in de noemer ($1 \cdot 10^3$) is dus nodig om van de eenheid [dm³/s] naar de SI-eenheid [m³/s] te gaan.

De formule kan als volgt worden uitgeschreven:

$$\begin{aligned} R_{q;A} &= D_{ne;A} + 10 \lg Q_v - 10 \lg (1 \cdot 10^3 \cdot 10) \\ &= D_{ne;A} + 10 \lg Q_v - 40 \end{aligned}$$

Deze grootte heeft dus betrekking op het produkt per meter lengte bij langwerpige ventilatievoorzieningen (roosters/suskasten) of per stuk bij puntvormige voorzieningen (dempers). De luchthoeveelheid zal evenredig toenemen bij een grotere lengte of een groter aantal en het niveauverschil evenredig afnemen, zodat daarvoor dan dezelfde waarde van $R_{q;A}$ resulteert. De grootte $R_{q;A}$ kan evengoed voor ongedempte ventilatievoorzieningen als voor gedempte ventilatievoorzieningen worden gebruikt.

In het verleden werd veel met $R_{A, \text{netto}}$ gerekend. Dit is de luchtgeluidisolatie, gebaseerd op de oppervlakte van de netto doorlaat van de ventilatievoorziening. Hierbij wordt de geometrisch kleinste doorlaat van de voorziening voor de berekening genomen. De rekenkundige relatie tussen de waarden van de berekende geluidisolatie $R_{A, \text{netto}}$ en het genormeerde geluidniveauverschil $D_{ne;A}$ per octaafbandmiddenfrequentie van 63 t/m 4000 Hz wordt hierna gegeven:

$$D_{ne;A} = R_{A; \text{netto}} - 1 \log \frac{A_{\text{netto}}}{A_0} \quad [\text{dB(A)}] \quad (6)$$

Door deze vergelijking te substitueren in vergelijking (4) wordt het volgende resultaat verkregen, onder de aanname dat $A_0 = 10 \text{ m}^2$:

$$R_{q;A} = R_{A, \text{netto}} + 101g\left(\frac{Q_v}{A_{\text{netto}}}\right) - 30 \quad [\text{dB(A)}] \quad (7)$$

De geluidisolatie en de luchtvolumestroom bij spleten zijn beide afhankelijk van de spleetdiepte en de spleetoppervlakte. Er zijn echter twee factoren die alleen invloed hebben op de luchtvolumestroom. Bij verschillende materialen van de spleetwand en/of verschillende intreeverliezen blijft de geluidsisolatie gelijk en verandert de luchtvolumestroom. Evenzo zijn er factoren die alleen invloed hebben op de geluidisolatie van de spleet. Dit zijn de geluidveldfactor, de plaatsfactor en de frequentie van het invallende geluid.

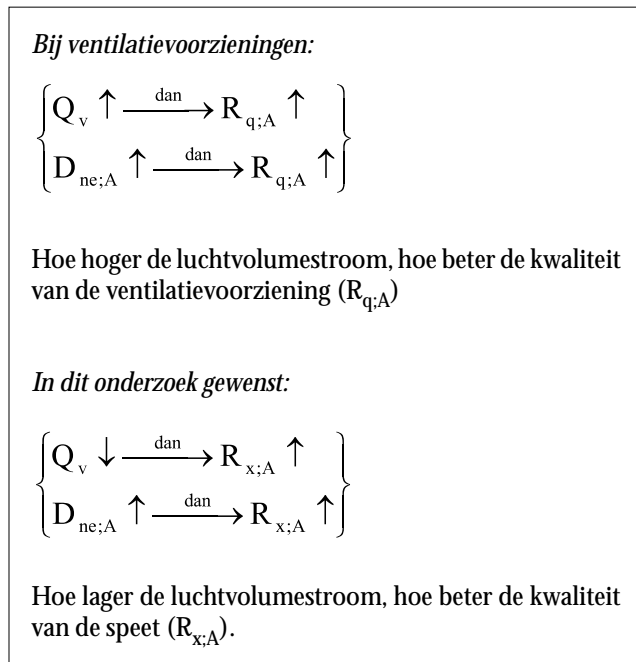
Om een relatie aan te kunnen tonen zullen de luchtvolumestroom en de geluidisolatie afhankelijk moeten zijn van dezelfde factoren. Er wordt uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- gladde spleetwand bijv. metaal, PVC, hout,
- scherpe hoek van de instroomopening,
- invallend diffuus geluidsveld,
- spleet in het midden van de wand.

Nu zijn de luchtvolumestroom en de geluidisolatie van de spleet alleen nog afhankelijk van de spleetdiepte en -oppervlakte. Bij een toenemende spleetdiepte neemt het geluidniveauverschil toe (m.u.v. de resonantiefrequentie) en neemt de luchtvolumestroom af. Bij een toenemende spleetbreedte is dit tegenovergesteld.

Kwaliteitscriterium voor spleten

Bij ventilatievoorzieningen zijn een hoge geluidisolatie en een grote volumestroom gewenst. Hoe hoger de $R_{q;A}$ -waarde, hoe beter de eigenschappen van de ventilatievoorziening. Bij spleten is juist een kleine volumestroom gewenst in combinatie met een hoge geluidisolatie. Dit wordt duidelijk gemaakt aan de hand van de volgende figuur.



FIGUUR 1: AANTONEN ONBRUIKBAARHEID $R_{q;A}$ -WAARDE ALS KWALITEITSCRITE RIUM.

Hiermee wordt aangetoond dat de $R_{q;A}$ -waarde geen bruikbare grootheid is voor het aantonen van de kwaliteit van de spleet met betrekking tot de geluidisolatie en de *luchtdichtheid*. De luchtdichtheid is immers tegengesteld afhankelijk van de lucht volumestroom ten opzichte van de luchtdoorlatendheid.

De geluidisolatie en de lucht volumestroom bij spleten zullen dus nog steeds afzonderlijk van elkaar moeten worden bekeken.

Het zou waardevol zijn om een grootheid, vergelijkbaar met de $R_{q;A}$ -waarde ($R_{x;A}$ in figuur 1), te kunnen hanteren voor de vergelijking van de kwaliteit van verschillende spleten, met betrekking tot de luchtdichtheid en de geluidisolatie. De vraag is echter hoe de lucht volumestroom moet worden ingevuld in een soortgelijke formule als formule (4).

Aangezien de luchtdichtheid tegengesteld afhankelijk is van de lucht volumestroom ten opzichte van de luchtdoorlatendheid, is het logisch een grootheid in te vullen in formule (4) die tegengesteld is aan de lucht volumestroom. Op deze manier is gekomen tot de volgende grootheid.

$$Q_v \xrightarrow{\text{wordt}} \frac{1}{Q_v}$$

Als deze waarde wordt ingevuld in formule (4) in plaats van de lucht volumestroom, volgt de volgende formule.

$$R_{1/q;A} = D_{ne;A} - 10 \lg(Q_v) - 40 \quad [\text{dB(A)}] \quad (8)$$

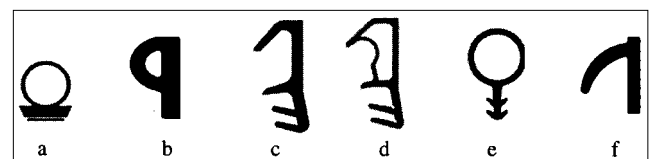
De grootheid $R_{q;A}$ is in bovenstaande formules vervangen door $R_{1/q;A}$. De waarde die de kwaliteit aangeeft, is nu niet meer direct, maar tegengesteld afhankelijk van de lucht volumestroom. Het gewenste resultaat dat weergegeven is in figuur 1 is hiermee bereikt. Bij een verlaging van de lucht volumestroom en / of een verhoging van de geluidisolatie neemt de $R_{1/q;A}$ -waarde en daarmee de kwaliteit van de spleet toe.

Metingen

De metingen zijn uitgevoerd in de geluidmeetkamers van het bouwfysisch/akoestisch laboratorium van Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs bv te Zwolle.

De volgende metingen zijn verricht:

- Spleten zonder dichting, met spleetbreedten van 1 t/m 8 mm;
- Spleten met de volgende dichtingen:
 - a) S 9612 (Deventer Benelux);
 - b) P146 (Deltafix);
 - c) 4050-S (Deventer Benelux);
 - d) 5200-S (Deventer Benelux);
 - e) 1320-C (Deventer Benelux);
 - f) V173 (Deltafix).



FIGUUR 2: BEPROEFDE PROFIELEN.

Om een zo breed mogelijk onderzoek uit te voeren wat binnen het tijdsbestek past, is gekozen voor profielen met verschillende vormen, bevestigingen en soorten materiaal. Er is gekomen tot profielen met een O-, V- en P-vorm, die bevestigd kunnen worden door middel van zowel een groef als een lijmrand. De bijbehorende materiaal soorten zijn EPDM, thermoplastisch elastomeer (TPE) en zacht PVC. De profielen c en d worden in de praktijk veel toegepast voor het behalen van een goede luchtdichtheid en geluidswering. De profielen a en e worden voornamelijk gebruikt als aanslagprofiel bij binnendeurzijzen. De profielen b en f zijn doe-het-zelf profielen en zijn afkomstig uit een bouwmarkt. Deze laatste profielen zijn meegenomen in dit onderzoek om de kwaliteit hiervan met eerder genoemde, professionele profielen te vergelijken.

Aan de hand van praktijkervaring wordt bij Stichting Kwaliteitscentrum Hout (SKH) gerekend met een kiermaat afwijking van 1 mm/m¹ kozijn. De maximale kozijnhoogte wordt in de KVT95 gesteld op 1,65 m. Dit resulteert in een maximale kiermaat afwijking van 1,65 mm. Om een veiligheidsmarge in te bouwen wordt deze afwijking naar 2 mm afgerond.

De spleten met dichtingsprofiel zijn gemeten bij drie verschillende spleetbreedten:

- de nominale spleetbreedte; deze is afhankelijk van het soort profiel en wordt aangegeven door de fabrikant;
- de spleetbreedte 2 mm groter dan de nominale breedte;
- de spleetbreedte 2 mm kleiner dan de nominale breedte.



FOTO'S VAN DE MEETOPSTELLING VOOR DE LUCHTDICHTHEIDSMETINGEN.

Evaluatie meetresultaten

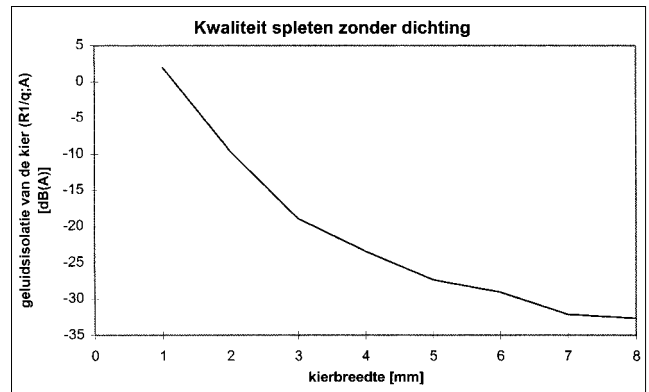
Spleten zonder dichting

Om de kwaliteit van de spleten zonder dichting weer te geven worden de meetwaarden van de luchtvolumestroom en het geluidniveauverschil gecombineerd in formule (8).

Speetbreedte [mm]	Luchtdoorlatendheid $Q_{v;10}$ [dm^3/s]	Geluidsisolatie $D_{ne;A}$ [dB(A)]	Kwaliteit $R_{1/q;A}$ [dB(A)]	$R_{q;A}$ [dB(A)]
1	0.23	35.6	1.98	-10.78
2	0.99	30.3	-9.66	-9.74
3	3.11	26.0	-18.93	-9.07
4	5.22	23.7	-23.48	-9.12
5	8.11	21.7	-27.39	-9.21
6	10.45	21.1	-29.09	-8.71
7	13.58	19.2	-32.13	-9.47
8	14.31	18.9	-32.66	-9.54

TABEL 1: KWALITEIT VAN DE GEMETEN SPLETEN.

In bovenstaande tabel is te zien dat bij een verlaging van de luchtvolumestroom en / of een verhoging van het geluidniveauverschil de kwaliteit van de spleet beter wordt beoordeeld in de $R_{1/q;A}$ -waarde.



FIGUUR 3: GRAFISCHE WEERGAVE KWALITEIT SPLETEN ZONDER DICHTING.

Met behulp van deze kwaliteitsaanduiding voor spleten zonder dichting kan bij een gemeten of berekende kierdichtingskwaliteit en een bepaalde spleetbreedte, een luchtvolumestroom berekend worden, uitgaande van een spleetdiepte van 0,125 m. Hierbij bevindt de resonantiefrequentie zich bij 1000 Hz. Dit is het meest ongunstig voor vrijwel alle geluidspectra. Bij een andere spleetdiepte zal de A-gewogen geluidsisolatiewaarde hoger zijn. De hier beschouwde spleetdiepte kan dus ook als veilige inschatting worden beschouwd.

In tabel 1 zijn ook de $R_{q;A}$ -waarden weergegeven. Deze blijven redelijk constant, ongeacht de spleetbreedte. Als de $R_{q;A}$ inderdaad als constant mag worden beschouwd zou dit zeer bruikbaar zijn voor de omrekening van de volumestroom ($Q_{v;10}$) naar het geluidniveauverschil van spleten ($D_{ne;A}$) en vice versa. Bij een gemeten luchtvolumestroom van een gevel kan dan, zonder het bepalen van de spleetlengte, een geluidsisolatie worden toegekend aan de spleten in die gevel. Dit geldt ook voor het toekennen van een luchtvolumestroom bij een gemeten geluidniveauverschil. Dit is weergegeven in onderstaande tabel, met behulp van de naar $Q_{v;10}$ omgerekende c-waarden voor klasse 1 uit tabel 2: 'Gevel' van de SBR 360. Voor de stromingsexponent is 0,625 aangehouden. Dit is een gemiddelde voor woningen volgens SBR 360.

Omschrijving detail, geen dichting toegepast	$Q_{v;10}$ [dm^3/s]	$D_{ne;A}$ [dB(A)]	$R_{q;A}$ [dB(A)]
Aansluiting langsgevel aan bouwmuur/kopgevel	0.042	44.4	-9.4
Aansluiting langsgevel aan verdiepingsvloer	0.084	41.4	-9.4
Aansluiting binnenspouwblad aan spouwlat	0.211	37.4	-9.4
Aansluiting spouwlat aan kozijn	0.211	37.4	-9.4
Andere naden en springen binnenspouwblad	-	-	-9.4
Aansluiting kozijn draaiende delen	0.633	32.6	-9.4
Erkerkozijnen (aansluiting twee kozijnen)	0.211	37.4	-9.4

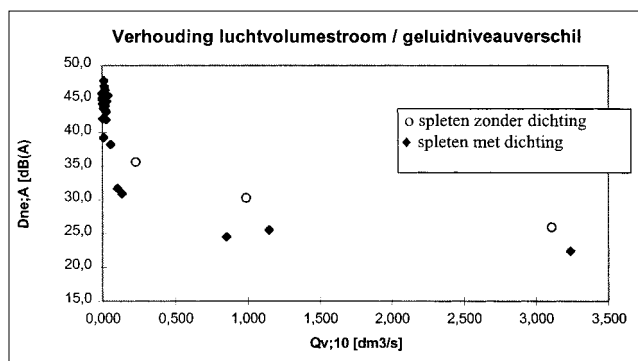
TABEL 2: $D_{ne;A}$ -WAARDEN BIJ LUCHTDICHTHEIDSKLASSE 1 (SBR 360).

Er kan nog niet met zekerheid gezegd worden of de $R_{q;A}$ constant (ca. -9,4 dB(A)) verondersteld mag worden, met name bij een spleetbreedte kleiner dan 2 mm. Voor dergelijk kleine spleetbreedten zijn in dit onderzoek te weinig metingen verricht. Om dit vast te stellen is een vervolg op dit onderzoek noodzakelijk. Wel kan worden aangenomen dat bij kleinere spleetbreedten (< 2mm) de $R_{q;A}$ -waarde afneemt.

Spleten met dichting

Evenals bij spleten zonder dichting zouden de meetresultaten van de luchtvolumestroom en het geluidniveaoverschil bij spleten met dichting gecombineerd moeten worden met behulp van formule (8). De gemeten luchtvolumestromen zijn echter verwaarloosbaar, zodat de profielen hierop onderling niet vergeleken kunnen worden. Omdat de luchtvolumestroom een term is in de formule voor de berekening van de $R_{1/q;A}$ -waarde, is deze eveneens niet bruikbaar voor het onderling vergelijken van de profielen met betrekking tot de luchtvolumestroom en het geluidniveaoverschil.

Er kan echter wel op een andere wijze iets gezegd worden over de verhouding tussen de luchtvolumestroom en het geluidniveaoverschil. In onderstaande grafiek is het geluidniveaoverschil van alle metingen van spleten met dichting uitgezet tegen de bijbehorende luchtvolumestroom. Ter vergelijking zijn drie meetpunten van spleten zonder dichting toegevoegd aan de grafiek, die binnen hetzelfde bereik liggen.



FIGUUR 4: VERHOUDING LUCHTVOLUMESTROOM MET GELUIDNIVEAUVerschIL.

Boven een geluidniveaoverschil van 40 dB(A) heeft de luchtvolumestroom relatief zeer kleine waarden, zodat deze op nul gesteld kan worden. Het geluidniveaoverschil wordt dan alleen bepaald door de eigenschappen van het profiel, zoals de vorm en het materiaal. De grenswaarde van het geluidniveaoverschil bij enkele dichting en volledige luchtdichtheid kan op ca. 45 dB(A) gesteld worden; een begrenzing als gevolg van de isolatiewaarde van het dichtingsprofiel. Bij een spleetbreedte van 2mm +nominaal lijkt de verhouding tussen $D_{ne;A}$ en $Q_{v;10}$ op die van spleten zonder dichting. Dit gaat op bij profielen die niet volledig terugveren na indrukking en bij profielen met een geringe profielhoogte. Naast de eigenschappen van het profiel speelt hier ook de luchtdichtheid van de spleet opnieuw een rol. De geluidsisolatiewaarden van de spleten met dichting liggen hier iets onder de waarden van de spleten zonder dichting. Dit verschilt circa 5 dB(A) in $D_{ne;A}$, als gevolg van een grotere spleetbreedte bij spleten met dichting, waarbij naast de luchtdoorlatendheid ook de geluidswering van het profiel een rol speelt.

Bij het berekenen van de geluidswering van de gevel wordt gerekend met de geluidniveaoverschillen, behorende bij de nominale indrukking van het betreffende profiel. Volgens figuur 4 is de hierbij behorende luchtvolumestroom verwaarloosbaar. In de praktijk moet echter rekening worden gehouden met een kiermaatafwijking van ca. 2 mm. In veel gevallen zal hierdoor de luchtvolumestroom groter zijn en daarmee het geluidniveaoverschil kleiner. Dit zou betekenen dat bij het berekenen van de geluidsisolatie indien hiervoor niet gecorrigeerd wordt, een te gunstige kierterm wordt aangehouden.

Conclusie

Bij spleten zonder dichting is het mogelijk om de kwaliteit van die spleten aan te geven met behulp van de $R_{1/q;A}$ -waarde. Bij een verlaging van de luchtvolumestroom en/of een verhoging van de geluidsisolatie van de spleet, zal de kwaliteit verbeteren. Deze kwaliteit is echter nog wel afhankelijk van de vorm, de breedte en de lengte van de spleet. Met behulp van de formule van de $R_{q;A}$ kan voor bijvoorbeeld een gevel een $Q_{v;10}$ -waarde en/of een $D_{ne;A}$ -waarde worden bepaald, ongeacht de vorm, breedte of lengte van de aanwezige spleten. Dit gaat op als de $R_{q;A}$ -waarde als constant mag worden beschouwd. Hoewel dit lijkt op te gaan, is verder onderzoek noodzakelijk. De resultaten uit dit onderzoek moeten dan ook met enige voorzichtigheid gebruikt worden.

De $R_{q;A}$ - en de $R_{1/q;A}$ -waarden zijn niet bruikbaar bij spleten met dichting. De gemeten luchtvolumestromen naderen tot nul en zijn in feite bijna verwaarloosbaar. Hierdoor zullen de eerdergenoemde waarden alleen afhankelijk zijn van de geluidsisolatiewaarden van de profielen. Als de luchtvolumestroom grotere waarden aanneemt (bij een grotere spleet dan nominaal) zal deze zich, ten opzichte van de geluidsisolatie, gaan verhouden vergelijkbaar met spleten zonder dichting, zij het met een circa 5 dB(A) slechtere $D_{ne;A}$ -waarde.



OP BOVENSTAANDE FOTO IS TE ZIEN DAT EEN HELE PUI UIT DE MUUR GEZOGEN IS. DIT IS HET GEVOLG VAN EEN IETS TE GROOT DRUKVERSCHIL OVER DEZE PUI.