

## Auteurs

Dr. ir. P. (Peter) J.W. van den Engel, docent/onderzoeker TU-Delft en zelfstandig adviseur;  
Ing. S. (Stanley) R. Kurvers, zelfstandig adviseur

# Integraal ontwerpen nodig bij hybride ventilatie en meer daglicht in gebouwen

*Vroeger werden gebouwen natuurlijk geventileerd en daglicht was de voornaamste bron van verlichting. Het binnenklimaat was vooral afhankelijk van het type gevel, dak, thermische massa en lokale verwarming. Overal in de wereld kunnen voorbeelden van traditionele gebouwen worden gevonden met een binnenklimaat waarin mensen zich comfortabel voelen door zichzelf en de omgeving aan te passen om comfort te bereiken. In zekere zin zouden dit prototypes kunnen zijn van moderne gebouwen. Aan de andere kant zijn de eisen voor architectonische expressie, gebruik, comfort en energie nu anders, wat om een nieuwe benadering vraagt. De isolatie van gebouwen, van de dichte en transparante delen, is zodanig verbeterd dat nauwelijks meer ruimteverwarming nodig is. Voorkomen van onnodige koeling vraagt nu de meeste aandacht. Het vinden van de juiste hoeveelheid daglicht en zonlicht, in elk seizoen en bij verschillend weer, zou een belangrijk ontwerpdoel moeten zijn. Natuurlijke en lage druk ventilatie biedt daarnaast veel mogelijkheden om plaatselijk comfort te verbeteren en ventilator- en koelenergie te verminderen. Er is een sterke relatie met het ontwerp van de gevel en de architectonische expressie. Verschillende voorbeelden van over de hele wereld worden besproken.*

## Passief bouwen: het laaghangende fruit?

Om een energieneutraal gebouw te maken is het gewenst eerst na te gaan waar er op energie kan worden bespaard. Dit zijn onder andere de posten ventilatie, verwarming, koeling en verlichting. Door een gebouw goed te isoleren en enige thermische massa, of bij lichtgewicht-gebouwen Phase Change Materials, toe te voegen kan warmte en koude in het gebouw worden opgeslagen. Ventilatie kan zo veel mogelijk natuurlijk gebeuren en door in het koelseizoen in de nacht te ventileren wordt het gebouw afgekoeld. Gebruikers hebben dan ook meer

mogelijkheden en tijd om zich aan het klimaat aan te passen [1]. Mensen in gebouwen proberen zo veel mogelijk thermisch comfortabel te zijn door verschillende vormen van adaptatie:

- Gedragsaanpassingen, bijvoorbeeld door andere kleding of activiteiten;
- Aanpassingen aan de omgeving, bijvoorbeeld door de thermostaat anders in te stellen of ramen te openen of sluiten.

In natuurlijk geconditioneerde gebouwen zijn beide mogelijkheden meestal aanwezig, maar in gebouwen met centraal geregelde klimaatregeling is de tweede mogelijkheid vaak beperkter en wordt persoonlijke beïnvloeding bemoeilijkt wat tot discomfort en klachten over het binnenklimaat kan leiden [2].

Intelligent gebruik van zon- en daglicht speelt hier een belangrijke rol. In het stookseizoen kan gebruik worden gemaakt van zonnewarmte, in het koelseizoen moet deze worden gedempt of geweerd. In veel gebouwen is het zichtbaar dat de mate van zonwering ook weer niet zo groot moet zijn dat een onnodig groot gebruik van kunstlicht ontstaat. Dit heeft behalve met de hoeveelheid licht en de diepte van het gebouw ook te maken met de kwaliteit van het daglicht en gebrekkige regeling. De meeste aandacht vragen:

- Reflecties van ramen (en verlichtingsarmaturen) in beeldschermen;
- Te grote helderheidsverschillen tussen beeldschermen en ramen (en verlichtingsarmaturen).

Het is de uitdaging voor ontwerpers te weten hoe een gebouw bouwfysisch optimaal kan worden ontworpen. In de discussie over energieprestaties wordt vaak gevraagd in hoeverre het verantwoord is om meer uit te geven aan de bouwkundige schil in plaats van installaties. Het gaat hier evenwel meestal niet om meer geld maar vooral om slimmer bouwkundig ontwerpen, het eigenlijke probleem wordt daardoor ontweken. Installaties zijn vooral zinvol om te ongunstige pieksituaties (te koud, te warm, te weinig lucht of licht) te compenseren.

## Alliesthesia

Voor een optimaal ontwerp gaat het niet alleen om techniek en besparingen, maar vooral om hoe gebruikers de omgeving ervaren, bijvoorbeeld zon, licht, luchtbeweging en geur. Bij thermisch comfort bijvoorbeeld is er lange tijd vanuit gegaan (vooral op basis van klimaatkameronderzoek) dat temperaturen het beste binnen een bandbreedte constant kan worden gehouden. Recentere onderzoeken laten zien dat mensen variatie in temperatuur waarderen. Dit wordt inmiddels ook erkend en is in richtlijnen opgenomen, bijvoorbeeld de adaptieve grenswaarden in de ISSO 74 [3].

Aangename omstandigheden worden wel aangeduid met de term "alliesthesia". Kort gezegd, als de interne staat van het lichaam niet optimaal is dan zal een stimulus die corrigerend is als aangenaam worden ervaren. Eten is bijvoorbeeld plezieriger wanneer je honger hebt, dan wanneer je al voldaan bent.

Toegepast op het thermisch binnenklimaat kan plaatse-lijke afkoeling of opwarming van het lichaam ook als erg prettig worden ervaren [4, 5, 6]. Wanneer bijvoorbeeld de kerntemperatuur van het lichaam lager wordt dan zal opwarming van een deel van het lichaam de kerntemperatuur weer naar de setpoint brengen en zal dit een plezierig gevoel geven. Maar wanneer een deel van het lichaam juist afkoelt en het verschil met de setpointtemperatuur juist groter wordt dan zal dit als onplezierig worden ervaren. Wanneer iemand bijvoorbeeld na een koude winterwandeling het koud heeft kan het bijzonder prettig zijn om bij een warme kachel te gaan zitten, ook als de warmteblootstelling daarbij zo groot is dat we dit onder normale omstandigheden als te heet zouden ervaren.

Het gevoel van thermische onbehaaglijkheid neemt als het ware af door overcompensatie, waarschijnlijk omdat dit sneller tot een thermisch neutrale situatie leidt. Een ander voorbeeld is een plafondventilator die op warme dagen een koele bries geeft wat als heel aangenaam wordt ervaren, omdat zo de kerntemperatuur weer richting setpoint gaat. Onbewust streven mensen in dergelijke situaties naar het stimuleren van de zintuigen. Zon op je huid, voldoende zonlicht na een donkere dag, een koel briesje in de zomer door het open raam of balkondeur zijn voorbeelden van ervaringen die niet zonder meer door een klimaatinstallatie zijn te vervangen [2].

## Architectuur

Bij het ontwerp van een gebouw staat naast het welbevinden van de gebruikers ook de kwaliteit van de architectuur centraal. Natuurlijk kunnen smaken verschillen, de één zal houden van een meer klassieke stijl terwijl de ander meer wordt geïnspireerd door het strakke "nieuwe bouwen", dit verschil is het duidelijkst te zien in recente nieuwbouwwijken met vrije kavels. Overigens zijn er ook binnen deze stijlen veel verschillen, zoals de mate van transparantie van gevels en allerlei overgangsvormen. Architectuur bepaalt voor een groot deel hoeveel glas er op welke oriëntatie wordt toegepast en dat heeft direct gevolgen voor de kwaliteit van het daglicht en de hoeveelheid koeling die nodig is. Architectuur zou zich daarom moeten aanpassen aan de oriëntatie. Het komt daarnaast vaak voor dat architecten vertellen dat ze in overleg met gebruikers gebouwen (her)ontwerpen, terwijl achteraf het aantal klachten aanzienlijk blijkt te zijn. Met klachten worden hier vooral klachten over het binnenklimaat bedoeld en gebrek aan privacy en identiteit. Hier is dus nog een wereld te winnen.

## Identiteit en privacy

Hoezeer mensen zich kunnen hechten aan een bepaalde plek wordt weergegeven door de kunstenaar Do Ho Suh die in de zomer van 2019 in het museum Voorlinden een expositie had. Het huis en de tuin van zijn



**Figuur 1a en 1b:** Weergave principes van identiteit, geborgenheid, openheid en privacy: **1a** Bridging Home, London' (2018) © Do Ho Suh. Courtesy of the artist, Lehmann Maupin and Victoria Miro. Photo HOK.

**1b** Newton Library, Patkau Architects, Surrey, British Columbia, Canada [7]



jeugd projecteert hij op diverse onherbergzame stedelijke plekken op de wereld om te onderzoeken hoe hij zich daarmee innerlijk verhoudt. Het is een ultieme poging om de eigen identiteit terug te vinden in een wereld waar je geen vat op hebt.

Het gemis aan privacy en een eigen plek doet zich vooral voor in kantoorruimten. Het is een trend die eerst in de Verenigde Staten en sinds 50 jaar in onze eigen regio niet meer is te keren met als argument de behoefte aan communicatie, ruimte en openheid. Aanvankelijk werd dit in ons land ook verwelkomd. In een artikel in het tijdschrift *Wonen/TABK* uit het begin van de jaren 70 werd ironisch gesproken over "de hokjesgeest van de Rijksgebouwendienst". Werkgevers en sommige architecten denken vaak dat in een kantoorruimte de productiviteit wordt verbeterd. Dit heeft vooral te maken met een bepaald ideaalbeeld over hoe mensen ruimten en elkaar ervaren. Op zich is deze behoefte aan contact en openheid niet verkeerd en zelfs stimulerend als deze wordt gecombineerd met voldoende privacy zoals bij combikantoren mogelijk is, anders werkt het averechts en sluiten mensen zich juist meer af. Veldonderzoeken laten echter zien dat hoe groter het aantal werkplekken per werkruimte is, des te groter het aantal klachten is over thermisch comfort, binnenluchtkwaliteit, geluidshinder, visueel comfort en lichamelijke symptomen, waaronder vermoeidheid, hoofdpijn en concentratieproblemen, zie bijvoorbeeld [8, 9]. De veronderstelde verbetering van communicatie, samenwerking en interactie blijkt niet toe te nemen met het groter worden van het aantal werkplekken per ruimte. Het blijft een uitdaging om uit te vinden welk soort omgeving het meest optimaal is. De Newton library van Patkau architecten (figuur 1b) is een aardig voorbeeld van een gebouw waarin naar de juiste balans is gezocht: een combinatie van voldoende privacy, visueel contact en verschillende daglicht/uitzichtervaringen die passen bij de functies in het gebouw. Het plezier hebben aan contact met buiten wordt niet alleen bepaald door de beleving en dynamiek van het daglicht en het uitzicht, maar ook door de relatie met buitenlucht [10].

#### Natuurlijke ventilatie

Positieve kanten van natuurlijke ventilatie zijn het gevoel direct contact met buiten te hebben en de als prettig ervaren variërende luchtbeweging. Daarnaast is de luchtkwaliteit vaak beter dan met mechanische ventilatie mogelijk is, uiteraard afhankelijk van de locatie en soms het tijdstip van ventileren. Geurproeven (olf/decipol) zouden dat kunnen onderbouwen. Dit heeft onder meer

te maken met onvermijdelijke vervuiling van kanalen en filters. Filters filteren meestal alleen deeltjes en geen gassen, dampen en fijnstof. Over de noodzaak en het nut van filteren van lucht bestaan grote verschillen van inzicht. Het heeft sterk te maken met hoe de kwaliteit van de buitenlucht wordt gewaardeerd, die uiteraard in de tijd varieert. In het algemeen gesproken is de buitenlucht veel schoner dan binnen [11], vooral voor specifieke zones zoals bij drukke verkeerswegen en voor specifieke personen (zoals astmapatiënten die last hebben van houtkachels) heeft filtering zin.

Bij kantoorruimten is natuurlijke ventilatie via te openen ramen lastiger te realiseren dan bij kamerkantoren: er zal eerder tocht-hinder ontstaan, omdat luchtstromingen in dat geval moeilijker controleer- en beïnvloedbaar zijn. Uiteraard hangt dit sterk samen met de regelmogelijkheden van de ramen, en waar en met welke temperatuur lucht naar binnenkomt. Bij koude buitenlucht geldt, hoe hoger en hoe beter gespreid de lucht kan worden toegevoerd, hoe minder kans op tocht. Een kleine kierstand van de ramen moet dan mogelijk zijn. Er zijn inmiddels voldoende voorbeelden van kantoorruimten waar natuurlijke ventilatie door het jaar heen goed functioneert [1, 12], maar meestal gaat het dan om luchttoevoer via tweede huidramen of gevels, of lucht die via atria naar binnenkomt. De invloed van de wind is dan klein en de lucht is dan al enigszins voorverwarmd. In het pas verbouwde Rijkskantoor Rijnstraat 8 in Den Haag (voormalige VROM-gebouw, architect Ellen van Loon van OMA) wordt een deel van het gebouw via ramen en atria natuurlijk geventileerd. Gebruikers hebben hier veel vrijheid om te kiezen waar ze gaan zitten, zodat de kans op comfortklachten kleiner is.

#### Zon, daglicht en uitzicht

Een gevoel van "thermisch plezier" kan zich ook voordoen bij een zitplaats bij een raam als de zon op je huid schijnt. De positie van de zon en de kleur van het daglicht verbind je met de tijd en de seizoenen, en brengt bepaalde stemmingen teweeg. Juist deze variatie is nodig om ons prettig te voelen en de kans te verminderen dat er kantoor- of beeldschermstress ontstaat [7]. In musea zoals het Kimberly Art Museum (Louis Kahn en Renzo Piano) en het Museum Voorlinden (Kraaijvanger Architects) staat het gebruik van daglicht en uitzicht weer centraal. Uitzicht biedt naast afleiding, ook een gevoel van veiligheid wat mogelijk in ons onderbewustzijn teruggaat tot de tijd dat we onszelf tegen wilde dieren moesten beschermen [13]. Horizontaal georiënteerde ramen, met uitzicht op groen, water of een weids uitzicht hebben bij gebruikers de voorkeur. Daglichtfactoren tussen de 1 en 3,6 % leveren het beste visueel comfort op. Dit laat zien dat "meer" niet altijd beter is [14].

## Zinnvolle transparantie

Natuurlijke ventilatie heeft eigenlijk alleen zin als eerst wordt voorkomen dat een gebouw te warm wordt. Daarbij helpt ventilatie ook weer om een gevel zelf te koelen zoals bij klimaatgevels het geval is. In 1922 ontwierp Mies van der Rohe een iconisch volledig glazen gebouw. Het is nooit gebouwd. Het hoofdkantoor van de Rabobank, dat er een beetje op lijkt, is wel gebouwd. Wat was het verschil? Het belangrijkste verschil is dat het hoofdkantoor is voorzien van een geventileerde 2<sup>e</sup> huidfaçade, zodat bij afgesloten horizontale lamellen in de spouw maar 10 % van de hoeveelheid zon wordt doorgelaten. De warmtelast binnen is daardoor "slechts" 30 W/m<sup>2</sup> vloeroppervlak, wat actieve koeling nog steeds onvermijdelijk, maar wel beheersbaar maakt. Pas bij een externe warmtelast van onder de 10 W/m<sup>2</sup> kan actieve koeling achterwege worden gelaten. Bij een koellast van circa 30 W/m<sup>2</sup> (intern + extern) kan nog juist op een natuurlijke manier worden gekoeld.

Een g-waarde van 0,06 is ook mogelijk, maar dan moet worden gedacht aan buitenzonwering en zonwerend glas met een g-waarde van 0,30 of lager en een lichtdoorlatendheid boven de 0,6. Een met zonwering instelbare g-waarde van 0,03 is bij een volledig transparante gevel het meest ideaal, maar dit gaat enigszins ten koste van de lichtdoorlatendheid.

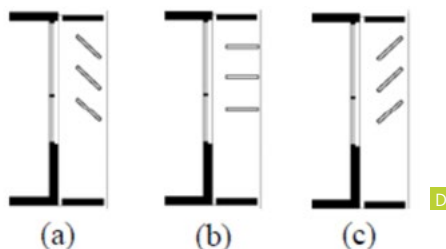
Buitenzonwering is voor hoogbouw doorgaans niet praktisch, tenzij wordt gedacht aan brise soleil-oplossingen zoals Le Corbusier en Oscar Niemeyer vanaf 1933 zijn gaan toepassen, na zeer negatieve ervaringen van Le Corbusier met volledig glazen gebouwen in jaren daarvoor [1]. Technisch is vrijwel volledige transparantie mogelijk, maar de belangrijkste vraag is of het wenselijk is tegen de achtergrond van de volgende vragen:

**a. Hoe wordt het gewaardeerd door de gebruiker?**

Bij het ontwerp van een volledig glazen gevel wordt de gebruiker meestal niets gevraagd. Gebruikers waarderen wel daglicht en uitzicht, maar hebben ook behoefte aan privacy en een voldoende koele woning. In sommige woningen worden volledig glazen gevels wel gewaardeerd, maar dit hangt mede af van de oriëntatie, type zonwering en regelbaarheid van de openingen. De wijze van bouwfysische optimalisatie (het mag niet te warm worden) is doorgaans doorslaggevend.

**b. Wat betekent het voor de koelbehoefte?**

Een volledig glazen gevel leidt altijd tot een onnodig hoge koelbehoefte, ook al kan deze bij een tweede huidgevel tot onder



**Figuur 2:** Weergave vormen van transparantie en oplossingen om nadelen tegen te gaan

**2a** Hoogbouwprijsvraagontwerp Friedrichstrasse Berlijn, Mies van der Rohe, 1922.

Digital Image @ 2017 MoMA, NY/Scala, Florence.

**2b** Hoofdkantoor van de Rabobank, Kraaijvanger, 2011

**2c** Ministerie van onderwijs en gezondheid, Rio de Janeiro, Oscar Niemeyer e.a., 1933

**2d** Verschillende instelmogelijkheden van de brise soleil

de 30 W/m<sup>2</sup> worden teruggebracht. De zone onder de 0,70 m boven de vloer (normaal borstwering) draagt vrijwel niet bij aan het daglichtniveau in de ruimte en kan meestal beter worden afgesloten, tenzij het uitzicht naar beneden belangrijk is. Ook in dat geval is het niet nodig de hele borstwering transparant te maken.

### c. Wat is de invloed op het gebruik van kunstlicht?

Het blijkt dat de hoeveelheid licht via een volledig transparante gevel zo groot wordt dat gebruikers de neiging hebben om de lichtwering dicht te zetten, zodat het kunstlicht vaak aan blijft [15]. Dit hangt uiteraard samen met de keuze van het materiaal van de lichtwering. Bij een zekere mate van transparantie is dit niet altijd het geval, maar dan wordt de g-waarde meestal ook hoger. Opvallend is in ieder geval dat als van buiten via (vrijwel) volledig transparante gevels naar binnen wordt gekeken het kunstlicht meestal aan is. Door de grote contrastverschillen van het licht bij de gevel en bij de gangzone hebben gebruikers bovendien het gevoel dat het achterin donker is, terwijl er in de praktijk vaak voldoende licht is. Ook dan wordt het kunstlicht aangedaan. Dat was ook de ervaring bij een eigen energieonderzoek bij Deerns van het hoofdkantoor van de ABN Amro in Amsterdam in 2006. De conclusie is dat het logischer is te kiezen voor maximaal 60% glas of minder, of brise soleil oplossingen te combineren

met slimme lichtwering. Diffuus licht wordt bovendien als prettiger ervaren om bij te werken, zodat 100% transparantie niet gunstig is. In het verleden, toen er nog geen actieve koeling was, waren glaspercentages van 20% of lager zelfs gebruikelijk. Dit is bijvoorbeeld in het Empire State Building het geval, dat oorspronkelijk tevens natuurlijk was geventileerd [12].

Bij natuurlijke ventilatie via de gevel is een diepte van de ruimte van ongeveer tweemaal de ruimtete hoogte voldoende. Deze vuistregel wordt ook vaak gebruikt bij de invloed van daglicht. Daglicht is meestal voldoende voor een ruimtediepte van tweemaal de hoogte van het raam. Variaties op deze regel zijn natuurlijk mogelijk als er veel lichtgekleurde vlakken (reflecties) zijn, de ruimte hoger is, een deel van de ramen hoog zijn geplaatst en als bijvoorbeeld daklichten of atria worden gebruikt. Het Reid-gebouw van Steven Holl, een kunstacademie, laat zien dat het mogelijk is om een goede balans te vinden tussen zonlicht, daglicht en diffuus licht voor zomer en winter [16]. Het gebouw wordt grotendeels natuurlijk geventileerd waarbij 3 centrale schachten zowel daglicht in het gebouw brengen als lucht afvoeren.

In het Ionica-gebouw in Cambridge (1994) met 55% glas op het zuiden en 30% op het noorden is er 80% van de kantoor tijd voldoende daglicht en is de warmte last nog steeds zo laag dat het mogelijk is via een combinatie van natuurlijke (nacht)ventilatie met verdringingsventilatie het gebouw te klimatiseren [7, 17]. Er is een intelligente combinatie van vaste half transparante



**Figuur 3:** Reid gebouw van de kunstacademie van Glasgow, Steven Holl, 2014

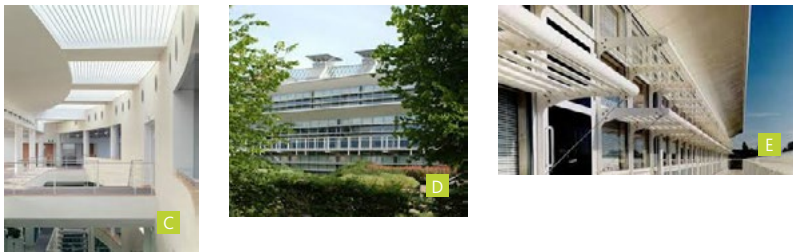
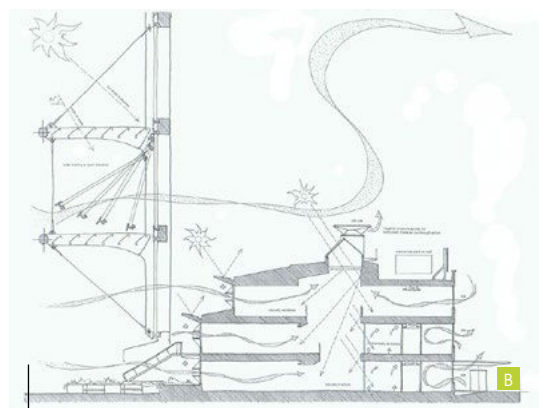
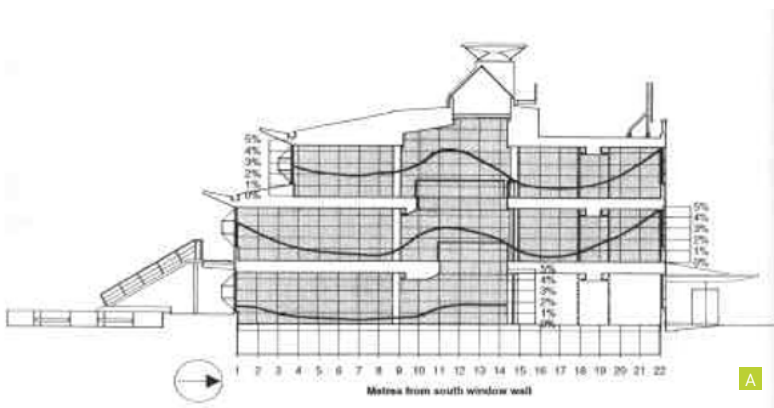
**3a** Studiemodel met de 3 lichtkokers zichtbaar

**3b** Natuurlijke toevoer via ramen

**3c** Licht- en luchtafvoerkoker. Bovenin de koker bevinden zich ramen die de lucht afvoeren.

**3d** Weergave zon- en daglichtgebruik in verschillende seizoenen (zuid-noord doorsnede)





**Figuur 4:** Beelden van het Ionica-gebouw in Cambridge (RH Partnership, 1994) **4a** Daglichtfactoren van zuid naar noord; **4b** Principe daglichttoetreding en ventilatie; **4c** Diffuus licht in het atrium **4d** Zuidgevel; **4e** Zuidgevel met buitenzonwering;

buiten- en beweegbare binnenzonwering toegepast. Via het atrium wordt via een langgerekt gebogen dakraam diffuus via verticale lamellen licht binnengelaten waarbij bewust lichtreflecties via de wanden zijn benut. Recente voorbeelden van de combinatie van natuurlijke ventilatie met daglichtontwerp zijn het genoemde Read gebouw (2014) en de ARPAE Headquarters van Mario Cucinella (2016). In Nederland kennen we het kantoor van de Rabobank in de Lier (2008) waar het gebruik van daglicht is geoptimaliseerd en intern zo veel mogelijk gebruik is gemaakt van natuurlijke luchtstromingen.

Architecten als Alvar Aalto en Louis Kahn lieten al veel eerder zien dat dag- en zonlicht uitstekend kan worden gecombineerd met kunstlicht zonder dat dit tot een hoge koellast leidt. Bij een slim ontwerp vermindert ook de warmtebehoefte en de

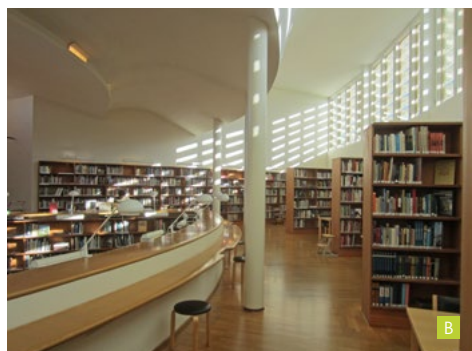
beleving van daglicht voegt iets toe. Bij de bibliotheek van Aalto wordt het hoge zomerzonlicht geweerd en het lage winterzonlicht doorgelaten en tegen het plafond gereflecteerd. Door op deze wijze met ramen om te gaan wordt voorkomen dat alleen het vaak als eentonig ervaren noorderlicht wordt gebruikt. Bij al deze ontwerpen gaat het niet zozeer om "veel", maar vooral om "hoe".

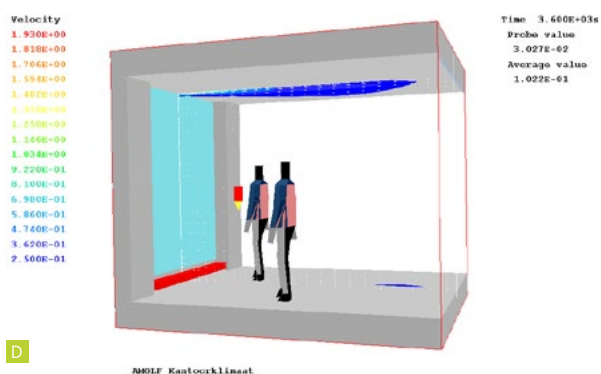
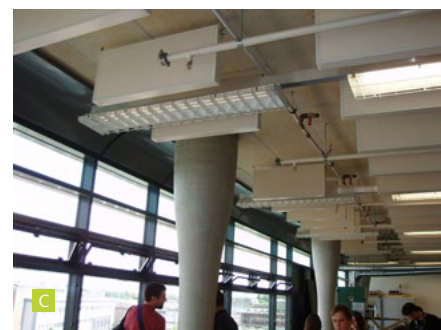
### Zonwering

Bij veel gebouwen worden gevels, onafhankelijk van de oriëntatie, hetzelfde uitgevoerd terwijl dit bouwfysisch gezien niet logisch is. Doelen van gevels zijn:

- Toelaten van voldoende daglicht;
- Tegengaan van verblinding en te veel contrast;
- Benutten van passieve zonne-energie;
- Voorkomen van onnodige koeling;
- Waarborgen van uitzicht.

**Figuur 5:** Bibliotheek Seinäjoki, Aalto (1965); **5a** Zuidgevel; **5b** Interieur aan zuidgevel; **5c** Doorsnede zuid-noord





**Figuur 6:** Gebouwen met inducerende natuurlijke toevoer bij het plafond (Deerns); **6a** Amolf (Dick van Gameren, 2006); **6b** Gevel ROC van Twente (IAA Architecten, 2006); **6c** Binnenzijde met toevoer; **6d** CFD-simulatie toevoer;

Het is duidelijk dat sommige doelen tegenstrijdig zijn en dan ligt het vooral aan de waardering door de gebruiker waar het optimum ligt. Het is bijvoorbeeld opvallend dat binnenzonwering, die in ochtendzon door gebruikers wordt neergelaten, soms de hele dag dicht blijft, terwijl dat na een paar uur vaak al niet meer nodig is. In ons klimaat zijn zuidgevels met een luifel tot circa 2 m gunstig (afhankelijk van de ruimtehoogte), omdat in het koelseizoen de zon (zonnehoek maximaal 62°) wordt geweerd. Indien er behoefte is aan passieve zonnewarmte en meer daglicht moeten deze luifels in de winter bij voorkeur korter [18] of half transparant zijn (zie figuur 4). Bij de noordgevel is zonwering niet altijd, of beperkt nodig omdat er in de zomer in vroege ochtend en late avond wel zon is, en er reflecties of een teveel aan helderheid voor beeldschermwerk kan zijn. Bij de centrale bibliotheek van Phoenix in de VS is een intelligente oplossing gevonden door voor een grote glasgevel op het zuiden grote beweegbare horizontale lamellen en op het noorden vaste verticale lamellen (tegen de noordoost- en zuidwest-zon) toe te passen.

Oost- en westgevels zijn altijd het meest uitdagend, omdat de zon het hele jaar door een relatief lage hoek ten opzichte van de horizon heeft en daarom altijd naar binnen kan schijnen. Hiervoor worden in de praktijk overigens tegenovergestelde adviezen gegeven. Een combinatie van een luifel en beweegbare horizontale lamellen lijkt het meest effectief te zijn [18], ook al hebben luifels op het oosten en westen nog maar een beperkte invloed. Diverse architecten hebben evenwel de voorkeur voor,

soms semi-transparante, verticale lamellen aan de buitenzijde. Bij elk zonweringsysteem is het meestal wenselijk na te denken hoe uitzicht kan worden bewaard. Naast het weren van de zon is daarnaast het waarborgen van de kwaliteit van het daglicht nodig. Het visuele comfort van de gebruiker is altijd de meest doorslaggevende factor [19]. Evaluatie van visueel comfort door daglicht en uitzicht is onder meer mogelijk met de NEN-EN 17037, daglicht in gebouwen [20].

### Voornaamste vormen van hybride ventilatie

Bij hybride ventilatie moet worden gedacht aan een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie in verschillende verschijningsvormen. Meestal gaat het om natuurlijke toevoer en mechanische afvoer of "mixed mode" gebouwen, waarbij afhankelijk van het buitenklimaat en het tijdstip gekozen kan worden voor natuurlijke of mechanische ventilatie. Koeling kan bij alle systemen worden gecombineerd omdat in plaats van gekoelde lucht ook koeling met koude vlakken (vloer, plafond, wanden, lamellen) kan worden toegepast. Inmiddels zijn er de nodige voorbeeldgebouwen die goed functioneren. Globaal zijn er de volgende opties:

#### 1. Natuurlijke toevoer via de gevel, natuurlijke of mechanische afvoer

Voorbeelden zijn het Amolf research instituut (kantoor) en het ROC van Twente (school). Bij deze gebouwen is het tochtprobleem opgelost door buitenlucht hoog inducerend bij het plafond toe te voeren, bij scholen iets voorverwarmd, en per vertrek af te voeren. Renz Pijnenborgh heeft geheel onafhankelijk hiervan zelf een vergelijkbaar systeem voor energiepositieve woningen met wandverwarming ontwikkeld (Brabantwoning).

## 2. Natuurlijke toevoer via kanalen, (soms mechanische) afvoer via een atrium of andersom

Behalve rechtstreeks via de gevel kan lucht ook via kanalen worden toe- en afgevoerd, zoals bij het Harm A. Weber Centre van Alan Short en de Energy Academy Europe van Aldo Vos gebeurt. Het atrium kan als toevoer of afvoerplenum worden gebruikt. In beide gebouwen zijn er te openen ramen aanwezig en is er mechanische ventilatie met koeling als back-up voor hartje zomer en winter aanwezig.

## 3. Natuurlijke toe- en afvoer via de gevel (niet hybride)

Bij de renovatie van de gevel van het CITG-gebouw bij de TU-Delft wordt de gevelisolatie naar een eigentijds niveau verhoogd en worden automatisch te openen ramen onder uitstekende betonnen gevelelementen toegepast. Hiermee is nachtventilatie zonder risico op inregenen mogelijk. Door deze maatregelen blijft het thermisch comfort gedurende het hele jaar acceptabel tot goed (beter dan nu). Het HVAC-energiegebruik kan met 70% worden teruggedrongen tot 36 kWh/m<sup>2</sup> bij 100% primair rendement van de opwekking [21]. Bij toepassing van geothermie op de campus van de TU-Delft wordt dit vrijwel helemaal duurzaam opgewekt.

Dit voorbeeld laat zien dat niet altijd hightech-installaties nodig zijn om een duurzame oplossing te vinden. Door uit te gaan van de wensen van de gebruiker (wat is deze gewend, waar ligt zijn voorkeur?), zijn ook andere dan standaardoplossingen mogelijk. Bij de TU-Delft was de investering verantwoord, omdat de gevel toch aan renovatie toe was. Bij alle genoemde systemen heeft het de voorkeur om openingen te maken die door de gebouwbeheerder of het gebouwbeheersysteem gesloten kunnen worden als dit energetisch beter is. In dit soort gevallen is het wel wenselijk om een representatief overzicht van meningen van de verschillende gebruikers te krijgen.

## Conclusies

Integraal ontwerpen om voldoende privacy voor de gebruiker en optimaal gebruik van natuurlijke ventilatie en daglicht te waarborgen, vraagt om een andere ontwerpbenadering en daarop gerichte houding van architecten, adviseurs en opdrachtgevers [2, 22, 23]. Het leren van goede voorbeelden en gemaakte fouten uit het verleden zou bij de standaarduitrusting van een ontwerper moeten horen. Het gebrek aan openheid en informatie over hoe gebouwen werkelijk functioneren is hiervoor wel een belemmerende factor. Gebouwen worden nog te veel gezien als een beleggingsobject of deel van de corporate identity, waarbij het niet wordt gewaardeerd als er commentaar op wordt geleverd. Het is een uitdaging voor de opleidingsinstituten ontwerpers op te leiden die integraal kunnen denken.

Wellicht is het te veel gevraagd voor een enkel persoon, de homo universalis bestaat helaas niet op dit gebied, en moet het accent nog meer komen te liggen op beter kunnen samenwerken binnen verschillende specialismen. Om tot gebouwen te komen die door de gebruikers voldoende worden gewaardeerd en daarnaast een laag energiegebruik kennen moet het ontwerpproces worden aangepast. Inmiddels zijn er wel de nodige voorbeelden die als uitgangspunt of inspiratiebron kunnen worden gebruikt, maar het ontbreekt helaas nog aan een systematische werkwijze op dit gebied. Er zijn voldoende voorbeelden van gebouwonderzoeken die informatie over het klimaat geven, maar een integratie met de architectuur ontbreekt veelal. Er zijn nu allerlei systemen (BREEAM, WELL, EPC) die iets zeggen over energie en comfort, vooraf op papier.

Het mooiste lijkt een (wettelijk verplichte) evaluatie in de gebruiksfase te zijn, waarbij inzicht in het werkelijke energiegebruik en gebruikerscomfort ontstaat via een gestandaardiseerde enquête. Zo'n database geeft echt bruikbare informatie voor toekomstige gebouwen. Deze informatie moet daarbij eerst en vooral hanteerbaar blijven voor de ontwerpers. Als gebruikers gebouwen waarderen is er een grotere 'forgiveness-factor' door de gebruiker voor overblijvende gebreken. Dat wil zeggen: als een gebruiker een gebouw waardeert, worden bepaalde onvolkomenheden ook geaccepteerd.

## Referenties

- Short CA. The recovery of natural environments in architecture. Air, comfort and climate. Routledge, 2017.
- Kurvers SR, Leyten JL. Adaptief thermisch comfort voor comfortabele en energie-efficiënte gebouwen. Klimapedia, 2019. (<https://klimapedia.nl/publicaties/adaptief-thermisch-comfort/>)
- ISSO. Publicatie 74. Thermische behaaglijkheid. 2014.
- Dear R de. The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments, "the pleasure principle". International Journal of ventilation, 8(3), 2009.
- Dear R de. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. Building Research & information, 39(2), 2011.
- Parkinson T, Dear R de. Thermal Pleasure and Alliesthesia in the Built environment. Proceedings of 9th Windsor Conference: Making Comfort Relevant, 2016.
- Guzowski M. Daylighting for sustainable design. McGraw-Hill, 1999.
- Pejtersen J, Allerman L, Kristensen TS, Sjoström M. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, Indoor Air 16 (5) 392 – 401, 2006.
- Kim, J., De Dear, R. Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. Journal of Environmental Psychology, 36, 18-26, 2013.
- Guzowski M. The "costs" of operable windows: on the question of operable windows in cold climate design. Proceedings of the Environmental Design Research Association (EDRA) Conference. June 2003.
- Ragas AMJ, Oldenkamp R, Preeker NL, Wernicke J, Schlinck U. Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. Environment International 37, 872-881, 2011.
- Wood A and Salib R. CTBUH. Natural ventilation in high rise office buildings. Routledge, 2013.
- Vroon PA, Kurvers SR, Leijten JL, de Vries RP, Trabsky W, Vroon AG, van der Weerd A. Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen. ISOR 1990, ISBN 90-5189-031-0, 1990.
- Hellinga H IJ, Daylight and view. The influence of windows on the visual quality of spaces. Thesis TU-Delft, 2013.
- Naves C, Amorim D, Szabo L. Brasilia: daylighting analysis of public buildings designed by Oscar Niemeyer. PLEIA 2006, Geneva.
- Guzowski, M. Art of Architectural Daylighting: Design and Technology. Laurence King Publishing Ltd., 2018.
- Baker N, Steemers K. Energy and environment in architecture. A technical design guide. Taylor & Francis. 2003.
- Lechner N. Heating, cooling, lighting. Sustainable design methods for architects. Wiley & Sons, 2015.
- Velds M. Assessment of lighting quality in offices with daylight systems. Thesis TU-Delft, 2000.
- NNI. NEN-EN 17037, daglicht in gebouwen. 2018.
- Cai J. Microgrid integration of smart facades. Integrated control of shading & operable window for CITG building. Master of Science Thesis, TU-Delft 2019.
- Engel PJW van den. Hybrid ventilation, a design guide. Klimapedia, 2019 (<https://klimapedia.nl/publicaties/hybrid-ventilation/>)
- Op dit moment is er een Europese standaard voor het ontwerp en prestatie-evaluatie van hybride ventilatie in voorbereiding, met de focus op vrije koeling: de CEN TC156 WG20 en de CEN TC156 WG21 (informatie Jaap Hogeling, ISSO, september 2019). Het is alleen nog te vroeg om dit nu te bespreken.