

Basisboek daglicht, energie en binnen- klimaat

Inhoud

Inhoud

Voorwoord	3
Inleiding	5
1 Daglicht	9
1.1 Daglicht	11
1.2 Daglichtinval	14
1.3 Kwaliteit daglichtinval	16
1.3.1 Visuele behoeften	16
1.3.2 Niet-visuele effecten van licht	20
1.4 Voordelen van daglicht	25
1.4.1 Voordelen voor de mens	25
1.4.2 Energiebesparing van elektrische verlichting	29
1.4.3 Voordelen voor het milieu	31
1.5 Factoren van invloed op de prestatie van de daglichtinval	32
1.5.1 Klimaat	32
1.5.2 Breedtegraad	34
1.5.3 Obstakels en weerspiegelingen op locatie	36
1.5.4 Bouwontwerp	8
1.5.5 Ramen en lichtstraten	43
1.5.6 Lichtspots	47
1.6 Daglicht met dakramen, dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten	48
1.6.1 Invloed van configuraties met drie ramen op de daglichtomstandigheden	48
1.6.2 Effect van dakramen in de kleuterschool Solhuset	51
1.6.3 Effect van het plaatsen van dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten in een voormalig stadhuis, nu een kleuterschool	53
1.6.4 Effect van dakramen in het Green Lighthouse	55
1.6.5 Effect van dakramen bij het renoveren van schoolgebouwen	56
1.6.6 Effect van dakramen in het MH2020 Sunlighthouse	59

1.6.7 Effect van dakramen bij het renoveren van woonhuizen	62
1.7 Daglicht berekenen en meten	66
1.7.1 Breedtegraad	66
1.7.2 Luminantie	68
1.7.3 Daglichtfactor	70
1.7.4 Daglichtautonomie	73
1.7.5 Bruikbare verlichtingssterkte daglicht (UDI)	74
1.8 Daglichtsimulatietools	75
1.9 Vereisten voor daglicht in bouwverordeningen	79
1.9.1 Bouwverordeningen	80
1.9.2 Het Europees Comité voor standaardisering, CEN	81
1.9.3 De Internationale Organisatie voor Standaardisatie, ISO	81
1.9.4 Ontwerprichtlijnen	82

2 Ventilatie	83
2.1 Binnenluchtkwaliteit	85
2.1.1 Het bereiken van een goede binnenluchtkwaliteit	85
2.1.2 Indicatoren binnenluchtkwaliteit	89
2.1.3 Gezondheid	91
2.1.4 Verhoogde luchtdichtheid vereist ingrijpen bewoner	93
2.1.5 Geestelijke prestaties en binnenluchtkwaliteit	97
2.2 Ventilatie en ventilatiesystemen	98
2.2.1 Natuurlijke ventilatie	98
2.2.2 Mechanische ventilatie	100
2.2.3 Hybride ventilatie	101
2.2.4 Vraaggestuurde ventilatie	105
2.3 Frisse lucht van buiten	106
2.4 Natuurlijke ventilatie met dakramen	108
2.4.1 Drijvende kracht achter natuurlijke ventilatie	108
2.4.2 Achtergrondventilatie met de VELUX ventilatieklep	112
2.4.3 Luchten	114
2.4.4 Optimale winterventilatiestrategie voor bestaande gebouwen	117
2.4.5 Zomerventilatie	117
2.4.6 Automatische raamopening met VELUX dakramen	118
2.5 Ventilatie van verschillende soorten gebouwen	119
2.5.1 Verbouwing van woonhuizen	119
2.5.2 Nieuwbouwhuizen	121
2.5.3 (Kleuter)scholen	124
2.5.4 Commerciële gebouwen	124
2.6 Tools en berekeningsmethoden	126
2.6.1 VELUX energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC)	127
2.7 Bouwverordeningen en standaarden	129

3 3 Thermisch comfort

133

3.1	Het bereiken van thermisch comfort	135
3.1.1	Thermisch ongemak	136
3.1.2	Factoren die van invloed zijn op thermisch comfort	138
3.1.3	Voorkeuren voor verschillende temperaturen	139
3.1.4	Aanpassen aan een warm klimaat	139
3.2	De invloed van de thermische omgeving op de gezondheid	141
3.2.1	Hittetoeval	141
3.2.2	Effect van gelijkmatige binnentemperatuur	141
3.2.3	Slaapkwaliteit	141
3.3	Productiviteit en leren	142
3.4	Thermisch comfort met dakramen en zonwering	144
3.4.1	Rolgordijnen en jaloezieën	144
3.4.2	Ventilatiekoeling	148
3.4.3	Nachtkoeling	153
3.4.4	Automatische bediening	156
3.5	Soorten bouw en klimaat	159
3.5.1	Verbouwing van woonhuizen	159
3.5.2	Nieuwbouwhuizen	159
3.5.3	Energiezuinige gebouwen	159
3.5.4	(Kleuter)scholen	160
3.5.5	Commerciële gebouwen	160
3.5.6	Effecten van klimaatverandering en hitte-eilanden	161
3.6	Beoordelingsmethoden	166
3.6.1	Factoren	166
3.6.2	Beoordeling van bestaande bouw	167
3.6.3	Tools en berekeningsmethoden voor beoordeling in de ontwerpfase	167
3.6.4	Voorschriften en standaarden voor thermisch comfort	169

4 Akoestisch comfort	171
4.1 Geluid of lawaai	173
4.1.1 Technische omschrijving van lawaai of geluid	176
4.2 Goede akoestische omgeving	178
4.3 Lawaai binnen	179
4.3.1 Algemeen	179
4.3.2 Slaapkamer, woonkamer en keuken	179
4.3.3 Mechanische uitrusting	180
4.4 Lawaai buiten	181
4.4.1 Algemeen	181
4.4.2 Factoren van invloed op het lawaainiveau buiten	181
4.4.3 Verkeerslawaai	181
4.4.4 Regengeluid	184
4.4.5 Groot lawaai (vliegverkeer, treinen en vrachtwagens)	184
4.5 Beoordeling en meting	186
4.5.1 Algemene aspecten	186
4.5.2 Geluidsisolatie	186
4.5.3 Meting van geluidsisolatie volgens Europese standaarden	187
4.6 Akoestische vereisten in bouwverordeningen	190

5 Energie	191
5.1 Energie	193
5.2 Energiebronnen	193
5.3 Terminologie van energie	195
5.4 Energieverbruik in gebouwen	196
5.4.1 Primaire energie versus netto-energie	197
5.5 Raamsystemen	199
5.5.1 U-waarde	199
5.5.2 G-waarde	200
5.5.3 Energiebalans	200
5.6 Energieprestatie van verschillende soorten gebouwen	204
5.6.1 Energie-aspecten van daglicht	204
5.6.2 Energie-aspecten van ventilatie	208
5.6.3 Energie-aspecten van zonwering	209
5.6.4 Energieprestaties van gebouwen in een koud klimaat	209
5.6.5 Energieprestaties van gebouwen in een warm klimaat	210
5.6.6 Gevolgen van toekomstige vereisten voor betere energieprestaties	211
Duurzame zonne-energievoorziening	214
5.7.1 Zonthermisch systeem	216
5.7.2 Fotovoltaïsch systeem (FV)	218
5.8 Index	222

6 Milieu	223
6.1 Levenscyclusanalyse	225
6.1.1 LCA	225
6.1.2 Overige parameters van een levenscyclusanalyse	227
De Europese methodologie voor het bepalen van duurzaamheid van gebouwen	228
6.2.1 Kader	228
6.3 Beoordelen van gebouwen	229
6.3.1 Active House	229
6.3.2 BREEAM	231
6.3.3 Duitse Raad voor duurzaam bouwen (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB))	231
6.3.4 Franse hoge milieukwaliteit (Haute Qualité Environnement (HQE))	231
6.3.5 LEED	231
6.3.6 Passive House	232
6.3.7 Green Building Councils	232
6.4 Beoordeling van bouwproducten	232
6.4.1 Bouwverklaringen en milieuverklaringen voor Active House-producten	232
6.4.2 Overige milieuverklaringen voor prestaties (Environmental Performance Declarations (EPD))	233
6.5 Overzicht EU-wetgeving	234
6.5.1 Bouwproductenverordening	234
6.5.2 Registratie en beoordeling van en vergunningverlening ten aanzien van chemische stoffen	234
6.5.3 Beperkingen ten aanzien van gevaarlijke stoffen	235
6.5.4 Batterijrichtlijn	235
6.5.5 Afgedankte elektrische en elektronische apparatuur	235
6.6 Index	236
Bronvermelding	237
Woordenlijst	257

Voorwoord

Voorwoord

Daglicht, energie en binnenklimaat staan centraal in het VELUX merk

Daglicht en frisse lucht zijn al sinds de oprichting in 1942 de kern van ons bedrijf. Door het brengen van licht en frisse lucht in de huizen van mensen, heeft de VELUX Group ruimtes van hoge kwaliteit gecreëerd en gezorgd voor een betere gezondheid en een hoger welzijn van de bewoners.

De voordelen van de VELUX producten zijn vandaag de dag belangrijker dan ooit tevoren. Gezondheid en welzijn zijn de meest belangrijke agendapunten van de toekomst, en de grotere focus op energiebesparing mag niet ten koste gaan van het binnenklimaat.

Een goed binnenklimaat, met overvloedig daglicht en toevoer van frisse lucht van buitenaf, is de sleutel om van huizen, kantoren en (kleuter)scholen een gezonde plek te maken om in te wonen en te werken. Onze gezondheid en ons welzijn zijn cruciale factoren voor onze kwaliteit van leven; we brengen echter veel tijd door binnen vier muren, en de lucht die we inademen en het daglicht waaraan we zijn blootgesteld hebben een grote invloed op die factoren. De laatste jaren lag de

focus in de discussie over duurzame architectuur - en het publieke debat over duurzaamheid in het algemeen - op energie, CO₂-uitstoot en het efficiënt gebruikmaken van grondstoffen. Deze vraagstukken zijn van cruciaal belang voor ons leven op deze planeet, maar het zijn slechts drie van een heel scala aan vraagstukken die we als mensen in een gebouwde omgeving onder ogen moeten zien. Omdat gezondheid en welzijn bij ons allemaal op nummer één staan, dienen duurzame huizen en stedelijke gebieden allereerst die kostbare zaken te behouden voor de mensen die er wonen.

Waarom dit basisboek voor daglicht, energie en binnenklimaat?

Met dit boek willen we ons inzicht en onze kennis delen door specifiek advies en concrete documentatie te bieden over het effect en de voordelen van VELUX producten in gebouwen. Bij het bouwen van nieuwe gebouwen, net als bij het renoveren van bestaande gebouwen, dienen de specifieke oplossingen in holistisch perspectief te worden gezien, met een belangrijke rol voor het gebruik, de persoonlijke behoeften, functie, locatie, richting, vorm van het gebouw en raamconfiguratie.

Basisboek daglicht, energie en binnenklimaat
3^e editie, december 2014

Uitgegeven door:

VELUX kenniscentrum voor daglicht, energie en binnenklimaat (DEIC)

Redactie:

Per Arnold Andersen, per.a.andersen@velux.com

Karsten Duer, karsten.duer@velux.com

Peter Foldbjerg, peter.foldbjerg@velux.com

Nicolas Roy, nicolas.roy@velux.com

Jens Christoffersen, jens.christoffersen@velux.com

Thorbjørn Færing Asmussen, thorbjorn.asmussen@velux.com

Karsten Andersen, karsten.andersen@velux.com

Christoffer Plesner, christoffer.plesner@velux.com

Marie Helms Rasmussen, marie.helmsrasmussen@velux.com

Frank Hansen, frank.hansen@velux.com

Verantwoordelijke uitgever:

Per Arnold Andersen,

per.a.andersen@velux.com

Ga voor meer informatie naar www.velux.nl

Inleiding

Binnenklimaat in historisch perspectief

Daglicht en ventilatie door middel van ramen zijn onlosmakelijk verbonden met het binnenklimaat. Onder binnenklimaat vallen alle elementen: temperatuur, luchtvochtigheid, verlichting, luchtkwaliteit, ventilatie en geluidsniveau in de bewoonbare constructie.

We brengen het merendeel van onze tijd door binnen vier muren. Toch wordt er veel minder gepraat over het milieu daarbinnen dan over het milieu erbuiten. We nemen aan dat we binnen veilig zijn. Gebouwen bieden bescherming, warmte, schaduw en veiligheid; maar vaak onthouden ze ons juist frisse lucht, natuurlijk licht en ventilatie.

Het positieve effect op de gezondheid van licht, in dit geval zonlicht, werd al erkend door de Egyptenaren, oude Grieken en Romeinen, die elk hun eigen zonnegod vereerden. Veel later, in het begin van de twintigste eeuw werd zonlicht praktisch toegepast als geneesmiddel. Er werden sanatoria gebouwd om lichttherapie te bieden aan mensen met huidziekten en andere kwalen.

Het belang van het binnenklimaat, en in het bijzonder van de binnenluchtkwaliteit, werd al in de eerste eeuw voor Christus erkend. Pas in de eerste decennia van de twintigste eeuw werden de eerste verbanden gelegd tussen factoren

als verwarming, licht en geluid in gebouwen en menselijke behoeften. Juist in de afgelopen honderd jaar is er veel meer aandacht besteed aan het beheer van het binnenklimaat, om zo gezonde en comfortabele omstandigheden te creëren voor de mensen die er wonen, werken en zich er ontspannen.

Aan het einde van de negentiende eeuw werd de omgevingsfactor 'thermisch comfort' voor het eerst beschouwd als onderdeel van het algehele concept van comfort binnenshuis. Men erkende dat slecht geventileerde kamers naast slechte luchtkwaliteit ook konden leiden tot ongewenste thermische effecten, door zowel de temperatuur als luchtvochtigheid.

Hoewel we de meeste tijd binnen doorbrengen, zijn we nog steeds 'buitendieren' (Baker N, 2009). De krachten die de genen van de moderne mens hebben geselecteerd, zijn te vinden op de steppen, in de bossen en de bergen, niet in centraal verwarmde slaapkamers of aan ergonomisch ontworpen bureaus. We hebben ons aangepast aan het binnenleven, maar onze genetische code is nog steeds gericht op het buitenleven. Sick building syndrome, winterdepressie, astma en allergieën zijn symptomen die verband houden met de kwaliteit van het binnenklimaat als het gaat om onze biologische behoeften. Het is van cruciaal belang dat gebouwen en ruimtes waar we veel tijd doorbrengen zijn ontworpen met die behoeften in het achterhoofd, terug naar de natuur, met natuurlijke ventilatie en verlichting.

Het beoordelen van de kwaliteit van het binnenklimaat

Er zijn geen algemene methoden die alles weten te vangen in een enkele formule of getal. Er zijn verschillende indicatoren die aangeven hoe we aan onze biologische en fysiologische behoeften tegemoet kunnen komen: ventilatiesnelheid van natuurlijke ventilatie, te behalen daglichtniveau, mate van blootstelling aan zonlicht, aangenaam temperatuurniveau, relatieve luchtvochtigheid, geluidsniveau, etc. In de hoofdstukken in dit boek worden de individuele indicatoren uitgelegd en wordt advies gegeven over specifieke niveaus die bereikt dienen te worden voor een goed binnenklimaat.

Het is echter net zo belangrijk om het binnenklimaat op gevoel te beoordelen: voelen we ons prettig binnen? Menselijke factoren, waaronder fysiologie, perceptie, voorkeuren en gedrag maken van ieder individu een zeer gevoelige sensor. Het binnenklimaat is meer dan het geheel van de delen, en de beoordeling ervan moet beginnen bij de mens zelf.

Binnenklimaat en gezondheid

De menselijke zintuigen 'vensters van de ziel' (Bluyssen, 2010) zijn in principe de instrumenten die aangeven of we ons prettig voelen in het binnenklimaat en hoe we denken dat onze gezondheid erdoor wordt beïnvloed. We beoordelen of het binnenklimaat acceptabel is met betrekking tot warmte, kou, geur, geluid, duisternis, knipperend licht en andere factoren. Maar als het gaat over effecten op de gezondheid, zijn niet alleen de menselijke zintuigen erbij betrokken, maar het hele lichaam en alle systemen daarin. Stressfactoren in het binnenklimaat die ongemak en een negatieve invloed op de gezondheid kunnen veroorzaken, kunnen zowel omgevings- als psychosociale factoren zijn, zoals werkrelaties en persoonlijke relaties. De grootste invloed van het binnenklimaat op onze gezondheid komt echter van de beschikbaarheid en kwaliteit van het daglicht en de frisse lucht.

Aandoeningen als allergieën en astma komen steeds veelvuldiger voor. Deze trend wordt toegeschreven aan veranderingen in het binnenklimaat, maar de specifieke oorzaak is nog niet volledig achterhaald. Op dit moment is de enige vaststaande conclusie dat gebouwen met een hoge vochtigheidsgraad de oorzaak zijn. Zonlicht is een natuurlijk antidepressivum dat ons synchroon laat lopen met het natuurlijke leefritme, en een hoge mate van blootstelling aan direct zonlicht en daglicht is bewezen effectief gebleken in het voorkomen van een winterdepressie.

Binnenklimaat en energieverbruik

De focus op energiebesparing levert een groeiende uitdaging op voor zowel bestaande gebouwen als nieuwbouw en toekomstige bouw, aangezien geloofd wordt dat energieverbruik leidt tot klimaatverandering. Het is echter belangrijk om te onthouden dat alle energie in gebouwen dient om te voorzien in menselijke behoeften, comfort en welzijn. De VELUX Group ziet duurzaam leven als een manier om in huis de veranderingen aan te brengen om de impact op het milieu zo veel mogelijk te beperken, zonder in te leveren op de kwaliteit van het binnenklimaat.

Optimaal gebruik van daglicht, natuurlijke ventilatie in de zomer en intelligente zonweringsbediening zijn allemaal voorbeelden van technologieën die, samen met een intelligent bouwontwerp, gebruikt kunnen worden om het energieverbruik van bestaande en nieuwe gebouwen omlaag te brengen.

Alles draait om de zon: zonder zonnestraling is er geen licht, geen wind, geen warmte en geen leven. En de zonnestraling die op aarde valt is veel groter dan de totale energiebehoefte. Zonne-energie wordt vaak gezien als een serie nichetoepassingen, die nuttig maar tegelijk beperkt bruikbaar zijn.

Het is echter de enige energie-oplossing die zowel groot genoeg als acceptabel genoeg is om op de lange termijn aan de behoefte van de planeet te voldoen: de beschikbare zonne-energie overtreft het jaarlijkse energieverbruik van de wereld met een factor 1500 (Perez, 2009). Fossiele brandstoffen alleen, zoals olie en steenkool, zouden nog drie of vier generaties in onze energiebehoefte kunnen voorzien, maar tegen een hoge prijs voor het milieu (Perez, 2009)

Milieu

De productie, afvoer en het levenslang gebruik van VELUX producten zijn mogelijk van invloed op het milieu op andere manieren dan klimaatverandering, en materialen zoals hout, glas en aluminium dienen te worden gebruikt met de invloed op het milieu in het achterhoofd. De VELUX Group gebruikt de levenscyclusanalyse om de invloed van zijn producten op het milieu te beoordelen.

Daglicht



Daglicht

Daglicht wordt al eeuwen gebruikt als primaire lichtbron in interieurs en is al zolang er gebouwen bestaan een impliciet onderdeel van de architectuur. Het vervangt niet alleen elektrisch licht overdag, waardoor er minder energie nodig is voor verlichting, het heeft ook invloed op de koel- en verwarmingsbelasting, wat het een belangrijke factor maakt in een energie-efficiënt ontwerp. Bovendien heeft recent onderzoek aangetoond dat daglicht een groot aantal voordelen biedt voor gezondheid en comfort waardoor het van cruciaal belang is voor de bewoners van het gebouw.

» Daglicht kan niet worden vervangen «

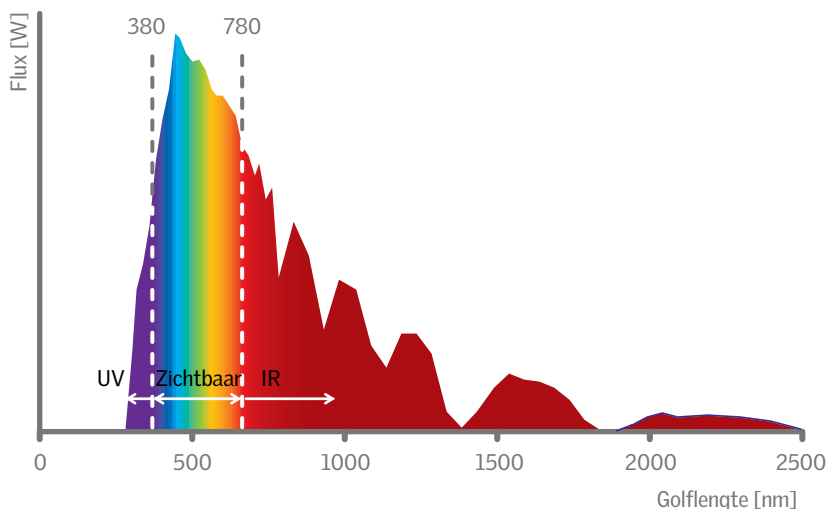
1.1 Daglicht

Daglicht is de combinatie van al het directe en indirecte licht dat overdag van de zon komt. 40% van alle zonne-energie die op aardoppervlak valt is zichtbare straling, de rest bestaat uit ultraviolette (UV) en infrarode (IR) golflengtes, zoals afgebeeld in figuur 1.1.

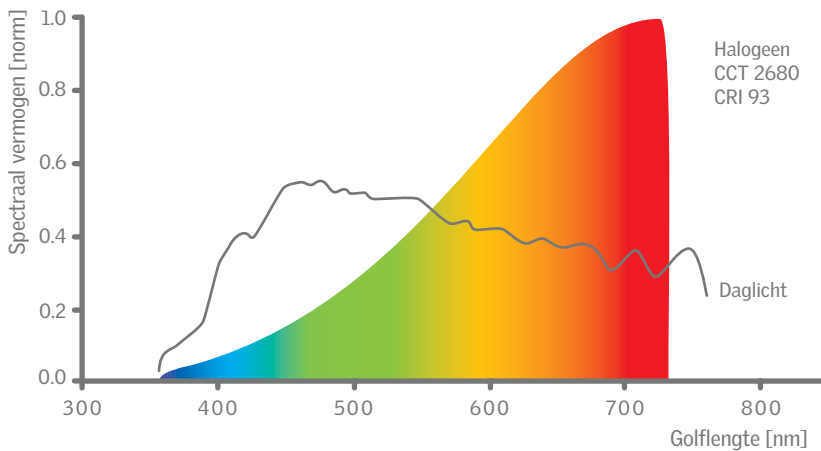
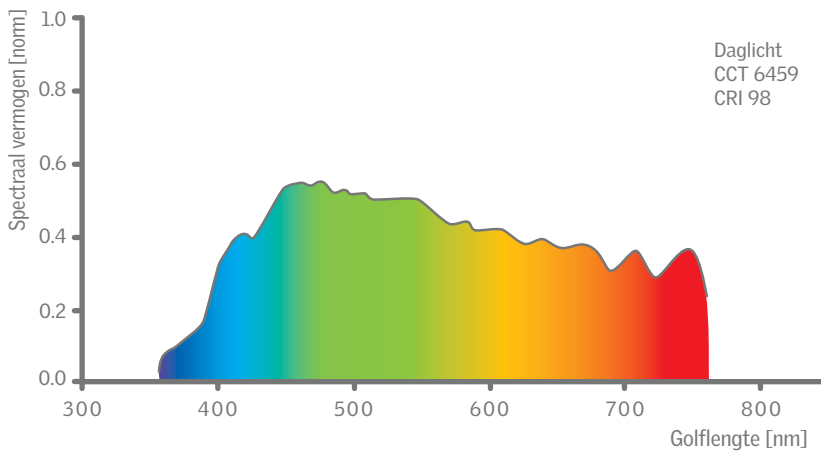
De beschikbaarheid van buitendaglicht verschilt per locatie door de veranderende baan van de zon en omstandigheden aan de hemel gedurende de dag, het seizoen en het jaar. Kort gezegd hangt de hoeveelheid licht op de grond af van de hoogte van de zon; hoe hoger de zon, hoe hoger de verlichtingssterkte

op de grond. De mate van daglicht op horizontale en verticale oppervlakken verschilt aanzienlijk per tijdstip en per seizoen, en houdt direct verband met de plaatselijke baan van de zon en omstandigheden aan de hemel.

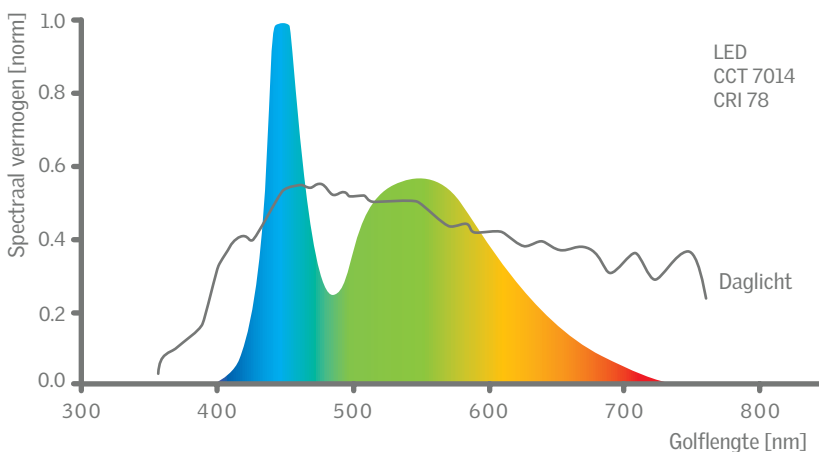
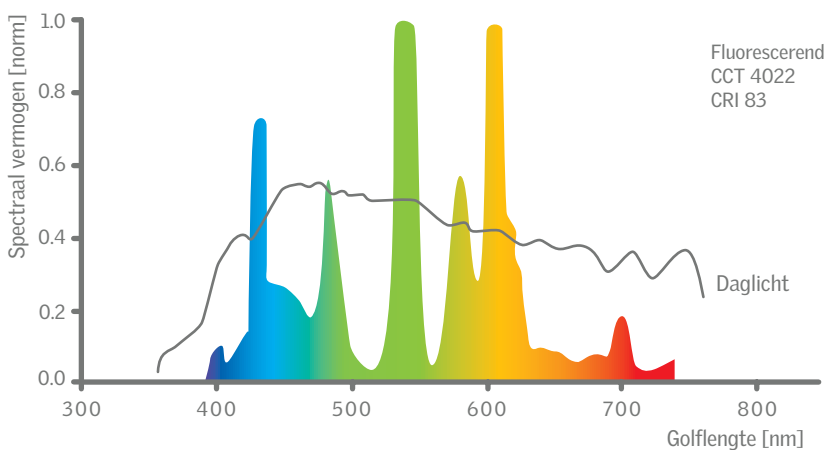
Hoewel er sommige elektrische lichtbronnen zijn die zo kunnen worden gemaakt dat ze sterk op een bepaald daglichtspectrum lijken, zijn er nog geen lichtbronnen die de variatie kunnen imiteren die zich op verschillende tijden, in verschillende seizoenen en onder verschillende weersomstandigheden in het lichtspectrum van daglicht voordoet (Boyce et al., 2003).



Figuur 1.1 Diagram van het elektromagnetische spectrum met de locatie van het zichtbare spectrum.



Figuur 1.2. Spectrale samenstelling van gangbare lichtbronnen: daglicht (pagina 10, boven), halogeenlicht (pagina 10, onder), fluorescerend licht (pagina 11 boven) en LED-licht (pagina 11, onder). Metingen door John Mardaljevic.



ⓘ Vergeet niet:

40% van alle zonne-energie die op aardoppervlak valt is zichtbaar licht, de rest bestaat uit ultraviolette (UV) en infrarode (IR) golflengtes.

Er is geen elektrische lichtbron die de eigenschappen van daglicht kan imiteren.

1.2 Daglichtinval

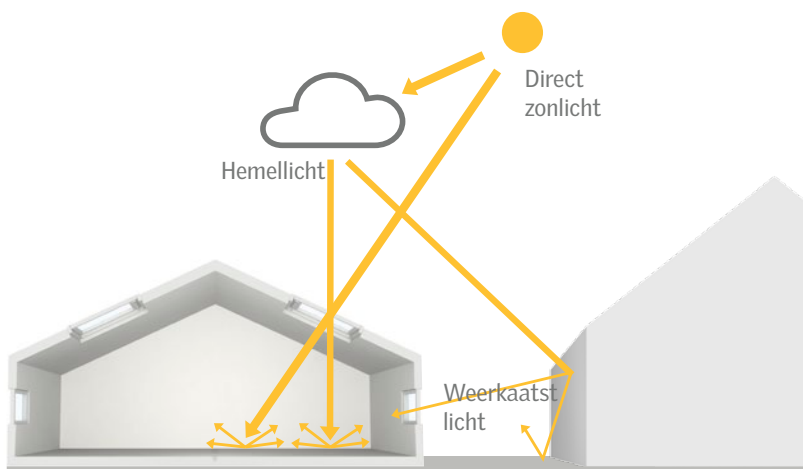
Daglichtinval is het gecontroleerde gebruik van natuurlijk licht in en om gebouwen (Reinhart, 2014). In de praktijk is dat het plaatsen van ramen, of andere transparante en reflecterende oppervlakken, zodat natuurlijk licht op effectieve manier overdag voor verlichting kan zorgen. De daglichtinval moet worden meegenomen in alle stadia van het ontwerpproces van het gebouw, van locatieplanning tot bouwkundige, interieur- en lichtontwerpen, om tot een goed eindresultaat te komen.

Het daglicht in gebouwen is een combinatie van verschillende factoren: direct zonlicht, diffuus hemellicht en licht dat weerkaatst van de grond en andere elementen in de omgeving. Het ontwerp voor daglichtinval dient rekening te houden met de richting, de kenmerken

van de locatie van het gebouw, de voorkant, en het dak, de grootte en plaatsing van de ramen, beglazingssystemen en zonweringssystemen en de vorm en het reflectiecoëfficiënt. Een goede daglichtinval zorgt overdag voor voldoende licht.

Enkele basiskenmerken van buitendaglicht:

- Direct zonlicht kenmerkt zich door zeer hoge intensiteit en continue beweging. De verlichtingssterkte op het aardoppervlak kan meer zijn dan 100.000 lux. De helderheid van direct zonlicht verschilt per seizoen, tijdstip, locatie en weersomstandigheden. In een zonnig klimaat dient bij het bouwontwerp zorgvuldig rekening gehouden te worden met het toelaten en dimmen van licht, zonwering en weerkaatsing.



Figuur 1.3 De onderdelen van daglicht

» Goede kwaliteit verlichting dient afgestemd te zijn op de gezondheid en andere behoeften van de personen die zich in de ruimte zullen bevinden. «

- Hemellicht kenmerkt zich door zonlicht dat verspreid wordt door de atmosfeer en de wolken, met een zacht, diffuus licht tot gevolg. De verlichtingssterkte van een bewolkte lucht kan in de winter 10.000 lux zijn en 's zomers op een licht bewolkte dag 30.000 lux. In een bewolkt klimaat is diffuus hemellicht vaak de belangrijkste bron van bruikbaar daglicht.
- Weerkaatst licht kenmerkt zich door licht (zonlicht en hemellicht) dat weerkaatst wordt vanaf de grond: van het terrein, de begroeiing, aangrenzende gebouwen, etc. De oppervlakteweerkaatsing van de omgeving heeft invloed op de totale hoeveelheid weerkaatst licht dat de voorkant van het gebouw bereikt. In dichtbebouwde situaties kan het weerkaatste licht van de grond en omgeving een significante bijdrage vormen aan het daglicht.

Het doel van daglichtinval in een ruimte is het afdoende verlichten van visuele taken, het creëren van een visueel

aantrekkelijke omgeving, het besparen van elektrische energie en het voorzien in onze biologische behoeften. Een goed verlichte omgeving is tegelijk comfortabel, aangenaam, relevant en geschikt voor het beoogde gebruik en gebruikers (Lam, 1977).

Daglichtsystemen kunnen heel eenvoudig zijn: van het combineren van raamontwerpen met de juiste interne en externe zonwering (bv. externe zonwering en interne jaloezieën) tot systemen die ontworpen zijn voor het richten van zonlicht naar het gewenste gebied (bv. lichtkoepels). Meer geavanceerde systemen kunnen worden ontworpen om met de zon mee te bewegen of om de richting van het zon- en hemellicht passief te regelen.

Daglichtinval is onlosmakelijk verbonden met de energievraag en binnenklimaat van een gebouw. De grootte en plaatsing van beglazing dient bepaald te worden in combinatie met het totale energieverbruik van het gebouw en de specifieke eisen aan de daglichtinval.

! Vergeet niet:

Het daglicht in gebouwen is een combinatie van verschillende factoren: direct zonlicht, diffuus hemellicht en licht dat weerkaatst van de grond en andere elementen in de omgeving.

Zonlicht is intens en gericht.

Hemellicht is zacht en diffuus.

Weerkaatst licht van de grond is vaak meer dan 15% van het totale daglicht dat de voorkant van een gebouw bereikt.

» Een ruimte verlicht met daglicht gebruikt voornamelijk natuurlijk licht en combineert tevredenheid met de visuele en thermische omgeving van bewoners met een laag totaal energieverbruik voor verlichting, verwarming en koeling «

1.3 Kwaliteit daglichtinval

Het ontwerpen van een goed verlichte omgeving vereist het begrijpen van de functie en capaciteiten van het visuele systeem, inzicht in visuele perceptie, kennis van de basiseigenschappen van licht en andere factoren zoals gezondheidsproblemen (CIE, 2004a-b, LRC, 2003). Hieronder valt ook kennis van ons visuele systeem met betrekking tot het aanpassen van het oog aan de heersende lichtsterkte, spectrale (kleur) kenmerken, de samenstelling van diffuus en direct licht, helderheidscontrast of luminantiegraad etc. Ook valt hieronder kennis van ons circadiaan (niet-visueel) systeem met betrekking tot factoren als de juiste signalen voor licht tijdens de dag en duisternis in de nacht (om een circadiaan ritme te behouden), de intensiteit van het licht en de tijd van de dag waarop het wordt toegepast, alsmede de spectrale eigenschappen.

1.3.1 Visuele behoeften

We hebben bij het ontwerpen van ons werk altijd de focus gelegd op het creëren van lichtomstandigheden die geschikt zijn voor de visuele taken die in een ruimte worden uitgevoerd en die tegelijk passen bij onze individuele behoeften. Er moet zowel rekening gehouden worden met ons centrale zicht (verlichting van een voorwerp) als met ons perifere zicht (verlichting van de omgeving). Ons perifere zicht geeft een indruk van de omgeving waarin we ons bevinden; de afmetingen en vorm

van de ruimte, sfeer, materialen en lichtverdeling. In de ontwerpfase wordt dit ondersteund door de juiste grootte en plaatsing van de ramen om een intelligent evenwicht te krijgen tussen de intensiteit van het licht en de locatie en richting ervan.

Visueel comfort

Het licht in een ruimte mag ons zicht niet hinderen of beperken, zodat we ons altijd eenvoudig kunnen oriënteren en vrijelijk door de kamers en het gebouw kunnen bewegen. Als de verlichting in een ruimte niet geschikt of niet voldoende is, en het lastig maakt om goed te kunnen zien, heeft dat invloed op onze prestaties (het visuele systeem), evenals op onze gezondheid (het circadiaan systeem) en persoonlijk welzijn (het waarnemingssysteem). Dit kan leiden tot onnodig belasten van de ogen en daarmee tot klachten als irritatie van de ogen, vermoeidheid en hoofdpijn. Verlichtingsomstandigheden die deze klachten kunnen veroorzaken zijn lage helderheid en laag contrast, hoge luminantie en knipperingen.

Een goed ontwerp voor daglichtinval biedt grote hoeveelheden licht zonder te verblinden. Een slecht ontwerp daarentegen biedt ofwel niet genoeg licht, zodat er regelmatig elektrische verlichting nodig is, of heel veel licht dat verblindend is ((Boyce et al., 2003). Bovendien bestaat ons dagelijks leven uit diverse visuele taken, waardoor de hoeveelheid licht die nodig is ook varieert.

Het veranderende licht in ons gezichtsveld kan van invloed zijn op visueel comfort en visuele prestaties. Om goed te kunnen zien, is een zekere hoeveelheid gelijkmatig verspreid licht wenselijk. Slecht zicht en visueel ongemak, zoals verblind worden, kan voorkomen als het oog zich te snel moet aanpassen aan een aantal verschillende lichtsterktes.

Te hoog of te laag contrast kan ook leiden tot vermoeidheid, hoofdpijn en ongemak. Hoewel er geen specifieke richtlijnen bestaan voor woonhuizen, wordt algemeen aangenomen dat een luminantie van ongeveer 10:1 geschikt is voor een ontwerp voor daglichtinval. Over het algemeen kan het menselijk oog een grotere luminantie aan in ruimtes die worden verlicht met daglicht dan in ruimtes met kunstlicht.

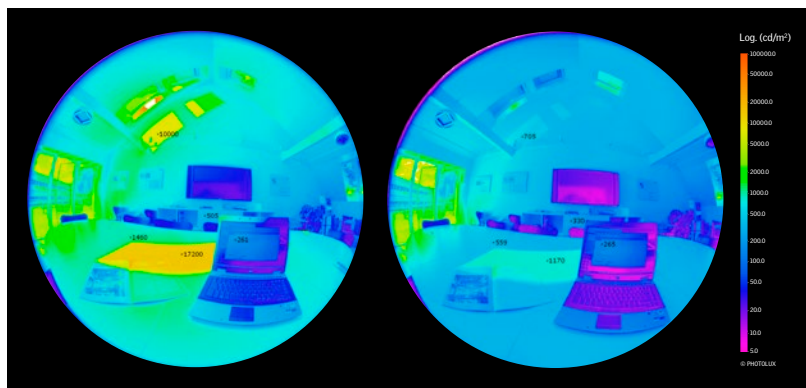
Verblinding kan voorkomen bij een luminantiebereik van meer dan 20:1 tot 40:1 (Rea, 2000). Als het oog wordt verblind, past het zich aan aan het felle licht van de bron, waardoor het lastig wordt om de details in het werkgebied te zien omdat dit nu te donker is. Verblinding door daglicht kan komen vanuit verschillende mogelijke bronnen, zoals de zon, een heldere lucht en wolken en oppervlakken die de zon weerkaatsen.

Er zijn hoofdzakelijk drie soorten verblinding:

- Hinderlijke verblinding: het effect van verspreid licht in het oog, waardoor

zicht en visuele prestaties afnemen. Dit gebeurt als de verblindende bron met hoge luminantie (bv. de zon, of een weerspiegeling daarvan) zich in het gezichtsveld bevindt. In interieurs met daglicht komt het vaak voor dat ongemakkelijke verblinding gemeld wordt voordat de hinderlijke verblinding een probleem wordt.

- Ongemakkelijke verblinding: heeft een vervelend of afleidend, maar niet noodzakelijk hinderlijk, effect. In de meeste gevallen wordt ongemakkelijke verblinding dan ook minder erg gevonden dan hinderlijke verblinding. Ongemakkelijke verblinding binnen wordt beïnvloed door de gehele visuele omgeving, waaronder ramen, weerkaatsingen (in het bijzonder weerspiegelingen), de externe omgeving en/of interne oppervlakken. Ongemakkelijke verblinding kan op termijn bij- of nawerkingen veroorzaken in de vorm van hoofdpijn of vermoeidheid.
- Weerkaatsing of verhullende verblinding: weerkaatsing op een beeldscherm of ander werkmateriaal (bv. papier) verlaagt het contrast tussen achtergrond en voorgrond voor de visuele taak en vermindert zo de leesbaarheid. Weerkaatsing doet zich voor wanneer een bron van fel licht (bv. een raam) zich in het weerkaatste veld of beeld van het scherm bevindt.



Figuur 1.5. Luminantieweergave van een taakplek waar plekken met veel zonlicht verblinding veroorzaken.

Luminantieweergave van een taakplek waar verblinding onder controle is door middel van externe zonwering.

Om verblinding te verminderen, kan zonwering worden gebruikt. Figuur 1.5 hieronder geeft een situatie weer waarin verblinding onder controle is door externe zonwering (zonnekappen). Zonwering zoals jaloezieën, zonnekappen, lamellen en rolluiken zijn geschikt hiervoor, maar de kenmerken van het specifieke materiaal dienen in de overweging te worden meegenomen. Een verstelbaar of intreikbaar apparaat kan apart ingesteld worden, terwijl bij vaststaande apparaten extra zonwering nodig kan zijn om aan de individuele eisen voor bescherming tegen verblinding te voldoen. Met ramen op meerdere plekken, of in het dak, kan de verlichting door daglicht voor visuele taken voldoende worden behouden, evenals het uitzicht naar buiten, in plaats van deze af te dekken met zonwering om mogelijke verblinding te voorkomen.

Beschikbaarheid van daglicht

Het primaire doel van de daglichtinval in gebouwen is over het algemeen het verschaffen van genoeg licht in de kamer en op het werkoppervlak, zodat daglicht overdag de grootste, of enige, (autonome) lichtbron is. Er zijn diverse meeteenheden voor de beschikbaarheid van daglicht voor een taak en/of ruimte, en een belangrijk aspect van daglicht is dat het variabel is: de hoeveelheid licht hangt af van het jaargetijde, het tijdstip en het weer. Daarom zijn meeteenheden voor de beschikbaarheid van daglicht vaak gebaseerd op relatieve waarden, in plaats van absolute. Dit wordt vaak aangeduid met de relatie tussen het licht dat in verschillende posities binnen beschikbaar is en het licht dat buiten beschikbaar is (bv. de daglichtfactor, DF).

» Ons lichaam gebruikt licht op dezelfde manier als voedsel en water, om de stofwisselingsprocessen op gang te houden «

De absolute verlichtingssterkte die nodig is voor een visuele taak hangt af van het soort taak en de visuele omgeving waar deze wordt uitgevoerd. De Chartered Institution of Building Services Engineers, of CIBSE (CIBSE, 2006) raadt bijvoorbeeld het volgende aan met betrekking tot lichtsterkte:

Zie sectie 1.7.1. ➡

- 100 lux voor interieurs waar de visuele taak beweging is, met oppervlakkig zicht zonder details waar te nemen.
- 300 lux voor interieurs waar de visuele taken relatief eenvoudig zijn.
- 500 lux voor interieurs waar de visuele taken relatief lastig zijn en het onderscheiden van kleuren nodig is, bv. kantoren en keukens.
- 1 000 lux voor interieurs waar de visuele taken zeer lastig zijn, en waar kleine details moeten kunnen worden waargenomen.

De vereisten voor daglicht moeten nog concreet worden vastgelegd in verlichtingssterktes, maar er is genoeg bewijs in literatuur dat erop wijst dat verlichtingssterktes tussen 100 en 3000 lux

zeer waarschijnlijk kunnen leiden tot een significante vermindering in het gebruik van elektrische verlichting (Mardaljevic, 2008).

Uitzicht

Het voldoen aan de behoefte tot contact met de buitenwereld is een belangrijk psychologisch aspect dat verband houdt met de daglichtinval (Robbins, 1986). Het verschaffen van daglicht alleen is niet genoeg om te voldoen aan de wens van de gebruiker, die naar buiten wil kijken. Ramen bieden contact met de buitenwereld, verschaffen informatie over oriëntatie, veranderingen in het weer en laten ons zien hoe de tijd gedurende de dag verstrijkt.

Een gelaagd uitzicht met zowel lucht, stad of landschap en grond (Boyce et al., 2003) gaat vermoeiende eentonigheid en een opgesloten gevoel tegen. De grootte en positie van de raamsystemen moet goed afgestemd worden op de ooghoogte van de bewoners van het gebouw.

! Vergeet niet:

Daglicht moet zorgen voor genoeg licht in de ruimte en op het werkoppervlak om overdag de grootste, of zelfs enige, bron van licht te zijn.

In een ruimte die verlicht is met daglicht, kunnen bewoners beter tegen een groter verschil in luminantie dan in een ruimte die kunstmatig verlicht is.

Een variatie in luminantie van 10:1 is geschikt voor een ontwerp voor daglichtinval.

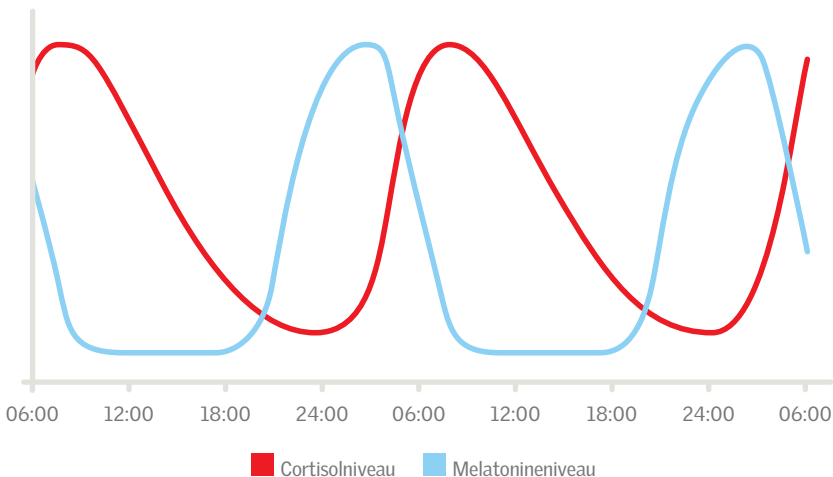
Verblinding kan voorkomen bij een luminantiebereik van meer dan 20:1 tot 40:1.

1.3.2 Niet-visuele effecten van licht

Daglicht heeft op veel verschillende manieren invloed op de mens, die veel verder gaan dan onze behoefte om te kunnen zien. Dit noemen we vaak de niet-visuele effecten van licht. Als we het hebben over gezondheid, evenwicht en fysiologische regulering, bedoelen we daarmee de belangrijkste functies die het lichaam gezond houden: het zenuwstelsel en het hormoonstelsel. Deze belangrijke controlecentra van het lichaam worden direct gestimuleerd en gereguleerd door licht (Edwards en Torcellini, 2002), door een bepaald subtype retinale ganglioncel: de intrinsiek fotosensitieve retinale ganglioncellen (ipRCG). Net als ons visuele systeem zijn deze ganglioncellen gevoelig voor licht.

Circadiaan ritme

Veel aspecten van de fysiologie en het gedrag van mensen worden beheerst door een 24-uursritme dat grote invloed heeft op onze gezondheid en ons welzijn. Het reguleert slaap/waakcycli, alertheid en prestaties, het ritme van de lichaamskerntemperatuur en het aanmaken van de hormonen melatonine en cortisol ((Pechacek et al., 2008). Deze dagelijkse ritmes worden circadiane ritmes genoemd en de regulering ervan hangt in grote mate af van de omgeving waar we in leven. De variatie in hoeveelheid licht, zowel dagelijks als per seizoen, is een cruciale factor in het vinden en behouden van ons dagelijkse 24-uursritme – ons circadiane ritme – dat op zijn beurt weer een sleutelrol speelt in het reguleren van de



Figuur 1.6. Aanmaken van de hormonen melatonine en cortisol (Brainard, 2002).

slaap-waakcyclus. Een verstoorde nachtrust hangt samen met een verminderde cognitieve functie stress, depressies, verminderde sociale interactie, problemen met de spijsvertering, hart- en vaatziekten, een verhoogd risico op infecties en zelfs op kanker. Een juiste mate van licht overdag en duisternis 's nachts is daarom cruciaal voor de belangrijkste aspecten van onze gezondheid (Circadian House, 2013). Het ochtendlicht is bijvoorbeeld het meest belangrijke signaal om onze innerlijke klok gelijk te zetten. Licht in de ochtend maakt ons ook alerter, waardoor we aan het begin van de dag beter kunnen presteren. Het afnemen van licht in de avond stimuleert daarbij juist de slaap voor de nacht. Er zijn andere externe factoren die de tijd aangeven, maar de voor daglicht kenmerkende verandering van licht naar donker, continuïteit en spectrale samenstelling synchroniseren ons circadiaan ritme op voortreffelijke wijze. Het is nu overduidelijk dat daglicht niet alleen belangrijk is om te kunnen zien, maar ook een sleutel-element in het reguleren van een groot aantal gebieden van menselijke gezondheid. Figuur 1.6 geeft de productieritmes van de hormonen melatonine en cortisol weer.

De biologische functie van licht

De reactie van onze biologie op de intensiteit, duur, tijd en het spectrum van licht is zeer complex en varieert behoor-

lijk tussen ons visuele en circadiaan systeem. Al deze kenmerken worden gebruikt als eerste stap op weg naar het voorschrijven van gezonde verlichting in gebouwen (Veitch, 2002). Onvoldoende blootstelling aan licht kan het normale circadiane ritme verstoren en een negatief effect hebben op menselijke prestaties, alertheid, gezondheid en veiligheid. We weten dat we door dagelijkse blootstelling aan buitenlicht ons slaap/waakritme en onze alertheid kunnen reguleren. Maar in werkelijkheid brengen we 90% van onze tijd binnen door (Klepeis, 2001; Leech, 2002; Schweizer, 2007), waar we blootgesteld worden aan relatief weinig licht met een beperkt spectrum, en met een onregelmatig patroon van licht en donker. Er is voorlopig bewijs dat blootstelling aan te weinig licht gerelateerd is aan een verslechtering van gezondheid en lager welzijn en kan leiden tot verminderde slaapkwaliteit, somberheid, gebrek aan energie en slechtere sociale relaties.

Lichtintensiteit

De meeste mensen kunnen werken bij een dagelijkse lichtsterkte van 500 lux, maar een uur lang blootgesteld worden aan 500 lux is mogelijk niet genoeg om het circadiane ritme op gang te brengen (intensiteit). In een onderzoek door Mardaljevic et al. (2012) werd een casus met en zonder dakramen onderzocht om het effect van lichtintensiteit te bepalen. De casus met alleen ramen

» We hebben meer licht nodig op het juiste tijdstip en van het juiste soort. «

aan de voorzijde toont aan dat de mate van lichtintensiteit het grootste is op de gezichtspunten het dichtst bij of in de richting van het raam. De casus met dakramen toonde een grotere intensiteit op alle locaties in de kamer en niet meer uitsluitend op de gezichtspunten in de richting van het raam. Dit illustreert hoe belangrijk het gebruik van daglicht is als belangrijkste bron van licht om het aanmaken van melatonine te onderdrukken, aangezien de lichtsterkte die nodig is rond de 1000 lux zou kunnen liggen, afhankelijk van het spectrum.

Een ander voorbeeld is een onderzoek in San Diego gedurende een gematigde en een zonnige periode, dat aantoonde dat, in wakkere toestand, de gemiddelde persoon 4% van elke 24 uur (gemiddeld 130 minuten) doorbracht in een lichtsterkte boven 1000 lux, en meer dan 50% van de tijd in een lichtsterkte van 0,1 tot 100 lux (Espiritu et al., 1994); de personen die dagelijks het minst werden blootgesteld aan een hoge lichtsterkte (boven 1000 lux) voelden zich het minst opgewekt.

Andere onderzoeken naar blootstelling aan licht tonen een gelijksoortige trend. We weten dat daglicht een veel hogere lichtsterkte kan verschaffen dan elektrische verlichting en in grote mate kan bijdragen aan een grotere dosis licht voor mensen die het grootste gedeelte van hun tijd binnen doorbrengen. Ter ondersteuning hiervan heeft een groot epidemiologisch onderzoek in Finland aangetoond dat mensen die binnen aan

meer licht werden blootgesteld een hogere kwaliteit van leven hadden wat gezondheid betrof.

Duur en tijd

Het visuele systeem reageert op en verwerkt licht in een fractie van een seconde, terwijl de biologische klok daar minuten of uren voor nodig heeft (duur). Dit betekent dat zowel de verlichting voor het oog en de duur van de blootstelling belangrijk zijn voor het effect van het licht op ons circadiaan systeem. Het tijdstip waarop het licht op het netvlies wordt geregistreerd heeft ook duidelijk een verschillend effect op het visuele systeem en circadiane ritme (tijd). Blootstelling aan fel licht in de ochtend kan de biologische klok terugzetten naar een eerder tijdstip ('vroeger opstaan'), terwijl fel licht in de avond de klok juist vooruit zet ('later opstaan'). Dit is, in het kort, het jetlag-syndroom, dat wordt veroorzaakt door een botsing tussen het biologische en het geografische tijdstip. Het visuele systeem reageert hetzelfde, ongeacht hoe laat het is.

Ook moet rekening worden gehouden met specifieke vereisten voor verschillende leeftijdsgroepen. De biologische klok van pubers en jongvolwassenen loopt wat achter en deze hebben dus meer licht nodig in de ochtend (in de slaapkamer, ontbijtkamer, klaslokaal, etc.), terwijl de biologische klok van ouderen juist voor loopt (wat leidt tot 's avonds vroeg in slaap vallen en

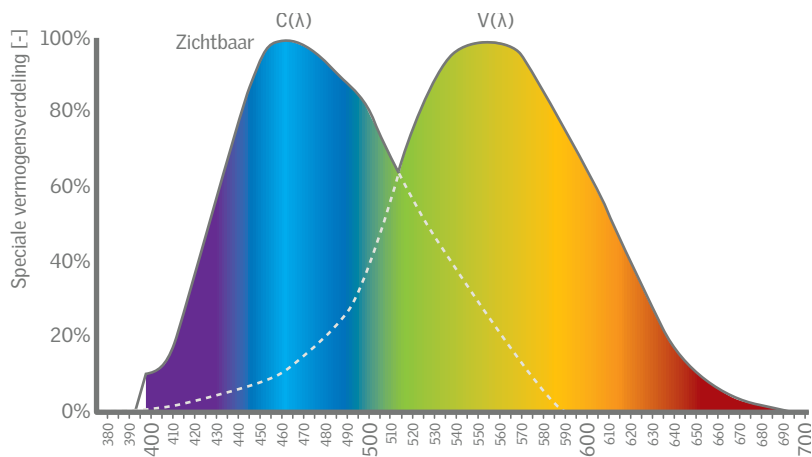
's ochtends vroeg wakker worden) (Wirz-Justice en Fournier, 2010).

Spectrum

Ten opzichte van gangbare elektrische lichtbronnen heeft daglicht de hoogste mate van licht die nodig is voor de biologische functies (Hathaway et al., 1992).

Het licht dat belangrijk is voor ons circadiane ritme ($C(\lambda)$) is niet hetzelfde als het licht dat belangrijk is voor ons visuele systeem ($V(\lambda)$), vanwege de

spectrale verschillen in de lichtgevoeligheid van de individuele fotoreceptorcellen. Het circadiaan systeem ($C(\lambda)$) wordt het meest beïnvloed door de golflengtes tussen 446 en 488 nm, terwijl het visuele systeem ($V(\lambda)$) het meest wordt beïnvloed door een golflengte van ongeveer 555 nm, zoals te zien in figuur 1.7. In de figuren 1.1. en 1.2. die hiervoor werden afgebeeld, is te zien dat de spectrale samenstelling van daglicht veel gevarieerder is op dit gebied van het elektromagnetisch spectrum dan gangbare elektrische lichtbronnen.



Figuur 1.7. De reactie van het circadiaan ($C(\lambda)$) en visueel ($V(\lambda)$) systeem op licht (Pechacek et al., 2008).

! Vergeet niet:

Mensen in een moderne samenleving krijgen dagelijks niet genoeg licht en moeten gedurende langere tijd worden blootgesteld aan hogere lichtsterktes. We moeten dagelijks blootgesteld worden aan licht, vanwege het rijke spectrum van daglicht waar het niet-visuele systeem het meest gevoelig voor is. Gezond licht gaat samen met gezonde duisternis.



Maison Air et Lumière, Frankrijk.

1.4 Voordelen van daglicht

1.4.1 Voordelen voor de mens

We weten dat een juiste mate van licht overdag en duisternis 's nachts cruciaal is voor de belangrijkste aspecten van onze gezondheid. Het ochtendlicht is het meest belangrijke signaal om onze innerlijke klok gelijk te zetten. Licht in de ochtend maakt ons ook alerter, waardoor we aan het begin van de dag beter kunnen presteren. Van halverwege de ochtend tot vroeg in de avond kunnen we dankzij veel daglicht ons slaap/waakritme en mate van alertheid reguleren, terwijl het afnemen van licht in de avond en een donkere kamer met verduistering juist slaap voor de nacht stimuleert. Als het niet mogelijk is om bewoners van een gebouw te voorzien van een goed verlichte totaalomgeving, kan dit gevolgen hebben voor de gezondheid en zware druk leggen op het individu, de samenleving en de bredere economie.

Prestaties en productiviteit

Over het algemeen wordt aangenomen dat helder licht mensen alerter maakt, en ruimtes met veel daglicht worden vaak door bewoners 'beter' gevonden dan schemerige ruimtes (Mardaljevic et al., 2012). Daglichtinval houdt verband met een goede humeur, een verhoogd moreel, minder vermoeidheid en verminderde vermoeidheid van de ogen (Robbins, 1986). Een groot aantal onderzoeken toont aan dat de prestaties en productiviteit van werknemers in een kantoor-, industriële of winkelomgeving verbeterd

kunnen worden met de kwaliteit van het licht. Bedrijven melden een stijging van ongeveer 15% in de productiviteit van hun werknemers na een verhuizing naar een ander gebouw met meer daglicht, wat leidde tot een behoorlijke financiële winst (Edwards and Torcellini, 2002). Een andere onderzoek toont aan dat een hogere tevredenheid met de verlichtingsomstandigheden (zowel daglicht als elektrische verlichting) bijdraagt aan tevredenheid met de omgeving, dat op zijn beurt leidt tot meer werktevredenheid (Veitch et al., 2008).

Onderzoek toont ook aan dat omgevingen met daglicht leiden tot effectievere leerprestaties. Leerlingen in het klaslokaal met het grootste raamoppervlak of het meeste daglicht scoorde 7% tot 18% hoger op een gestandaardiseerde toets dan de leerlingen in het klaslokaal met het kleinste raamoppervlak of het minste daglicht.

Voordelen van een hogere dosis licht

We hebben geen bewijs voor 'de dosis licht die nodig is', maar we hebben wel een duidelijke indicatie dat de dosis licht die nodig is hoger is dan de mate van binnenlicht die in standaarden en verordeningen wordt voorgeschreven voor elektrisch licht. Onderzoeken wijzen erop dat mensen zich positiever voelen over het leven bij een hogere dosis (Espiritu et al., 1994), terwijl men in sociale interactie na een blootstelling aan meer dan 1000 lux meer bereid was tot samenwerken en minder snel ruzie zocht (Aan het Rot et al., 2008).

» Eisen voor de gezondheid in woongebouwen wijzen erop dat er meer daglicht zou moeten worden gebruikt dan nu het geval is. Dit biedt mogelijkheden tot energiebesparing «



CarbonLight Homes

Tevredenheid van gebruikers

Enkele onderzoeken in woonhuizen tonen aan dat natuurlijk licht het meest belangrijke kenmerk is in een woning. Meer dan 60% van de deelnemers noemde het belangrijk (Finlay, 2012). Een enquête van de Wereldgezondheidsorganisatie in acht Europese steden toonde aan dat personen die vonden dat hun huis onvoldoende natuurlijk licht bevatte, groter risico liepen om depressief te raken of te vallen.

Voordelen van een uitzicht

Het interieur van een gebouw moet zo ontworpen zijn dat het tegemoetkomt aan de menselijke behoefte om verbonden te zijn met de natuurlijke omgeving, door deze zo weinig mogelijk te overschaduw en uitzicht te bieden op de verte (Wirz-Justice, 2010). Een uitzicht op de natuur wordt meer gewaardeerd dan een op door de mens gecreëerde omgeving, en een weids en ver uitzicht heeft de voorkeur boven een krap uitzicht dichtbij. Een divers en dynamisch uitzicht is interessanter dan een eentonig uitzicht. Het uitzicht kan van invloed zijn op de huur- of kostprijs van hotels, huizen en kantoorgebouwen (Kim and Wineman, 2005). Een uitzicht op de natuur kan een positief effect hebben op: het welzijnsgevoel van mensen (Kaplan, 2001); de subjectieve gezondheid (Kaplan, 1993); tevredenheid met de omgeving (Newsham et al., 2009); het humeur (Grinde and Grindal Patil, 2009);

gezondheidsproblemen (Heschong Mahone Group, 2003); werktevredenheid; de revalidatie van operatiepatiënten (Ulrich, 1984); ervaringen die stress veroorzaken (Ulrich et al., 1991); en voorkeur voor een plaats om te zitten (Wang and Boubekri, 2010, 2011). In een onderzoek door Ariës et al. (2010), werd aangetoond dat het uitzicht van een kantoor dat onafhankelijk werd beoordeeld als meer aantrekkelijk, werd gekoppeld aan minder ongemak, en dit effect leidde weer tot een betere nachtrustkwaliteit.

Effect van daglicht in een ziekenhuiskamer

Er is bewijs dat blootstelling aan daglicht de postoperatieve uitkomst van een patiënt kan beïnvloeden en daaruit volgt dat daglicht meegenomen dient te worden in het ontwerpen van een ziekenhuis. Ulrich (1984) gaf aan dat ziekenhuispatiënten met een uitzicht op groen, in tegenstelling tot patiënten met uitzicht op een blinde bakstenen muur, sneller herstelden van hun operatie en minder postoperatieve pijnmedicatie nodig hadden. Beauchemin en Hays (1998) ontdekten dat het sterftecijfer van patiënten aan de zonkant van een hartbewakingsafdeling lager was dan dat van patiënten aan de andere kant. Een andere studie stelde vast dat blootstelling aan zonlicht te maken had met zowel een verbeterde subjectieve beoordeling van de patiënten als met de verminderde pijnmedicatie die gewoonlijk werd toegediend tegen de postoperatieve pijn (Walch et al., 2005). Het belang van de hoeveelheid daglicht in de kamer van een patiënt heeft ook invloed op de lengte van het verblijf van de patiënt: na een bypassoperatie nam de duur van het ziekenhuisverblijf van de patiënt af met 7,3 uur per stijging van de hoeveelheid daglicht van 100 lux (Joarder and Price, 2013).

Voorkomen van een seizoensafhankelijke depressie (SAD)

Een seizoensafhankelijke depressie is een aandoening die gerelateerd is aan de beschikbaarheid van en verandering in buitenlicht in de winter. Rapporten wijzen erop dat 0,4% tot 9,7% van de wereldbevolking mogelijk lijdt aan een SAD, terwijl nog meer dan drie keer zoveel mensen tekenen van deze aandoening vertonen (een zogenaamde subsyndromale SAD, of S-SAD) zonder dat dit gezien wordt als een echte depressie (dit komt voornamelijk voor in Noord-Amerika en Noord-Europa) (Rosen, et al., 1990). Lichttherapie met een blootstellingsniveau aan het oog tussen 2500 lux (2 uur lang) of 10.000 lux (30 minuten) is bewezen effectief gebleken tegen een SAD (Sloane, 2008). Blootstelling aan buitendaglicht (~1000 lux) kan de symptomen van een SAD ook bestrijden (Wirz-Justice et al., 1996). Omdat een seizoensgebonden stemmingsstoornis dus vrij algemeen voorkomt, is de hoeveelheid daglicht in ons huis of op onze werkplek dus uitermate belangrijk – hoewel de effectieve waarde van het daglicht afhangt van het bouwkundige ontwerp van een ruimte en de voorzijde (Pechacek et al., 2008). Lichttherapie kan ook worden gebruikt om andere aan depressie gerelateerde symptomen te behandelen (bv. niet-seizoensafhankelijke depressies, pms of boulimia).

» Mits goed uitgezocht en geïnstalleerd, kan een energie-efficiënte lichtstraat zorgen voor minimale kosten voor verlichting, verwarming en koeling «

1.4.2 Energiebesparing van elektrische verlichting

Een ander voordeel van het gebruik van daglicht om de omgeving en/of taken te verlichten in een ruimte is het besparen van energie omdat er minder elektrische verlichting nodig is. Verschillende onderzoeken in kantoorgebouwen hebben een energiebesparing vastgesteld van 20% tot 60% door het gebruik van daglicht in plaats van elektrische verlichting, maar het is afhankelijk van het controlesysteem van de verlichting hoe goed de daglichtinval is tijdens werkuren en het beoogde gebruik van de ruimte. Als er geen controlesysteem is geïnstalleerd, doet de persoon die een ruimte binnenkomt vaak het elektrische licht aan. Waarom personen de kantoorverlichting precies aan of uit doen is niet altijd duidelijk, maar het is zelfs nog minder duidelijk in een huishoudelijke omgeving, waar de behoefte aan licht vaak afhangt van wat mensen willen en nodig hebben.

Voor ruimtes in niet-woonomgevingen zijn er officieel aanbevolen lichtsterktes bepaald. Deze zijn afhankelijk van het soort ruimte dat verlicht moet worden en functies erbinnen, en zijn gebaseerd op zowel de functionele efficiëntie van de verwachte taken die in de ruimte worden uitgevoerd als het visuele comfort (IEA, 2006). Ook bestaan er vaak richtlijnen en aanbevelingen voor de verlichting in een gemeenschappelijk woongebouw, maar niet voor eengezinswoningen.

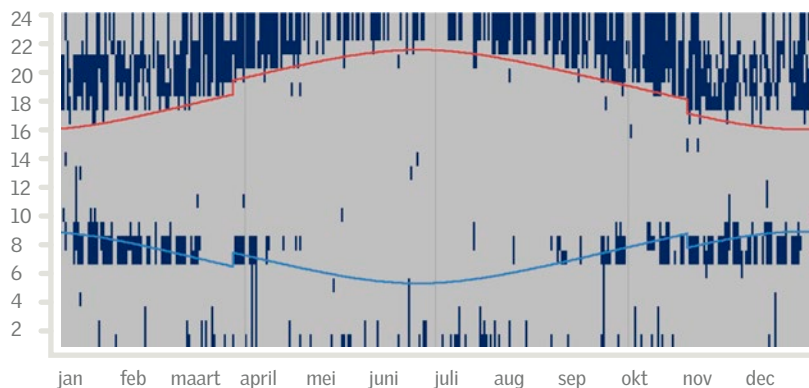
Voor een schatting van de besparingsmogelijkheden in een woonomgeving is een gebruikersprofiel nodig, en modellen om het licht aan en uit te doen. In een onderzoek door Mardaljevic et al. (2012), werd het Franse RT 2005-model gebruikt. Ze analyseerden op acht locaties in Europa de mogelijkheid tot het verschaffen van meer daglicht in een huis met of zonder lichtstraat om energie voor elektrische verlichting te besparen. Het onderzoek toont aan dat meer daglicht naar schatting leidt tot een verminderde noodzaak voor kunstlicht van 16-20%, afhankelijk van de locatie en ligging van het huis.

[Zie sectie 1.6.6.](#) ▶

In het LichtAktiv Haus in Duitsland wordt de elektrische verlichting in de keuken sterk beïnvloed door de mate van binnendaglicht: de verlichting wordt meestal aangezet voor zonsopkomsten na zonsondergang. Er is een redelijk verband tussen veel daglicht en hoe waarschijnlijk het is om het licht aan te doen, terwijl het weer buiten en de dag van de week minder invloed heeft (bv. voor een gezin met kinderen).

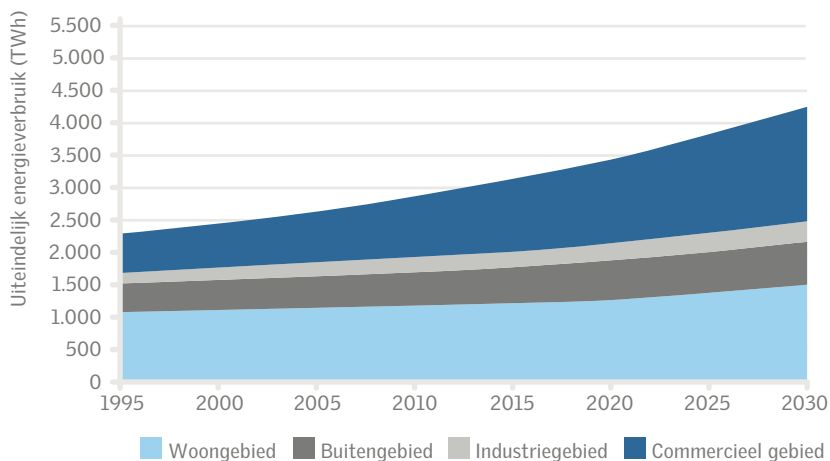
» Het gebruik van elektriciteit voor kunstlicht is een grote bron van CO₂-kosten voor kantoren: tot 30% van het totaal. Daarom is een goede daglichtinval zo belangrijk in duurzame architectuur «

Elektrisch licht in de keuken



Figuur 1.10 LichtAktiv Haus. Tijdkaart van het gebruik van verlichting in de keuken (2012), met de tijd waarop de zon opkomt (blauw) en ondergaat (rood). Het gebruik van verlichting en de zonsopkomst/ondergang zijn afhankelijk van de plaatselijke tijd, rekening houdend met de zomer/wintertijd.

Wereldwijde elektriciteit voor verlichting



Figuur 1.11 Het wereldwijd elektriciteitsverbruik voor verlichting gaat naar verwachting omhoog door de huidige sociaal-economische trends en beleidsmaatregelen. De werkelijke groei hangt af van de vraag naar kunstlicht en de efficiëntie van verlichtingstechnologieën. Dit zijn slechts twee van de factoren die van invloed zijn op het verhoogd verbruik (IEA, 2006).

De IEA-publicatie *Light's Labours Lost* stelt dat beleidsplannen om beter gebruik te maken van daglicht meestal de volgende maatregelen implementeren om besparingen uit het gebruik van daglicht te stimuleren:

- Het implementeren van een zomer/wintertijdregeling
- Het aannemen van maatregelen voor daglicht in bouwverordeningen
- Het ondersteunen van R&D de verspreiding van daglichttoepassingen en -technologieën
- Het classificeren en certificeren van ramen

1.4.3 Voordelen voor het milieu

Het toenemend gebruik van natuurlijke bronnen zoals daglicht en lucht in onze gebouwen, door het gebruik van ramen in gevels en daken, kan van invloed zijn op onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en bovendien de verbranding van broeikasgassen verminderen.

Verlichting is een van de grootste verbruikers van elektriciteit en een van de grootste oorzaken van energie-gerelateerde uitstoot van broeikasgassen. De hoeveelheid elektriciteit die wordt verbruikt door verlichting is bijna gelijk aan de hoeveelheid die wordt geproduceerd door alle gas-aangedreven centrales en bijna 15% meer dan de hoeveelheid die wordt geproduceerd door water- of kerncentrales. Voor binnenverlichting in gebouwen in de tertiaire sector wordt de meeste energie voor elektrische verlichting gebruikt, bijna net zoveel als in woonhuizen en industriële gebouwen samen. Gemiddeld genomen wordt 34% van het totale energieverbruik in de tertiaire sector gebruikt voor verlichting, terwijl daar in woonhuizen in OESO-landen 14% van het verbruik voor wordt gebruikt. In landen die geen lid zijn van de OESO zijn deze percentages vaak hoger. (IEA, 2006)

Vergeet niet:

Een omgeving met daglicht zorgt voor betere (leer)prestaties en productiviteit. Lichttherapie met een blootstellingsniveau aan het oog tussen 2500 lux (2 uur lang) en 10.000 lux (30 minuten) is bewezen effectief gebleken tegen een SAD en andere depressie-gerelateerde klachten.

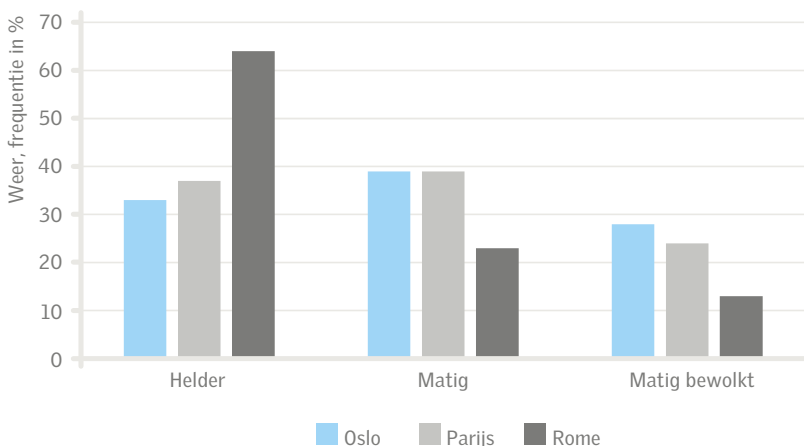
1.5 Factoren van invloed op de prestatie van de daglichtinval

1.5.1 Klimaat

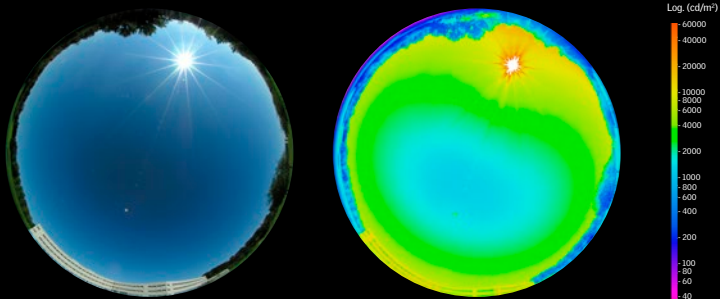
De heersende klimaatomstandigheden op de locatie van een gebouw bepalen de eerste vereisten voor het ontwerp voor de daglichtinval met betrekking tot de beschikbaarheid van zonlicht, visueel comfort, thermisch comfort en energieprestaties. In Figuur 1.13 t/m 1.15 wordt het effect van klimaatomstandigheden op de hemellichtverdeling en -intensiteit

Voorbeeld

De grafiek hieronder geeft een overzicht van de maandelijkse hemelomstandigheden op drie plaatsen in Europa: Rome, Parijs en Oslo. De cumulatieve gegevens van de beschikbaarheid van daglicht binnen werkuren tonen aan dat voor 60-80% van de werkuren een horizontale lichtsterkte van 10.000 lux beschikbaar kan zijn, en voor 30% van de werkuren een lichtsterkte van 20.000 lux. De totale lichtsterkte (luminantie van zonlicht plus hemellicht) verschilt daarentegen sterk per breedtegraad. In Oslo komt in 35% van de werkuren een totale lichtsterkte van meer dan 30.000 lux voor, maar in Rome is dat 65% van de werkuren.

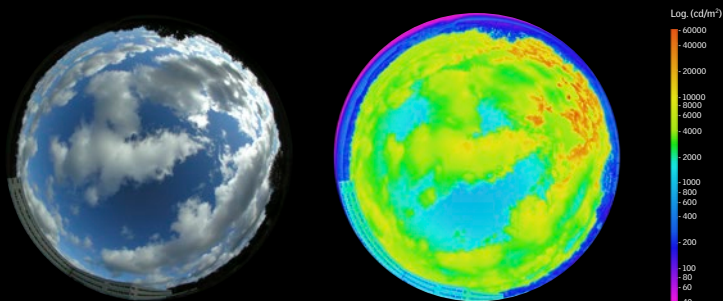


Figuur 1.12 Weerfrequentie in % in drie verschillende Europese steden.



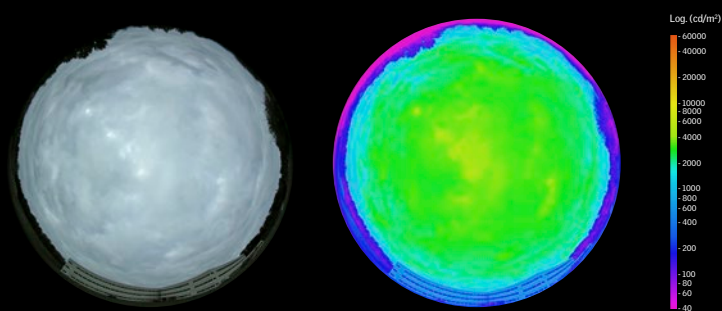
1) Figuur 1.13 Luminantie van een heldere, zonnige hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een heldere hemel. De luminantie van een heldere hemel is aan de

horizon bijna tien keer hoger dan op het hoogste punt. Naast de hemelluminantie is er ook de luminantie van de zon. De zon is een dynamische lichtbron met zeer hoge intensiteit.



2) Figuur 1.14 Luminantie van een matig heldere hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een matig heldere hemel. In dit specifieke geval wordt de zonnenergie door de wolken verspreid, wat zorgt

voor een minder abrupte overgang van de zeer intense luminantie van de zon en de luminantie van de hemel. Het is te zien dat de wolken (verlicht door de zon) een hogere luminantiewaarde hebben dan de hemel.



3) Figuur 1.15 Luminantie van een bewolkte hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een bewolkte hemel.

Als de hemel volledig bewolkt is, is de hemelluminantie in alle richtingen hetzelfde, en is deze in het zenit ongeveer drie keer hoger dan aan de horizon.

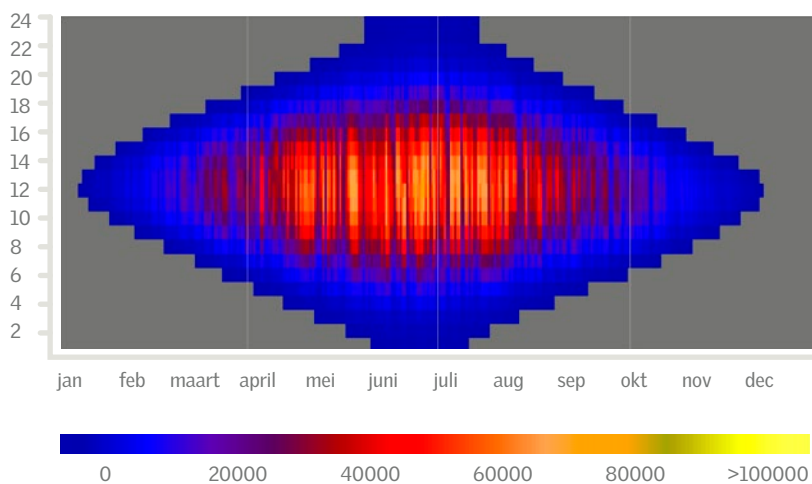
1.5.2 Breedtegraad

De breedtegraad van de locatie van een gebouw bepaalt de zonnehoogte gedurende de dag en het jaar. De hoogte van de zon in de zomer en winter op een bepaalde locatie is een belangrijke ontwerpfactor voor de regulering van directe zonnestraling. De breedtegraad bepaalt ook de lengte van de dag en de beschikbaarheid van zonlicht in verschillende seizoenen van het jaar. De maximale en minimale zonnehoogte zijn afhankelijk van de

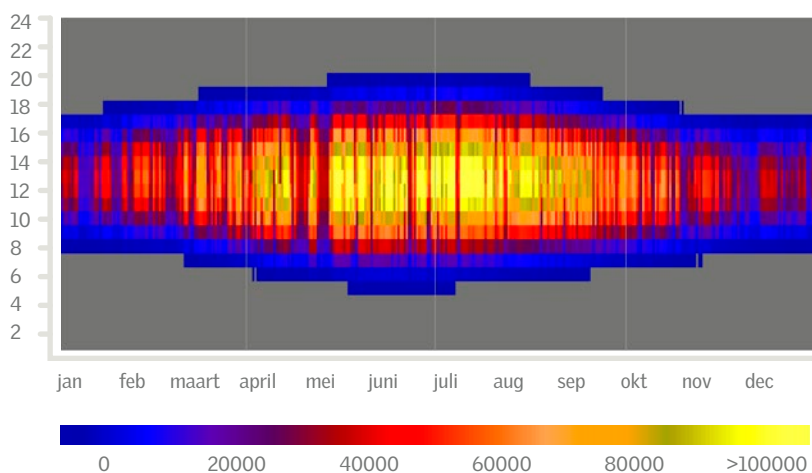
breedtegraad van de locatie: het verschil tussen zomer en winter wordt groter naarmate de breedtegraad ten noorden of zuiden van de evenaar hoger is. Figuur 1.16 geeft het verschil in de buitenlichtsterkte weer op plaatsen in het noorden en zuiden van Europa.

De grootste piek in totale lichtsterkte vindt plaats in de zomer (op het noordelijk halfrond), wanneer de zon op het hoogste punt staat, en is bijna 2,5 keer zo hoog als de laagste piek in de winter, wanneer de zon op het laagste punt staat.

Totale lichtsterkte in Kiruna, Zweden (67.85°N)



Totale lichtsterkte in Rome, Italië (41.90°N)

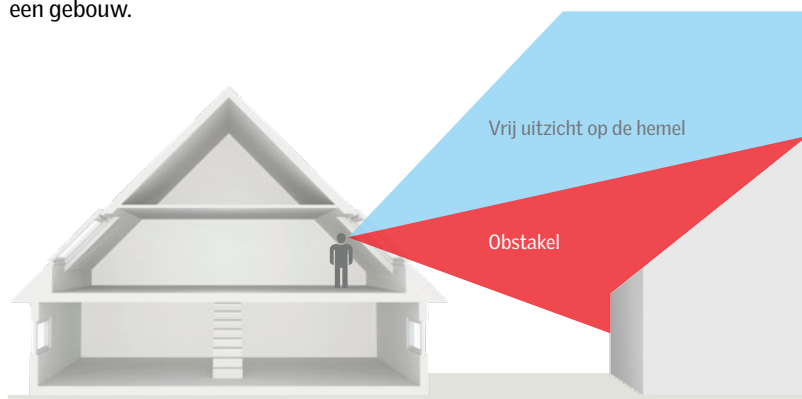


Figuur 1.16 Totale lichtsterkte in plaatsen in het noorden en zuiden van Europa.

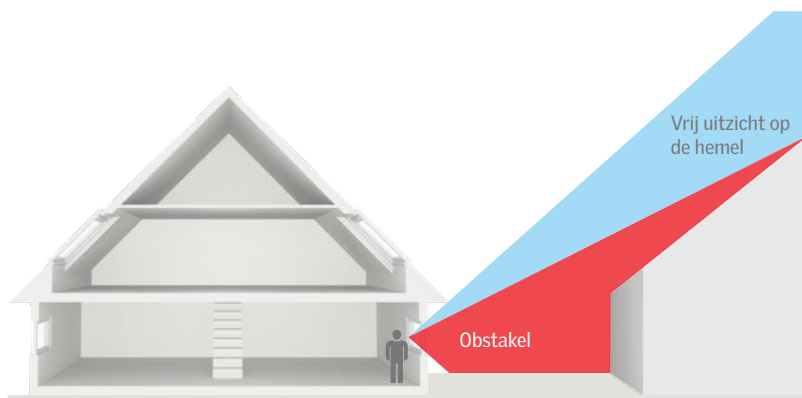
1.5.3 Obstakels en weerspiegelingen op locatie

Weerkaatsingen en belemmeringen van omringende objecten die zich buiten op de locatie van het gebouw bevinden (andere gebouwen, begroeiing, grondoppervlak, etc.) zijn van invloed op de hoeveelheid daglicht binnen in een gebouw.

Dakramen en lichtstraten hebben over het algemeen minder last van hinder door zand en hebben een groter uitzicht op de hemel dan verticale ramen, zoals te zien op Figuur 1.17 en 1.18.



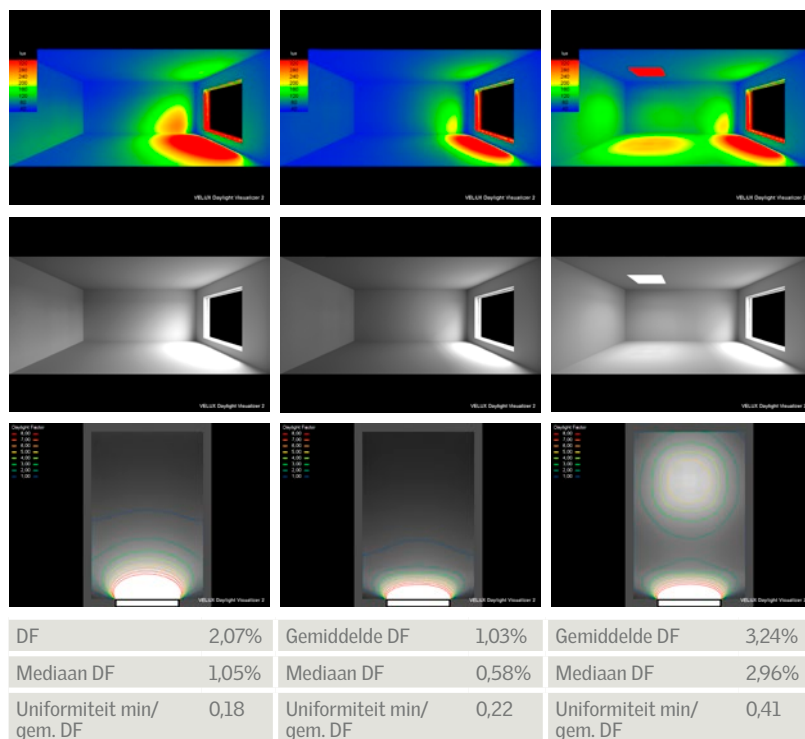
Figuur 1.17 Samenstelling van het uitzicht met dakraam



Figuur 1.17 Samenstelling van het uitzicht met verticale raam

Voorbeeld

Deze afbeelding geeft het effect weer van een obstakel op het daglicht in een eenvoudige kamer met een verticaal raam, en het effect van een toegevoegd plat-dakraam om het daglicht verder in de kamer te laten vallen. Het resultaat toont aan dat een obstakel grote invloed kan hebben op de hoeveelheid daglicht binnen in een gebouw, en hoe het plaatsen van een raam op het dak met vrij zicht voor veel meer daglicht kan zorgen.



Figuur 1.19 Vergelijking van daglicht in een kamer zonder (links) en met externe obstakels (midden en rechts)

1.5.4 Bouwontwerp

Vorm

De vorm van een gebouw heeft invloed op de mogelijkheid tot het verschaffen van genoeg daglicht in het interieur. In een diep gebouw is een daglichtinval met alleen verticale ramen maar beperkt mogelijk. Hoe veel glas er ook in het front geplaatst is, de daglichtverdeling is slechts voldoende ($DF > 2\%$) binnen een paar meter van het front, zoals te zien in figuren 1.20 en 1.21.

Maatregelen als lichtplanken en weerskaatsende plafonds kunnen zorgen dat het licht van het front iets wordt verdeeld, maar deze oplossingen zorgen vaak voor visueel ongemak. De meest effectieve manier om daglicht dieper in een gebouw te laten vallen is door gebruik te maken van licht op het dak met producten als dakramen en lichtspots van VELUX.

Voorbeeld: daglicht in een diep gebouw

In de simulaties hieronder wordt weergegeven hoe het daglicht valt in een diepe kamer met drie verschillende raamsamenstellingen.

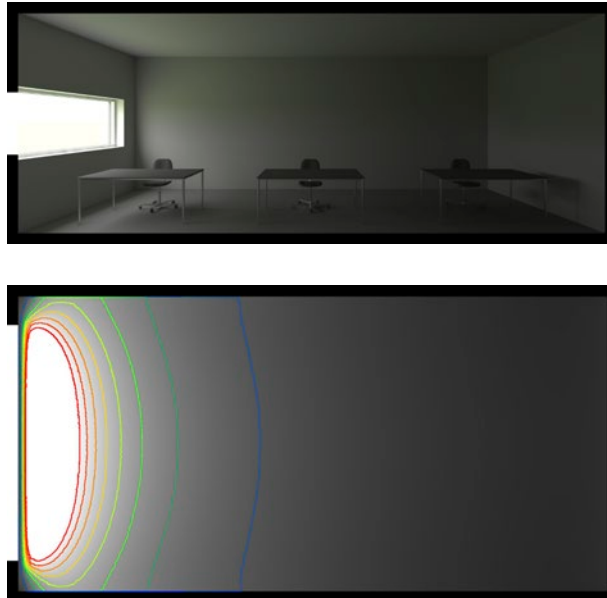
Afmetingen van de kamer: 8 m (d) x 4 m (b) x 3 m (h)

Zichtbare transmissie venster (τ_v): 0.78

Oppervlakteweerskaatsing: 0,5 (vloer), 0,66 (muur), 0,90 (plafond)

1) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 10% (alleen verticale raam).

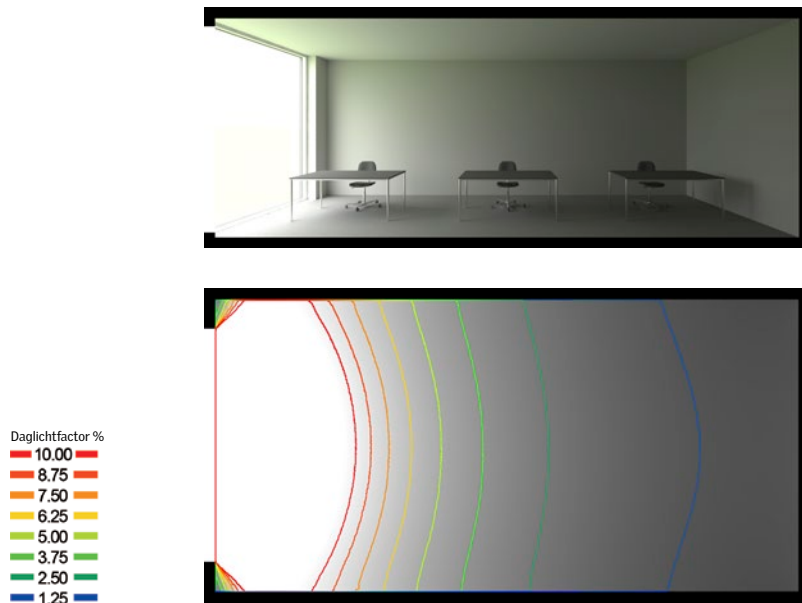
Het resultaat van scenario 1 toont aan dat een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 10% slechts binnen een paar meter van het front een DF van 2% bereikt, en dat de lichtsterkte achter in de kamer zeer laag blijft. Hoewel de gemiddelde DF van de kamer gelijk is aan 1,9%, heeft slechts een klein deel van het werkoppervlak een waarde van meer dan 2% en is slechts een van de drie werkplekken echt verlicht met daglicht.



Figuur 1.20 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 1.

2) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 30% (alleen verticale raam).

Het resultaat van scenario 2 toont aan dat een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 30% leidt tot een DF van 2% tot ongeveer 4,5 meter van het front. De gemiddelde DF is gelijk aan 5,1%, maar is zeer niet-uniform en niet gelijkmatig verdeeld over het werkoppervlak. De waarden bij het raam zijn zeer hoog, en die achterin de kamer zeer laag, wat zeer waarschijnlijk leidt tot visueel ongemak en verblinding. In dit scenario zijn twee van de drie de werkplekken goed verlicht met daglicht.

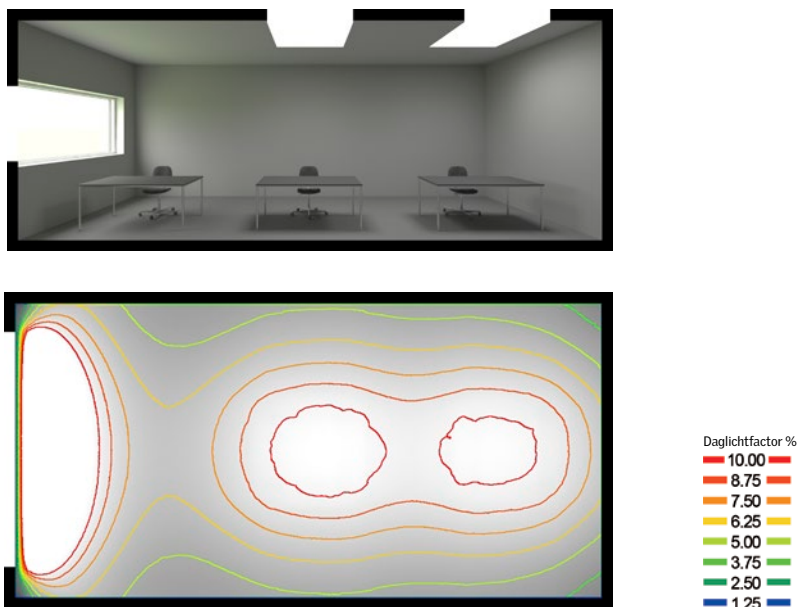


Figuur 1.21 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 2.

3) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 20% (11% verticale raam + 9% dakraam).

Het resultaat van scenario 3 toont aan dat een combinatie van front- en dakramen met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 20% een hoge en bruikbare DF oplevert op het gehele werkoppervlak, met een gemiddelde DF van 6,4%. Het resultaat geeft aan dat het gebruik van dakramen zorgt voor beter daglicht en een goed verlichtte omgeving waar weinig verblinding en visueel ongemak optreedt. In dit scenario zijn alle drie de werkplekken goed verlicht met daglicht.

Simulaties uitgevoerd met de VELUX Daylight visualizer. In scenario 3 zijn CVP VELUX dakramen gebruikt.

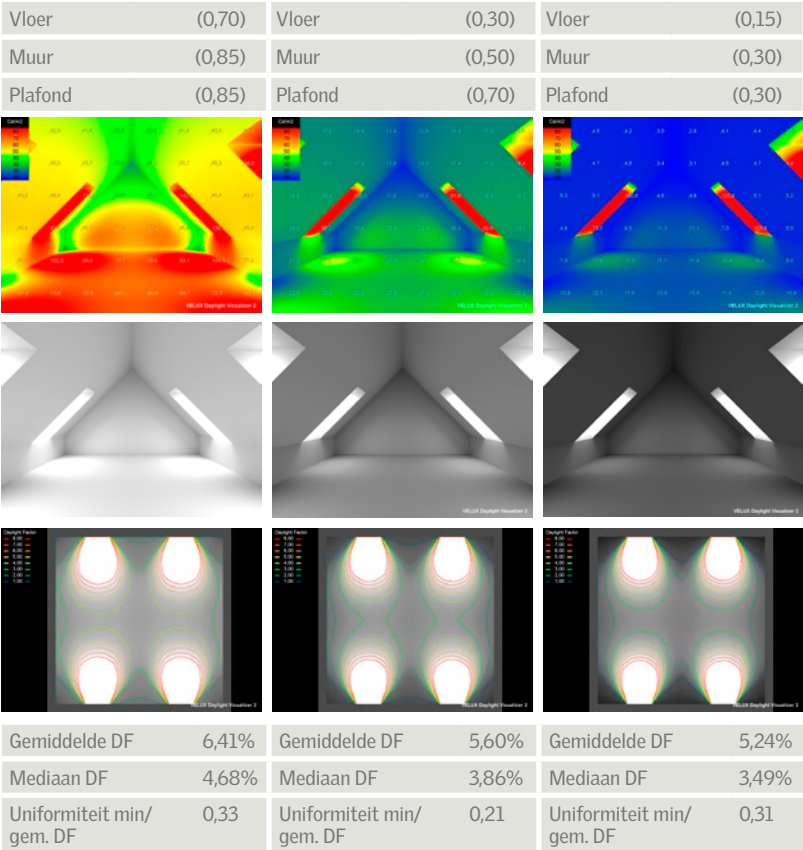


Figuur 1.22 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 3.

Eigenschappen van het materiaal

De kleur en weerkaatsing van oppervlakken in de ruimte zijn onderdeel van het verlichtingssysteem. Donkere oppervlakken weerkaatsen minder licht dan lichte oppervlakken, en het resultaat is waarschijnlijk een onbevredigend verlichte omgeving met

weinig indirect of weerkaatst licht. Lichte verticale oppervlakken in de ruimte hebben over het algemeen de voorkeur boven donkere, maar zonwering om zonlicht te reguleren moeten juist gemaakt zijn van donker materiaal om het risico op verblinding te verkleinen (bv. grijze zonneschermen).



Figuur 1.23 Een luminantiesimulatie toont het effect van oppervlakteweerkaatsing op de hoeveelheid daglicht.

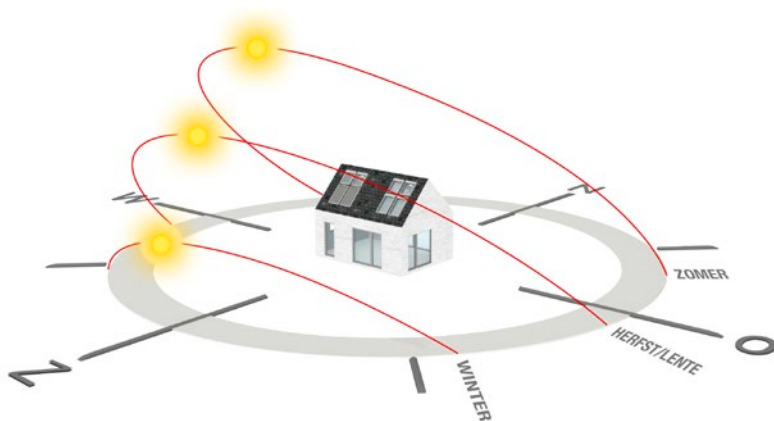
1.5.5 Ramen en lichtstraten

Richting

De richting van de ramen is van invloed op de beschikbaarheid en de kwaliteit van daglicht in het interieur. Op het noordelijk halfrond bestaat het licht uit noordelijke richting vaak uit diffuus hemellicht, wat zorgt voor een functioneel en aangenaam licht dat gedurende de dag vrij stabiel blijft.

Licht uit het zuiden, oosten en westen zorgt vaak voor direct zonlicht in het interieur, dat gedurende de dag sterk varieert vanwege de zon die zijn baan om de aarde trekt.

Dakramen en lichtstraten in licht hellende daken en platte daken krijgen vaak direct zonlicht.



Figuur 1.24 Een diagram dat de baan van de zon weergeeft tijdens de winterzonnewende (kortste dag), de equinox (dag en nacht bijna even lang) en de zomerzonnewende (langste dag).

Afmetingen van de beglazing

De hoeveelheid daglicht die in een kamer valt, houdt verband met het totale beglazingsoppervlak van de ramen in die ruimte.

Transmissie van beglazing

De hoeveelheid daglicht die door een venster valt neemt af naarmate er meer lagen in het glas zitten. Een vuistregel is dat dubbele beglazing (zonder coating) ongeveer 80% van het licht doorlaat, terwijl driedubbele beglazing (zonder coating) ongeveer 70% van het licht binnenlaat (ten opzichte van een open raam). Gekleurd of geccoat glas kan de zichtbare transmissie van een venster zelfs terugbrengen tot 20% en grote invloed hebben op de spectrale kwaliteit van het doorgelaten licht, evenals het waarnemen van kleuren van oppervlakken in het interieur.

ⓘ **Vergeet niet:**

Een vuistregel is dat dubbele beglazing ongeveer 80% van het licht doorlaat, en driedubbele beglazing ongeveer 70% van het licht binnenlaat.

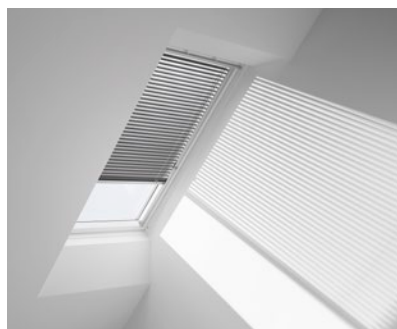
Gekleurd of geccoat glas kan de zichtbare transmissie van een raam zelfs terugbrengen tot 20%.

» Het is onmogelijk om het daglicht in gebouwen te 'optimaliseren' met alleen statische beglazing, omdat de intensiteit van daglicht sterk varieert «

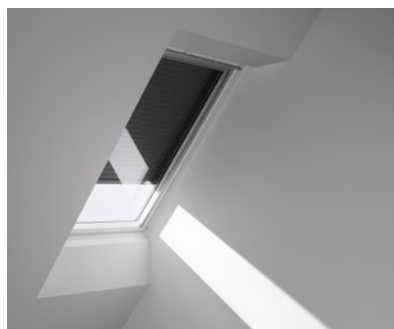
Zonwering

Zonwering en zonneschermen zijn net zo belangrijk voor een goede daglichtinval als het raam zelf. Plisségordijnen en jaloezieën kunnen worden gebruikt om de hoeveelheid daglicht in een ruimte aan te passen en om de luminantie van ramen te verminderen om verblinding tegen te gaan. Jaloezieën kunnen ook worden gebruikt om het licht in een

kamer een andere richting te geven. De meest effectieve oplossing om directe zonnestraling in het gebouw te voorkomen is het gebruik van externe zonwering. Voorbeelden van externe zonwering zijn rolluiken en zonneschermen. Een donkergrijs scherm (VELUX zonnescherm 5060) vermindert de lichtsterkte en luminantie zodanig dat het risico op verblinding wordt voorkomen.



Binnenzonwering, jaloezieën



Buitenzonwering, rolluik



Binnenzonwering, plisségordijn



Buitenzonwering, zonnescherm

Figuur 1.25 Verschillende zonweringen

Positie

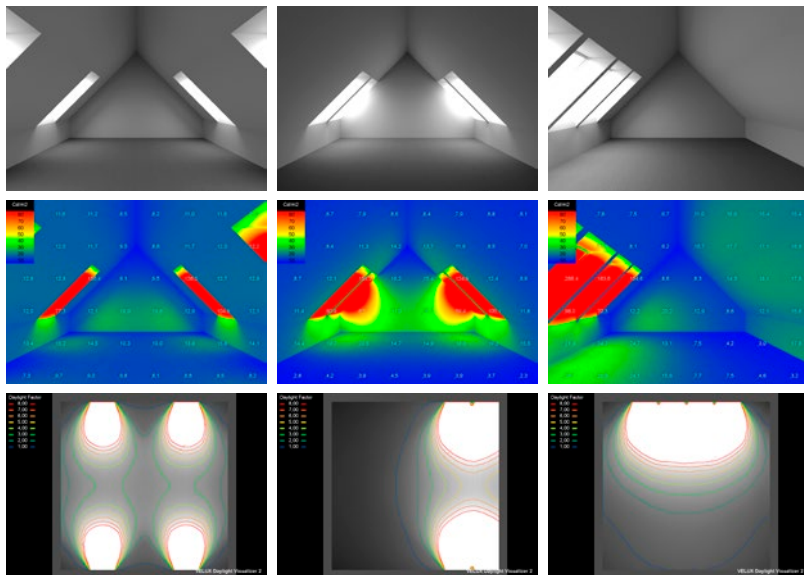
De positie van de ramen heeft invloed op de verdeling van daglicht in de kamer en bepaalt de hoeveelheid 'bruikbaar' daglicht. Bij het bepalen van de positie van een raam moet ook rekening worden gehouden met het uitzicht op de omgeving en de ooghoogte van de bewoners.

Kozijnen

De vorm en diepte van een raamkozijn is van invloed op de hoeveelheid daglicht die in een kamer valt, en kan worden gebruikt om de overgang van de hoge luminantie van het raam naar de oppervlakken in de kamer geleidelijker te laten verlopen.

Voorbeeld

Op de afbeelding hieronder wordt het effect weergegeven van verschillende raamposities in een zolder met vier dakramen. Het resultaat toont aan dat de gemiddelde DF-waarde in de kamer varieert, maar niet zo sterk als de mediaan van de DF-waarden, die een beter beeld geven van de bruikbare hoeveelheid daglicht in de kamer. Ook is het opvallend hoe de plaatsing van ramen invloed heeft op de uniformiteit van daglicht in de kamer, en het is verstandig om hier rekening mee te houden in het ontwerpen van het gebouw en de raamindeling.



Gemiddelde DF	5,63%	Gemiddelde DF	4,45%	Gemiddelde DF	5,88%
Mediaan DF	3,88%	Mediaan DF	1,60%	Mediaan DF	2,94%
Uniformiteit min/ gem. DF	0,22	Uniformiteit min/ gem. DF	0,06	Uniformiteit min/ gem. DF	0,14

1.5.6 Lichtspots

Richting

Richting is een cruciale factor in de prestaties van de lichtspot. Deze producten zijn bedoeld om intens zonlicht te transporteren en het te verstrooien tot bruikbaar daglicht voor gebieden achter in een gebouw, waar geen raam nodig is maar wel daglicht gewenst is. Lichtspots moeten zo gericht worden dat ze maximaal zijn blootgesteld aan direct zonlicht.

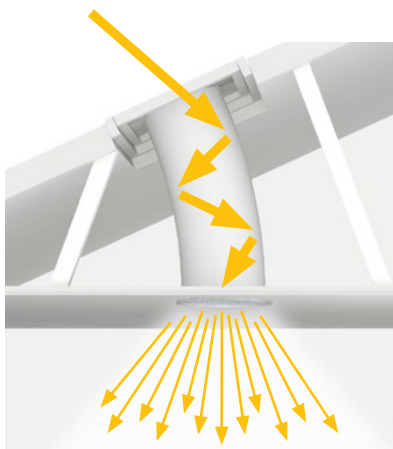
Lengte en opstelling

De lengte van een lichtspot is van invloed op het aantal interreflecties dat nodig is zodat het zonlicht de kamer kan bereiken. Hoewel korte lichtspots

zorgen voor meer licht, kan zonlicht door het zeer reflecterende metaal dat er in gebruikt wordt efficiënt tot 6 meter ver worden getransporteerd. Harde lichtspots zorgen voor meer licht dan flexibele spots.

Transmissie van de verdeler

De transmissie en optische eigenschappen van de verdeler zijn zowel van invloed op de hoeveelheid licht als de verdeling ervan door lichtspots. Zoals blijkt uit de naam, wordt het directe zonlicht dat in de lichtspot valt door de verdeler gelijkmatig verdeeld voor een goede verspreiding van daglicht in de kamer.



Figuur 1.26 Diagram dat weergeeft hoe zonlicht in een lichtspot getransporteerd wordt.

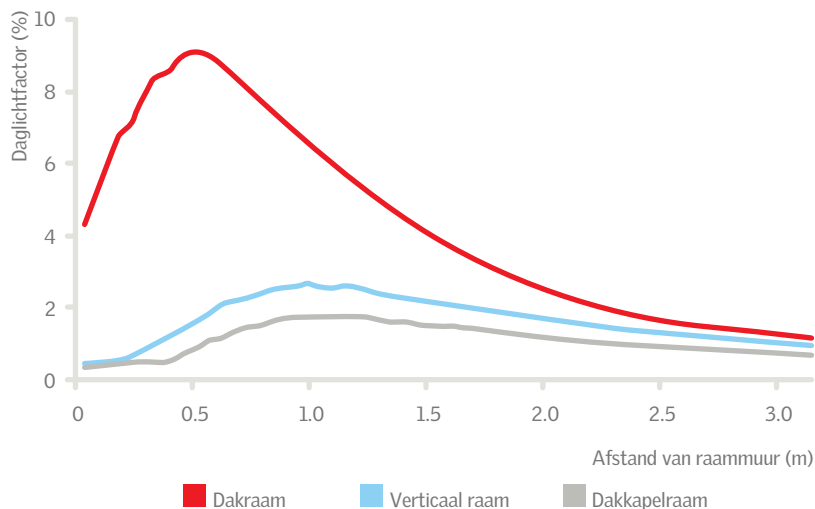
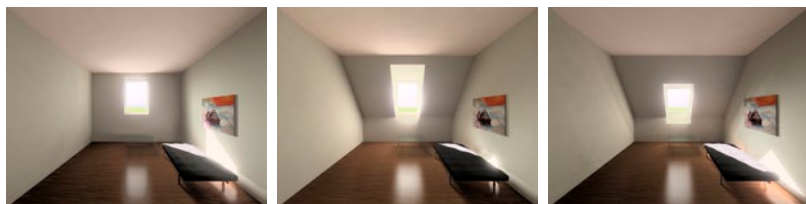
» Dakramen en lichtstraten bieden veel meer licht dan verticale en dakkapellen «

1.6 Daglicht met dakramen, dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten

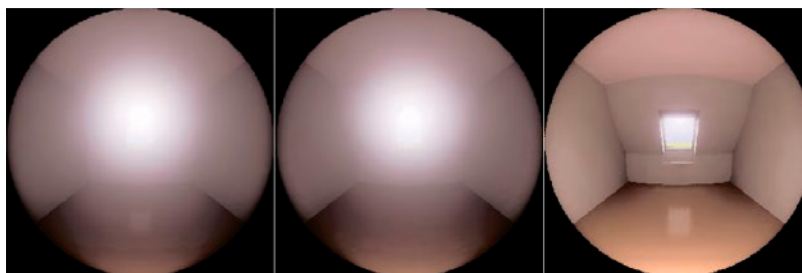
1.6.1 Invloed van configuraties met drie ramen op de daglichtomstandigheden

Het is aangetoond dat, onder vergelijkbare omstandigheden, dakramen zorgen voor minstens twee keer zoveel licht als

verticale ramen en drie keer zoveel licht als dakkapellen die even groot zijn. Zie Figuur 1.27. Het dakraam biedt ook meer variatie in de hoeveelheid licht, wat de kamer visueel interessanter maakt (Johnsen et al., 2006).



Figuur 1.27 Vergelijking van de daglichtfactor over de diepte van de kamer.



Verticaal

Dakkapel

Dak

Figuur 1.28 Vissenogweergave van een zicht op een muur met een raam rond het middaguur op een zonnige decemberdag. De afbeeldingen laten zien dat het zonlicht in alle drie gevallen direct in het gezichtsveld valt. Door het dakraam lijkt het zonlicht echter minder verblinding te veroorzaken.

Naast het bieden van meer daglicht, is ook aangetoond dat dakramen zorgen voor een hogere muurluminantie dan verticale ramen en dakkapellen, wat leidt tot een gelijkmatiger overgang van de hoge luminantie van het raam

en de naastgelegen muur, waardoor het risico op verblinding minder wordt. De afbeelding hierboven geeft het verschil weer tussen de waargenomen verblinding van een verticale raam, dakkapel en dakraam.



Solhuset kleuterschool

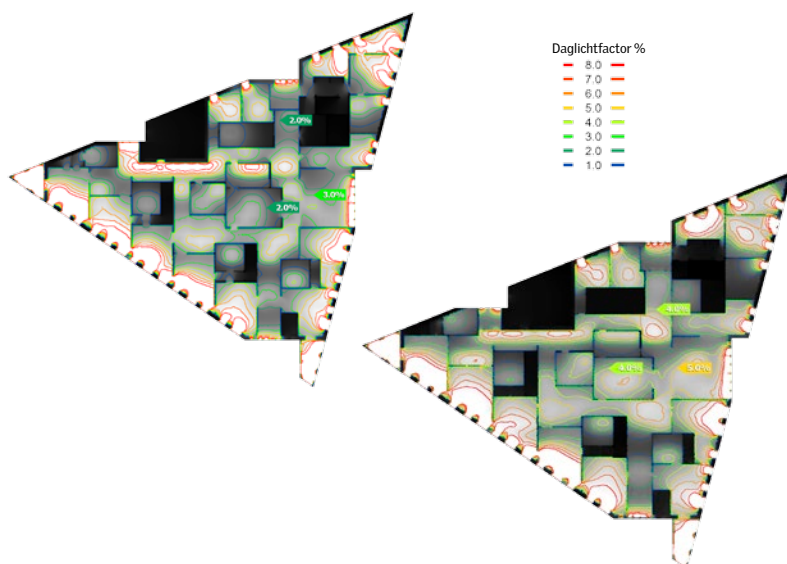
1.6.2 Effect van dakramen in de kleuterschool Solhuset

Architectenbureau Christensen & Co Architects (CCO) heeft daglichtfactor-simulaties gebruikt om het daglicht in dit kleuterschoolproject te bepalen en optimaliseren.

De daglichtfactorsimulatie liet zien dat het licht op sommige plekken in het gebouw niet voldoende was, zoals in de gymzaal in het middelste deel van het gebouw en eetzaal die op het oosten lag (bv. een DF van 5% in plaats van 2%). Daarentegen liet de simulatie ook

veel licht zien op bepaalde plekken dat kon worden gebruikt om het daglicht in het hele gebouw te optimaliseren.

Volgens de architect is de positie en het ontwerp van de raamkozijnen in het uiteindelijke ontwerp geperfectioneerd voor optimaal daglicht in alle belangrijke plekken in het gebouw en voor het stimuleren van een betere oplossing voor de constructie van het plafond. De daglichtfactorsimulatie in het uiteindelijke ontwerp, zoals weergegeven in de afbeelding hieronder, laat een sterke verbetering zien ten opzichte van het resultaat van het oorspronkelijke ontwerp.



Figuur 1.30 Daglichtfactorsimulatie in het oorspronkelijke ontwerp (links) en het uiteindelijke ontwerp (rechts) van de Solhuset kleuterschool.

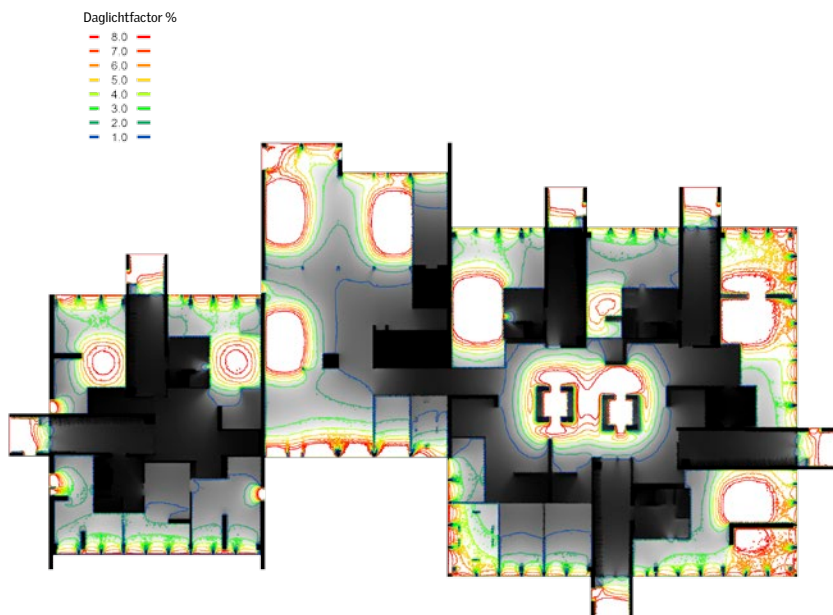


Drømmebakken kleuterschool

1.6.3 Effect van het plaatsen van dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten in een voormalig stadhuis, nu een kleuterschool

Daglicht is het perfecte materiaal om het binnenklimaat te verbeteren bij het verbouwen van bestaande gebouwen. Het verbeteren van de daglichtinval kan het gebruik van een ruimte nieuw leven inblazen en zorgen voor meer comfort en welzijn voor de bewoners.

Dit kleuterschoolproject was vroeger een stadhuis met een plat dak zonder ramen of lichtspots voor de verbouwing. De architecten van CASA gebruikten modulaire lichtstraten van VELUX en plat-dakramen om daglicht te brengen op de belangrijkste plaatsen in het project om zo te zorgen voor lichte ruimtes voor de kinderen.



Figuur 1.32 Weergave van daglichtfactor in het Drømmebakken kleuterschoolproject in Denemarken.



Green Lighthouse.

1.6.4 Effect van dakramen in het Green Lighthouse

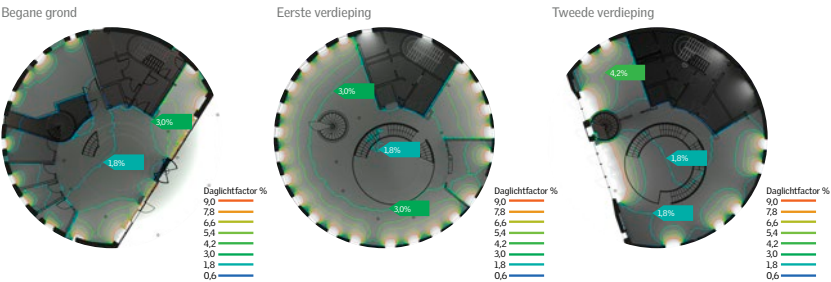
Het daglicht in het Green Lighthouse, een VELUX 2020 modelhuis is onderworpen aan een daglichtfactorsimulatie. Om het effect aan te tonen van de VELUX dakramen werd een vergelijking uitgevoerd tussen de hoeveelheid daglicht met en zonder het gebruik van dakramen.

Het resultaat, te zien in figuur 1.34, toont aan dat de dakramen zorgen

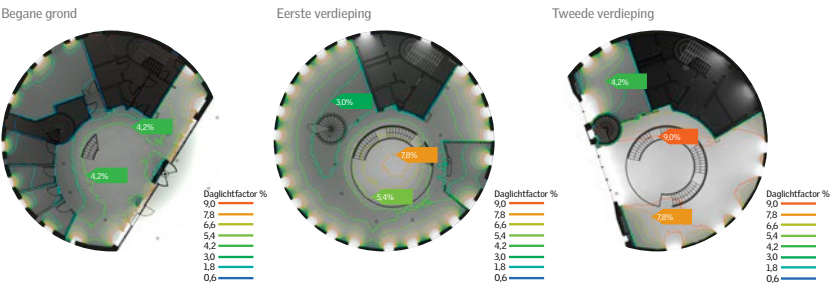
voor veel daglicht in de lounge op de tweede verdieping, wat leidt tot een gezond en goed verlicht binnenmilieu met zicht op de lucht voor de personen in het gebouw.

Het resultaat toont ook aan dat het gebruik van dakramen sterk bijdraagt aan meer daglicht op de lageregelegen verdiepingen door de lichte ruimte in het atrium, en leidt tot een betere verdeling van daglicht op alle verdiepingen door de balans met het licht van de frontramen.

Daglicht zonder dakramen



Daglicht met dakramen



Figuur 1.34 Weergave van daglichtfactor in het Green Lighthouse met vergelijking van daglicht met en zonder dakramen.

1.6.5 Effect van dakramen bij het verbouwen van schoolgebouwen

Het effect van het plaatsen van dakramen in de Langebjergschool werd beoordeeld met een daglichtfactor-simulatie waarin het daglicht werd vergeleken voor en na de verbouwing, waarbij vier dakramen werden geplaatst in elk klaslokaal, evenals in de loopruimtes. Figuur 1.36 geeft de resultaten van de daglichtfactor weer in het oorspronkelijke ontwerp, waarin de klaslokalen waren voorzien van twee dakramen. Het resultaat van de simulatie toont aan dat de DF in de

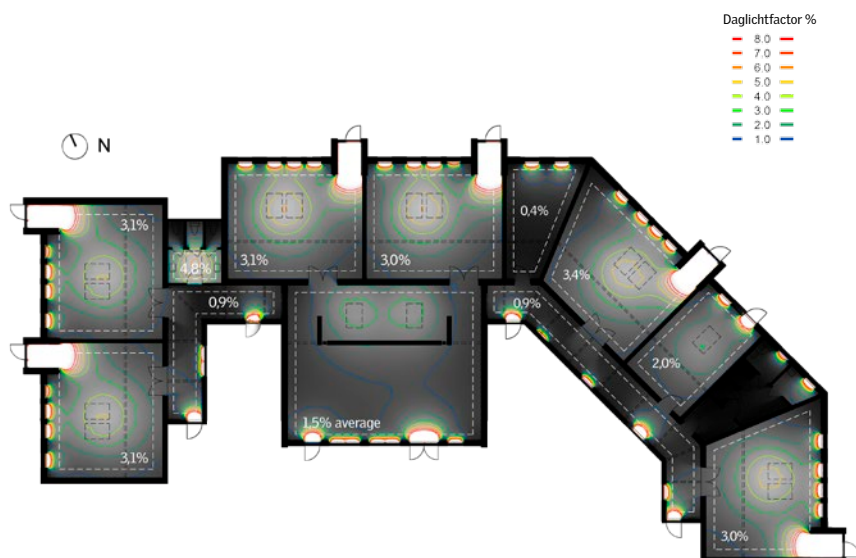
klaslokalen ongeveer 3-3,4% was, met uitzondering van een lokaal met een DF van 1,5%.

De daglichtfactoren in het nieuwe voorstel voor de school worden weergegeven in figuur 1.37. Het plaatsen van drie tot vier ramen in elk klaslokaal leidde tot een hogere DF tussen 4,4% en 5,3%, maar zorgde nog belangrijker voor een veel betere verdeling van licht in de lokalen, zodat elke tafel van een leerling genoeg daglicht kreeg en het verschillen in de hoeveelheid daglicht in de ruimte verminderd werden.

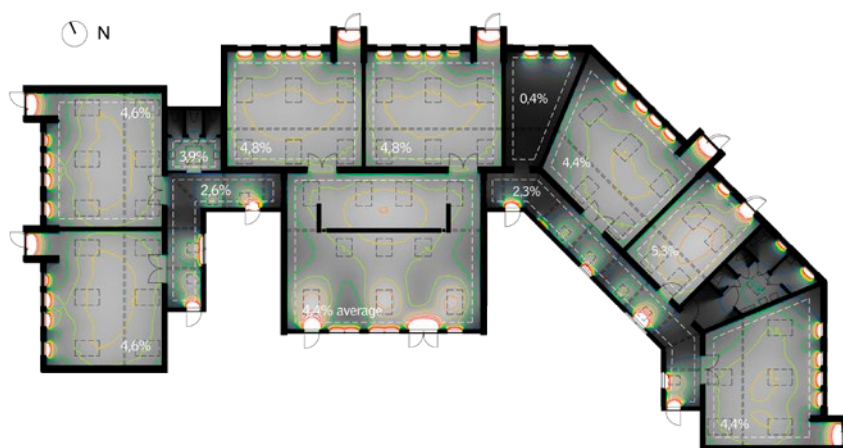


Langebjergschool.

» Nieuwe klaslokalen met meer en beter verspreid daglicht «



Figuur 1.36 Daglichtfactorsimulatie voor de verbouwing.



Figuur 1.36 Daglichtfactorsimulatie na de verbouwing.

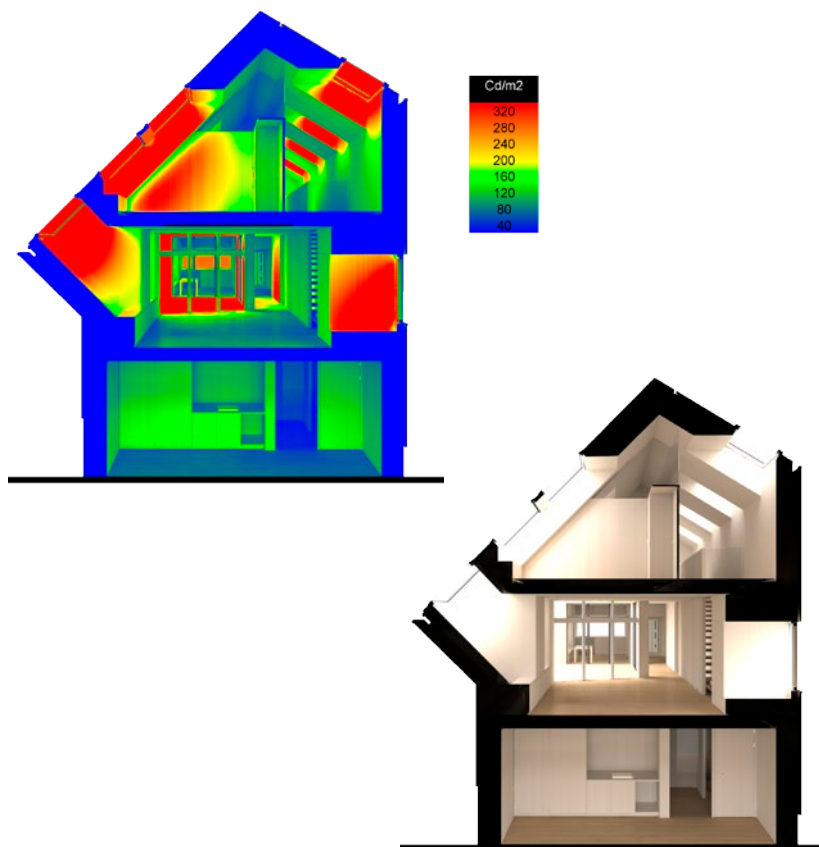


Sunlighthouse.

1.6.6 Effect van dakramen in het MH2020 Sunlighthouse

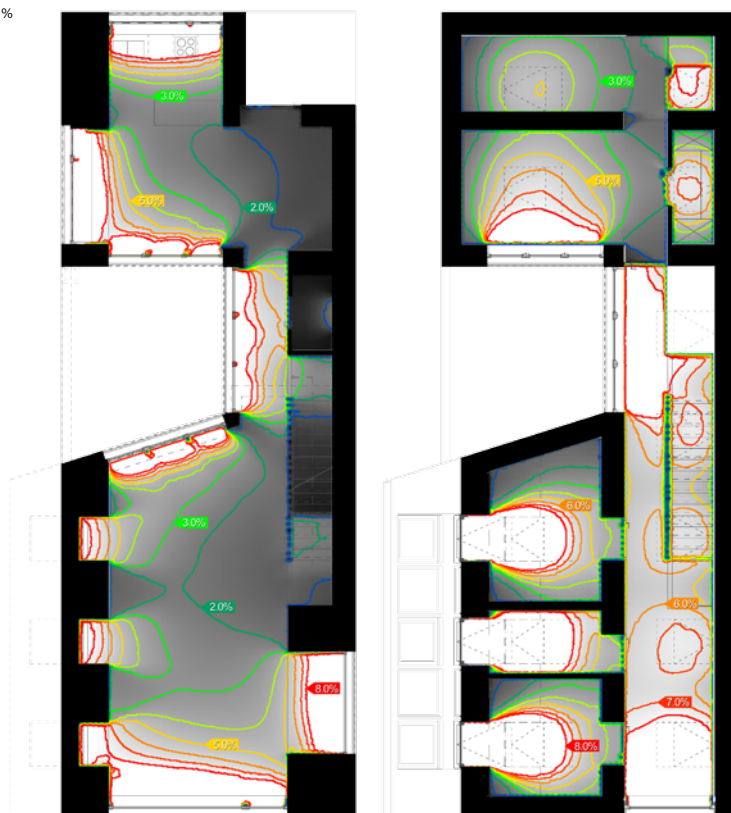
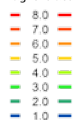
VELUX dakramen worden zowel gebruikt voor daglicht op de begane grond als op de eerste verdieping, zoals te zien in Figuur 1.39. Uit een weergave van de daglichtfactor op de begane grond en de

eerste verdieping blijkt dat er ruim voldoende daglicht is in alle belangrijke leefruimtes, met een DF van meer dan 5%. Zie figuur 1.40. Uit de analyse blijkt ook dat het huis en de bewoners kunnen profiteren van lichte loopruimtes onder het dakraam op de eerste verdieping en om de binnenplaats op de begane grond.



Figuur 1.39 Doorsnee van een luminantieweergave met de daglichtverdeling in kleurenschema (links) en fotorealistisch (rechts).

Daglichtfactor %

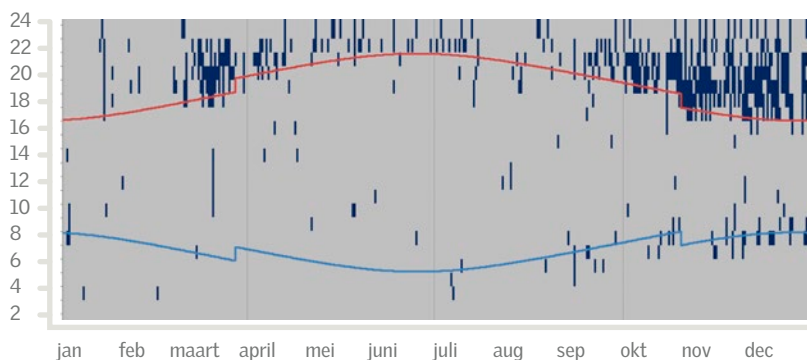


Figuur 1.40 Weergave van de daglichtfactor op de begane grond (links) en eerste verdieping (rechts) van het Sunlighthouse.

Het bouwtoezichtsverslag van het Sunlighthouse laat ook het effect zien van een goede daglichtinval: er waren maar weinig uren in het jaar waarop overdag de elektrische verlichting

werd gebruikt. De afbeelding hieronder geeft het gebruik van de elektrische verlichting in de keuken weer van januari tot november.

Elektrisch licht in de keuken



Figuur 1.41 Tijdkaart van het gebruik van elektrische verlichting in het Sunlighthouse. De blauwe lijn staat voor het tijdstip van zonsopkomst en de rode lijn voor dat van zonsondergang.

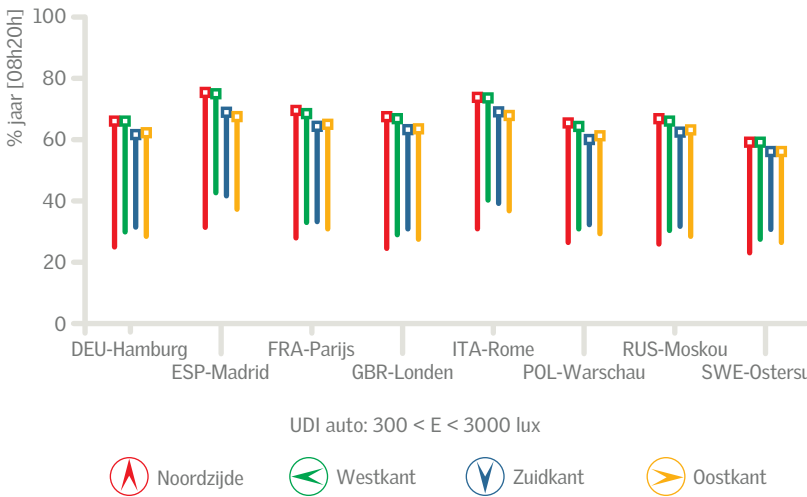


Green Lighthouse.

1.6.7 Effect van dakramen bij het verbouwen van woonhuizen

Een recent onderzoek naar het effect van dakramen in een eengezinswoning heeft aangetoond dat dakramen en beter daglicht gekoppeld kunnen worden aan verschillende positieve effecten, in alle Europese klimaatomstandigheden.

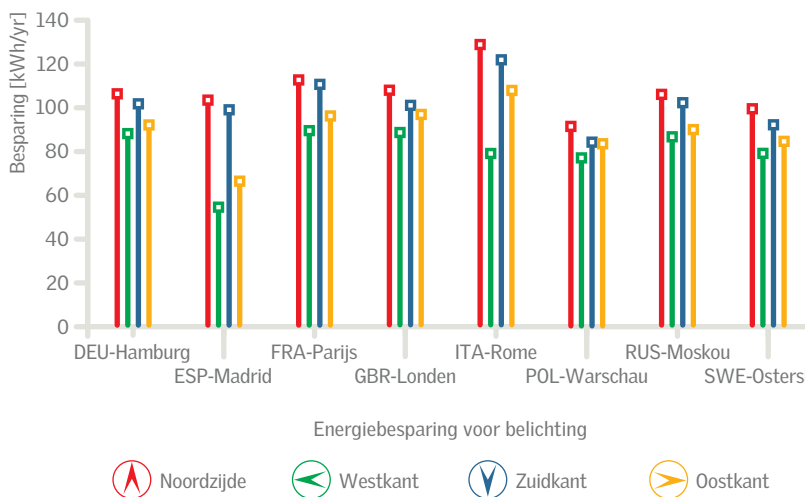
Allereerst leidde het plaatsen van dakramen tot aanzienlijk meer daglicht, en bereikte het veel vaker een autonome UDI van 300-3000 lux. De afbeelding hieronder geeft de stijging in daglicht weer in een bereik van 40% door het plaatsen van dakramen in de keuken in alle klimaten en richtingen die getest zijn (Mardaljevic et al., 2012).



Figuur 1.43 Effect van het plaatsen van dakramen op het voorkomen van daglichtsterktes van 300-3000 lux.

De grotere hoeveelheid daglicht leidt tot minder uren waarin elektrische verlichting nodig is, wat weer leidt tot aanzienlijke energiebesparing op verlichting.

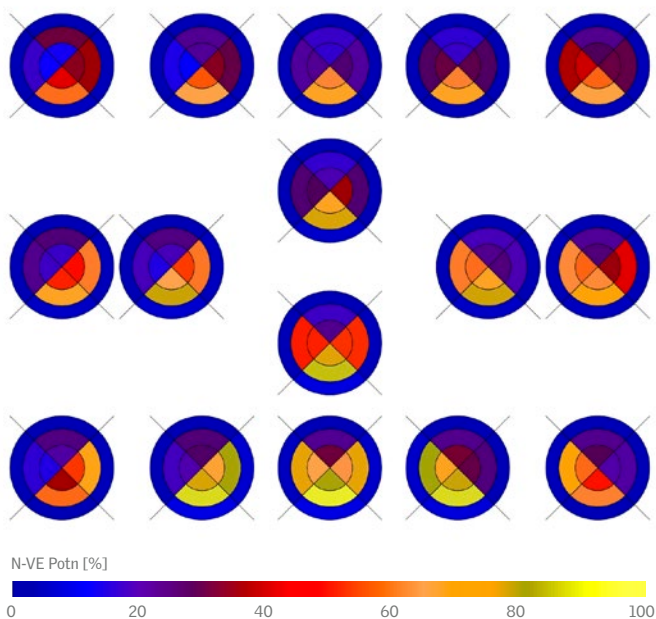
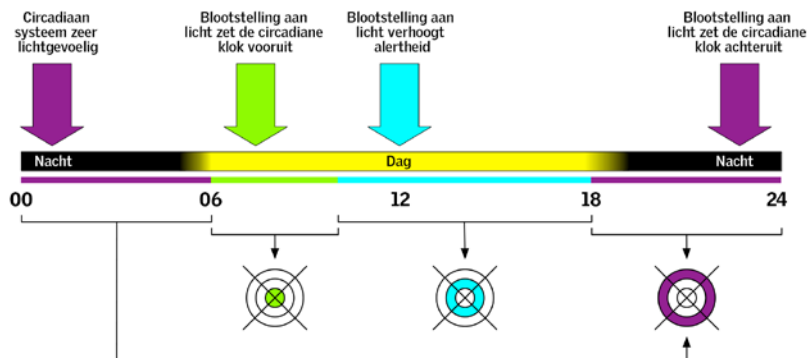
De afbeelding hieronder geeft een energiebesparing weer van 100 KWh per jaar in alle klimaten en richtingen die getest zijn (Mardaljevic et al., 2012).



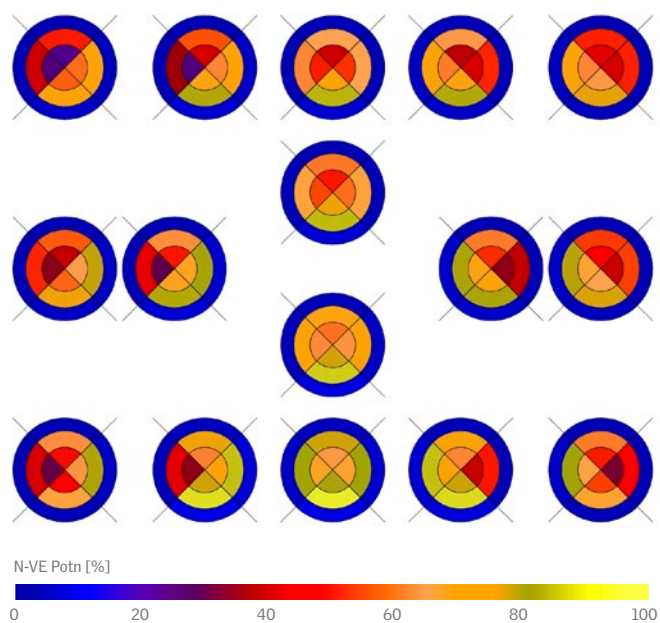
Figuur 1.44 Effect van het plaatsen van dakramen op energiebesparing voor verlichting

In het onderzoek werd ook gekeken naar het effect van het plaatsen van dakramen op de hoeveelheid daglicht op ooghoogte op bepaalde tijdstippen overdag en 's nachts, om zo de niet-visuele effecten van licht te beoordelen. Figuur 1.45 geeft het resultaat in een woonkamer in Rome weer. Elke cirkel staat voor een bepaald gezichtspunt met vier blikrichtingen en drie tijdsperiodes.

Het resultaat laat een aanzienlijke stijging zien van mogelijke niet-visuele effecten van daglicht door de plaatsing van dakramen: een stijging van 25% in de ochtendperiode en een stijging van 45% in de middagperiode. In alle kamers in alle klimaten en richtingen die getest zijn werd een vergelijkbare stijging waargenomen.



Tijdstip	MED	GEM	MAX	MIN
06.00-10.00	33 %	38 %	80 %	7 %
10.00-18.00	29 %	42 %	89 %	10 %
18.00-06.00	0 %	0 %	5 %	0 %



Tijdstip	MED	GEM	MAX	MIN
06.00-10.00	58 %	54 %	81 %	21 %
10.00 -18.00	73 %	67 %	89 %	35 %
18.00 -06.00	1 %	1 %	5 %	0 %

Figuur 1.45 Effect van het plaatsen van dakramen op de mogelijk niet-visuele effecten van daglicht voor meerdere posities, gezichtspunten en tijdstippen.

1.7 Daglicht berekenen en meten

1.7.1 Verlichtingssterkte

De verlichtingssterkte is de hoeveelheid licht dat op een oppervlak valt. Het wordt gewoonlijk weergegeven in lux (lm/m^2). De verlichtingssterkte kan worden gemeten met een luxmeter, zoals te zien in figuur 1.7, of voorspeld met behulp van een computersimulatie met erkende en gevalideerde software (bv. VELUX Daylight Visualizer). Figuur 1.48 geeft een voorbeeld van een lichtsterkteweergave. De meeste prestatie-indicatoren gebruiken verlichtingssterkte om de beschikbaarheid van daglicht in het interieur te meten.



Figuur 1.46 Verlichtingssterktediagram



Figuur 1.47 Luxmeter.

Normale verlichtingswaarden:

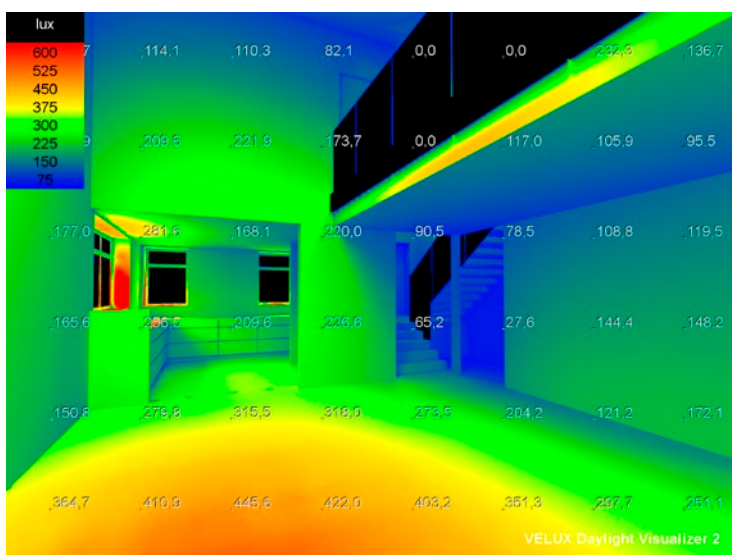
Direct zonlicht	100.000 lux
Diffuus hemellicht	3.000-18.000 lux

Minimale sterkte voor taken en activiteiten:

Ruimtes in woonhuizen	200-500 lux
Klaslokalen (algemeen)	300-500 lux
Verlichting werkplek	200-500 lux

❗ Vergeet niet:

De verlichtingssterkte (lux) is de hoeveelheid licht dat op een oppervlak valt. De meeste prestatie-indicatoren gebruiken verlichtingssterkte om de beschikbaarheid van daglicht in het interieur te meten.

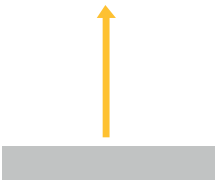


Figuur 1.48 Weergave van de verlichtingssterkte in Maison Air et Lumière.

1.7.2 Luminantie

De luminantie is de hoeveelheid licht dat van een oppervlak wordt weerkaatst of uitgestraald. Het wordt gewoonlijk weergegeven in cd/m^2 .

De luminantie kan worden gemeten met een luminantiemeter, afgebeeld in figuur 1.51, of met behulp van een High dynamic range (HDR) beeldvormende techniek gecombineerd met een digitale camera en luminantie-software (bv. Photolux). Een voorbeeld hiervan is afgebeeld in Figuur 1.52. De luminantie kan worden voorspeld met behulp van een computersimulatie met erkende en gevalideerde software (bv. VELUX Daylight Visualizer). Figuur 1.48 geeft een voorbeeld van een luminantieweergave. Luminantie wordt gebruikt om visueel comfort en verblinding in het interieur te meten.



Figuur 1.49 Luminantiediagram

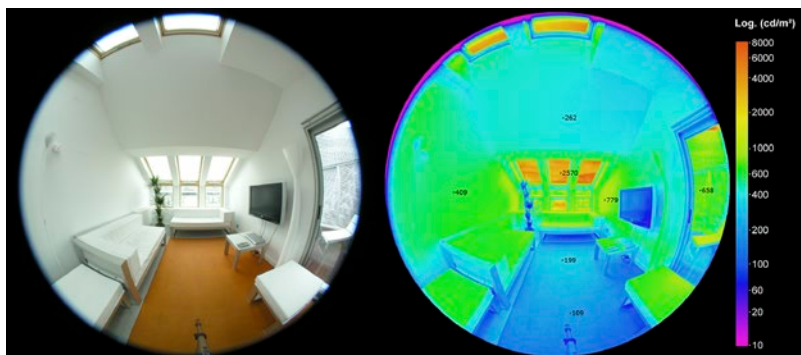


Figuur 1.50 Coolpix-camera en vissenoog lens gebruikt bij het maken van luminantieweergaven.

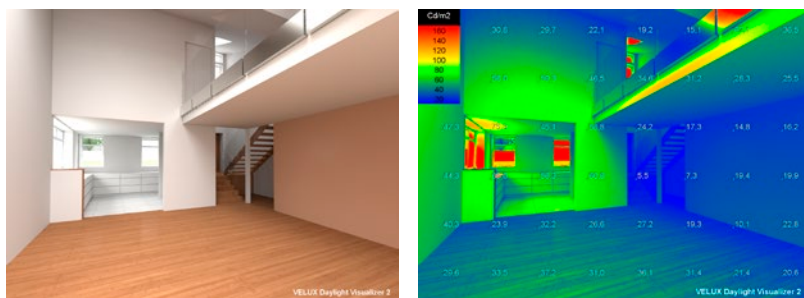


Figuur 1.51 Luminantiemeter

Normale luminantiewaarden:	
Zonneschijf rond het middaguur	1.600.000.000 (cd/m^2)
Zonneschijf aan de horizon	600.000 (cd/m^2)
Matte gloeilamp	120.000 (cd/m^2)
T8 cool white fluorescent tl-buis	11.000 (cd/m^2)
Gemiddeld heldere lucht	8.000 (cd/m^2)
Gemiddeld bewolkte lucht	2.000 (cd/m^2)



Figuur 1.52 Luminantieweergave die weergeeft hoe de luminantie verdeeld is in Atika, een concepthuis van VELUX onder een bewolkte lucht.



Figuur 1.53 Weergave van de luminantie in Maison Air et Lumière.

❗ Vergeet niet

De luminantie (cd/m^2) is de hoeveelheid licht dat van een oppervlak wordt weerkaatst of uitgestraald.

Luminantie wordt gebruikt om visueel comfort en verblinding in het interieur te meten.

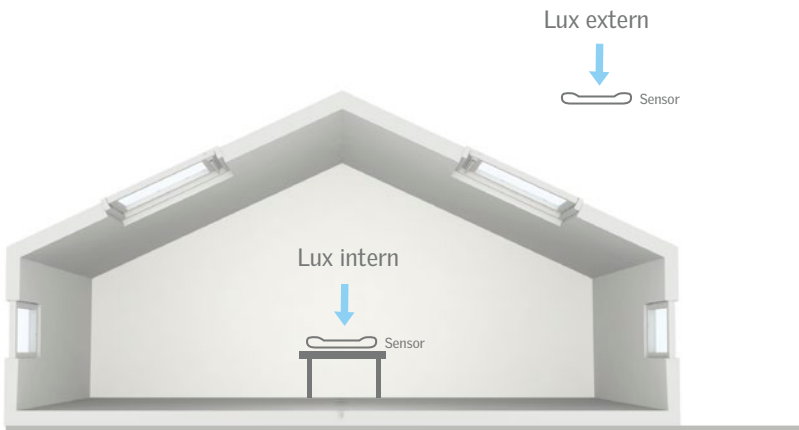
1.7.3 Daglichtfactor

De daglichtfactor (DF) is een meet-eenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die in percentages uitdrukt hoeveel daglicht in een kamer beschikbaar is (op een werkoppervlak) ten opzichte van de hoeveelheid daglicht die buiten zonder obstakels beschikbaar is onder een bewolkte lucht (Hopkins, 1963).

De belangrijkste kenmerken in een ruimte die de hoogte en verspreiding van de daglichtfactor bepalen zijn (Mardaljevic, J. (2012)):

- Grootte, verdeling, plaats en lichtdoorlatende eigenschappen van de front- en dakramen.
- Groote en vorm van de ruimte.
- De weerkaatsende eigenschappen van de interne en externe oppervlakken.
- De mate waarin externe constructies het uitzicht op de lucht blokkeren.

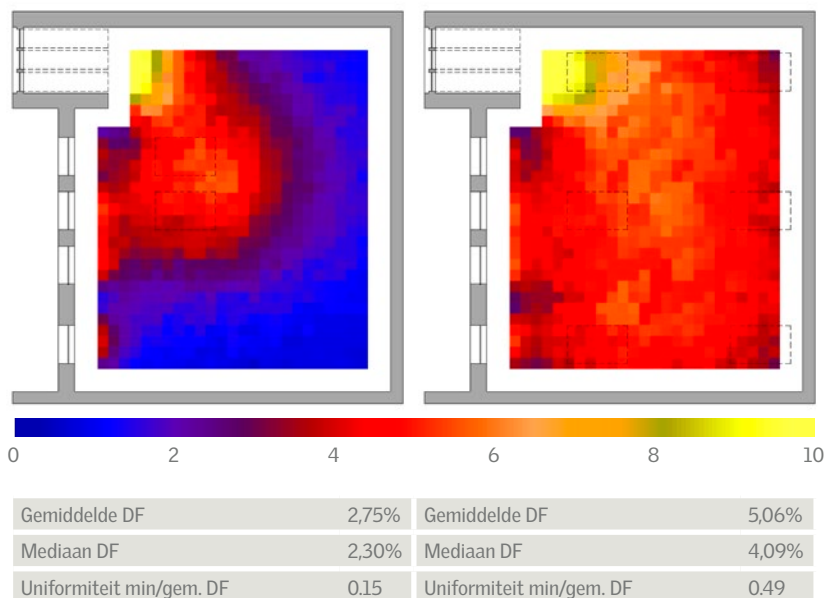
Hoe hoger de DF, hoe meer daglicht beschikbaar is in de ruimte. Ruimtes met een gemiddelde DF van 2% of hoger zijn goed verlicht met daglicht, maar voor het uitvoeren van visuele taken kan nog steeds elektrische verlichting zijn. Een kamer is sterk verlicht met daglicht als de gemiddelde DF 5% of hoger is. In dat geval is het niet waarschijnlijk dat elektrische verlichting overdag gebruikt wordt (CIBSE, 2002).



Figuur 1.54 Tekening met de waarden gemeten met de daglichtfactormethode (gelijktijdige meting van de interne en externe (ongehinderde) horizontale verlichtingssterkte).

Meetpunten

In de meeste gevallen wordt de daglichtfactor in een ruimte gemeten ter hoogte van een werkplek (bv. op een hoogte van 85cm boven de vloer), met 50 cm tussen de omtrek van het werkoppervlak en de muur, zoals afgebeeld in figuur 1.55.



Figuur 1.55 Daglichtfactor (DF) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

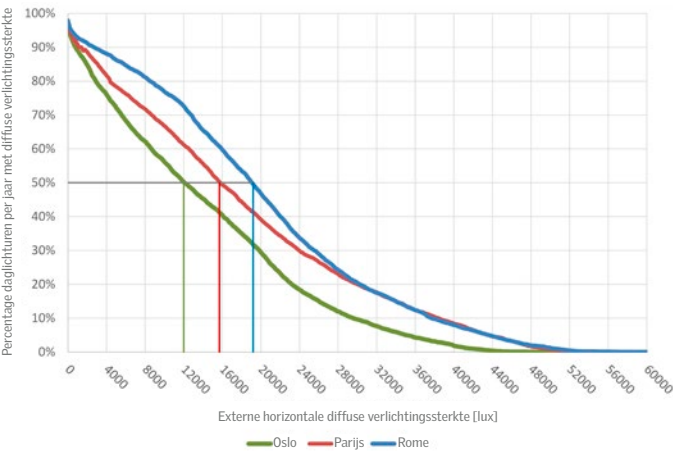
Daglichtfactor op basis van
klimaatomstandigheden

De hoeveelheid daglicht in het interieur van een gebouw is afhankelijk van de beschikbaarheid van natuurlijk licht op die locatie, en van de eigenschappen van de locatie en de omgeving van het gebouw. Bij het beoordelen van het daglicht moet daarom naast de eigenschappen van de ruimte ook rekening worden gehouden

met de beschikbaarheid van het daglicht op de locatie (CIE, 1970). Met behulp van vastgestelde klimaatgegevens (de verspreiding van de buitenlichtsterkte) kunnen we bepalen hoe hoog de DF dient te zijn om de beoogde lichtsterkte te verkrijgen op een bepaalde tijd van het jaar. Het voorbeeld hieronder laat zien hoe de beoogde DF wordt bepaald met klimaatgegevens voor een daglichtsterkte van 300 lux voor 50% van het jaar.

$$D_T = \frac{E_{\text{Intern}}}{E_{\text{Extern}}} = \frac{300 \text{ lux} \cdot 100\%}{15\,700 \text{ lux}} = 1,9\%$$

Stad	Lux intern	Lux extern	D _T %
Oslo	300	12 000	2,5%
Parijs	300	15 700	1,9%
Rome	300	19 200	1,6%

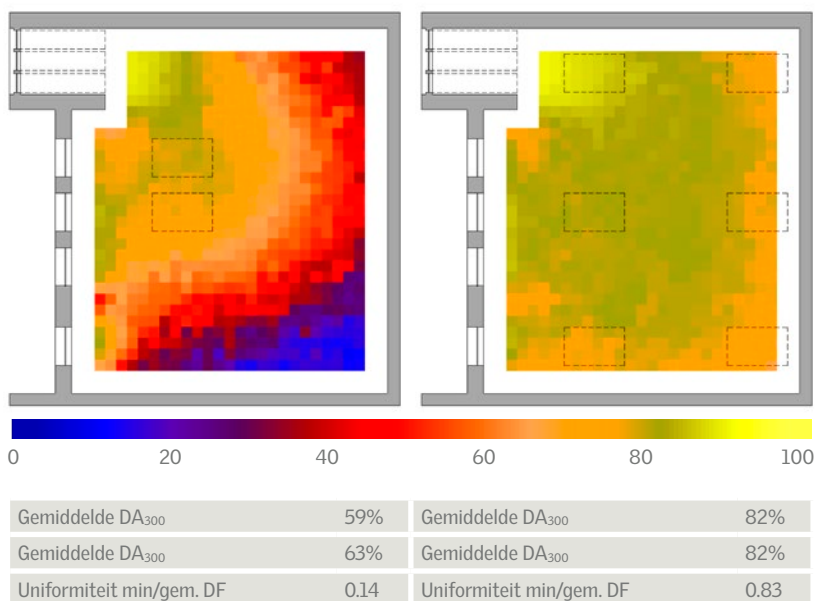


Figuur 1.56 Cumulatieve grafiek van beschikbare externe diffuse horizontale verlichtingssterkte in Oslo (Noorwegen), Parijs (Frankrijk) en Rome (Italië)

1.74 Daglichtautonomie

Daglichtautonomie (DA) is een meeteenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die overeenkomt met het percentage bezettijd waarop de beoogde verlichtingssterkte op een punt in een ruimte wordt behaald met daglicht.

Een beoogde verlichtingssterkte van 300 lux en een drempel-DA van 50%, wat betekent dat het daglicht 50% van de tijd boven de beoogde verlichtingssterkte uitstijgt, zijn waarden die momenteel gestimuleerd worden door de Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). [Zie sectie 1.94.](#)



Figuur 1.57 Daglichtautonomie (DA) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

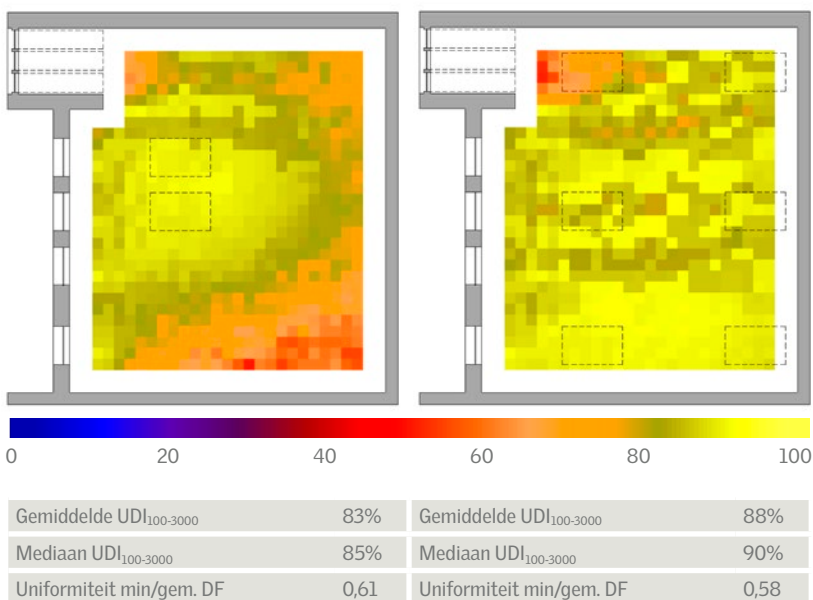
1.7.5 Bruikbare verlichtingssterkte daglicht (Useful Daylight Illuminance (UDI))

Bruikbare verlichtingssterkte (UDI) is een meeteenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die overeenkomt met het percentage bezettijd waarop een beoogd bereik van verlichtingssterktes op een punt in een ruimte wordt behaald met daglicht.

Een verlichtingssterkte van daglicht tussen 100 en 300 lux is voldoende, ofwel als enige lichtbron of in combinatie met kunstlicht. Meestal wordt een verlichtingssterkte van daglicht tussen 300 en ongeveer 3000 lux gezien als gewenst (Mardaljevic et al, 2012).

Recente voorbeelden van daglicht-ontwerpen in scholen in het Verenigd Koninkrijk hebben ertoe geleid dat een UDI wordt aanbevolen tussen 100 en 3000 lux voor 80% van de bezettijd.

Voorbeeld



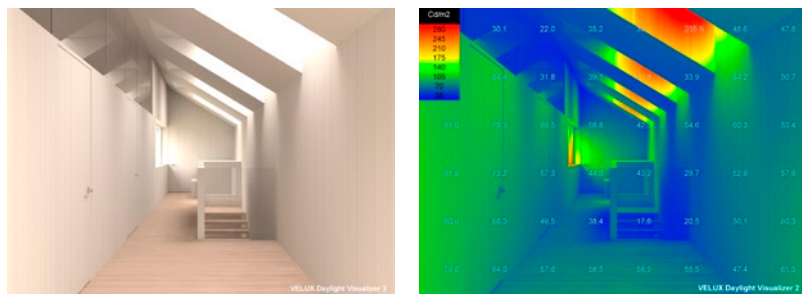
Figuur 1.57 Bruikbare verlichtingssterkte (UDI) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

1.8 Daglichtsimulatiertools

Met daglichtsimulatiertools is het mogelijk om de hoeveelheid en de verspreiding van daglicht in een ruimte te beoordelen, rekening houdend met belangrijke factoren die van invloed zijn zoals de plaatsing van de ramen, vorm van het gebouw, externe obstakels, verdeling van het interieur en eigenschappen van materialen.

De meeste CAD-visualisatieprogramma's die vandaag de dag worden gebruikt

kunnen realistisch lijkende beelden genereren, maar verschaffen geen informatie over de hoeveelheid en kwaliteit van het daglicht in de ruimtes. Met simulatiertools als de Daylight Visualizer kunnen professionals een goed onderbouwde beslissing maken over het daglicht- en bouwontwerp, en een goed beeld krijgen van hoe het daglicht in de ruimtes eruit komt te zien. Figuur 1.59 hieronder geeft een luminantieweergave weer met een fotorealistische afbeelding en een afbeelding in kleurenschema.

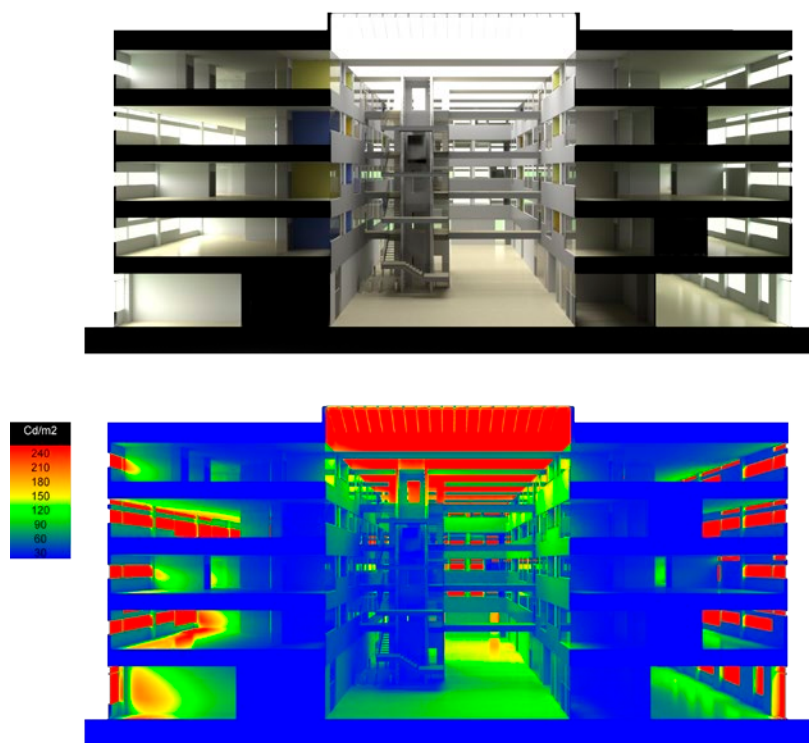


Figuur 1.59 Luminantieweergave van het Sunlighthouse met een fotorealistische afbeelding en een afbeelding in kleurenschema.

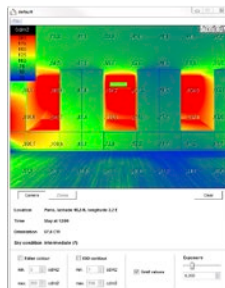
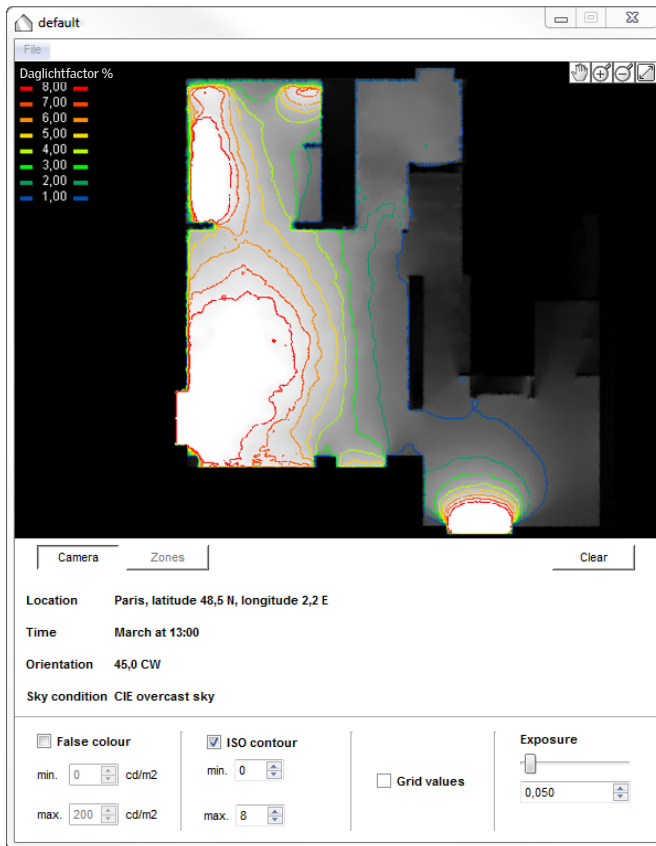
VELUX Daylight Visualizer

De VELUX Daylight Visualizer is een professionele en gevalideerde simulatietool voor de analyse van daglicht in gebouwen. De tool is bedoeld om het gebruik van daglicht in gebouwen te stimuleren en om professionals de

hoeveelheid daglicht te laten voorspellen en documenteren, net als hoe een ruimte eruit komt te zien voordat het bouwontwerp gerealiseerd wordt. De eenvoudige gebruikersinterface van het programma maakt het toegankelijk, snel en gemakkelijk in gebruik.



Figuur 1.60 Doorsnee van een luminantieweergave die het effect laat zien van de VELUX modulaire lichtstraten in het atrium van een kantoorgebouw.



Figuur 1.61 Screenshot van de uitvoerweergave van de VELUX Daylight Visualizer met een daglichtfactorweergave (boven), een verlichtingssterkteweergave (links) en een luminantieweergave in kleurschema (rechts).

Belangrijke kenmerken

- Elk project, op elke schaal
De Daylight Visualizer kan worden gebruikt om daglicht in elk soort project te beoordelen, waaronder woningbouwprojecten, commerciële projecten en industrieprojecten op elke schaal.
- Fotorealistische afbeeldingen en afbeeldingen in kleurenschema
Visualiseer en bepaal de hoeveelheid en verspreiding van daglicht (luminantie, verlichtingssterkte en daglichtfactor) in gebouwen met fotorealistische afbeeldingen en afbeeldingen in kleurenschema.
- Daglichtfactorberekeningen
De daglichtfactor (DF) is een simulatie in een stap: de meest-gebruikte indicator om de beschikbaarheid van daglicht in een gebouw te beoordelen.
- Verslag van resultaten
Er kan een verslag gegenereerd worden van de simulatieresultaten, dat het daglicht weergeeft per zone in elke kamer/ruimte van het gebouw. Resultaten zijn o.a. gemiddelde, mediaan, minimale, maximale en uniformiteitswaarden van elke zone.
- Creëer/importeer projecten
Gebruik de ingebouwde modelleer-tool om 3D-modellen te genereren waar dak- en frontramen vrij in kunnen worden geplaatst. Of importeer simpelweg 3D-modellen direct vanuit uw CAD-programma (Autocad, Revit, SketchUp, Archicad etc.) met de volgende ondersteunde 3D-bestandsformaten: DWG, DXF, SKP en OBJ.
- Snel en doeltreffend
Daylight Visualizer is een gevalideerde daglichtsimulatietool gebaseerd op de modernste weergavetechnologie die het complexe karakter van daglicht binnen in een gebouw kan simuleren.

Ga voor meer informatie over de VELUX Daylight Visualizer naar de officiële website: <http://viz.velux.com>.

1.9 Vereisten voor daglicht in bouwverordeningen

Er zijn zeer weinig (tot geen) vereisten of aanbevelingen in bestaande standaarden en bouwverordeningen die in welk land dan ook bij wet uitvoerbaar zijn.

De VELUX Group werkt aan erkenning van ramen als lichtbronnen en zonvoorziening in gebouwen. We stimuleren een gezond binnenmilieu en werken eraan om het elektriciteitsverbruik van verlichting terug te dringen. Ons doel is dat daglichtinval specifiek vermeld en meegenomen wordt in bouwstandaarden en -verordeningen, samen met bepaalde criteria voor alle leefruimtes en activiteitszones in een gebouw. Drie belangrijke punten waarvan wij vinden dat ze meegenomen dienen te worden wanneer vereisten voor daglicht in de landelijke wetgeving worden opgenomen:

- Daglicht dient overdag te worden gebruikt als primaire lichtbron in gebouwen en dient tegemoet te komen aan onze visuele en niet-visuele (biologische) behoeften.
- We raden een lichtsterkte aan van minimaal 300 lux voor het grootste deel van de ruimte door het behalen van een beoogde daglichtfactor op basis van klimaatomstandigheden, en 500 lux voor plekken waar productief werk wordt uitgevoerd.

Zie sectie 1.7.3. ➤

- We raden aan dat bij nationale renovatiestrategieën het belang ingezien wordt van het te allen tijde verbeteren van de daglichtinval bij het verbouwen van een gebouw.

De aanbevolen voorgeschreven eisen die het raamoppervlak gelijk stellen met de daglichtfactor, als gelijkwaardige methode voor genoeg daglicht, zijn niet afdoende.

Om een voorbeeld te geven: in een onderzoek door Aarhus School of Engineering werd gekeken naar de grootte van de ramen, de plaatsing ervan en andere factoren voor de verspreiding van daglicht in een ruimte. De grootte van de ramen in de 23 verschillende modellen is, in alle gevallen, conform de huidige (10%) en toekomstige (15%) eisen voor de ratio van beglazing tot vloeroppervlak in Denemarken. In het onderzoek werden de aanbevolen eisen vergeleken voor daglicht in commerciële gebouwen: een daglichtfactor van 2% op het werkoppervlak (huidige Deense bouwverordeningen) en een gemiddelde daglichtfactor in de ruimte van 3% (voorgestelde vereisten¹ in de standaard voor 2020).

De berekeningen toonden aan dat, wanneer de schaduw van de omgeving buiten of het algemene verticale ontwerp wordt meegenomen, slechts 9 van de 23 modellen voldeden aan de daglichtfactor van 2%, en slechts 3 modellen voldeden aan de gemiddelde

» Volgens de EU-richtlijn inzake veiligheid en gezondheid voor arbeidsplaatsen (1992) is het verplicht dat "Elke arbeidsplaats is voorzien van geschikte en adequate verlichting" en dat deze verlichting "voor zover redelijkerwijs mogelijk is dient te bestaan uit natuurlijk licht" «

daglichtfactor van meer dan 3% volgens de toekomstige aanbevelen vereisten in bouwverordeningen in Denemarken.

1.9.1 Bouwverordeningen

Wetgeving met betrekking tot daglicht-inval is van oudsher bepaald door een of meer van de volgende criteria: het raam- of beglazingsoppervlak in verhouding tot het oppervlak van de ruimte of het front; de hoeveelheid daglicht volgens de daglichtfactor op een punt in de ruimte of als gemiddelde daglichtfactor van de oppervlakte van de ruimte; het zonlicht dat verschaft wordt op een bepaalde dag of in een bepaald seizoen; en het uitzicht op de omgeving buiten (Boubekri, 2004):

- Vereisten voor ramen en het beglazingsoppervlak in verhouding tot het oppervlak van de ruimte of het front. Het is belangrijk om te benadrukken dat vereisten voor een minimale verhouding van het beglazingsoppervlak niet beschouwd kunnen worden als wetgeving met betrekking tot daglicht, aangezien het zich niet vertaalt naar de feitelijke aanwezigheid van daglicht binnen in de ruimte of het gebouw. Er wordt geen rekening gehouden met factoren als buitenbegrenzings, overhangende bebouwing, permanente schaduw en de samenstelling en lichtdoorlaatbaarheid van het glas.

- De kwaliteit van de binnenverlichtingssterkte in een ruimte. De hoeveelheid daglicht wordt over het algemeen aangegeven als voorkeur of aanbeveling; ofwel met een specifieke verlichtingssterkte (lux) op een werkoppervlak of met de daglichtfactor (DF). De daglichtfactor is de meest erkende indicator voor het bepalen van daglicht in een gebouw. Het voordeel van de DF-methode is dat het snel te berekenen is, en al vroeg in het ontwerp-proces gebruikt kan worden. Hiermee kan de hoeveelheid, uniformiteit en ruimtelijke verspreiding van diffuus daglicht in een ruimte gevalideerd worden, waardoor architecten en ontwerpers zich een goed beeld kunnen vormen.
- Het verschaffen van zonlicht voor een bepaalde tijd. Dit soort wetgeving, die gewoonlijk wordt aangeduid met 'zonneverordeningen' moeten garanderen dat personen in een gebouw toegang hebben tot zonlicht gedurende een vooraf bepaalde periode van de dag, het seizoen en het jaar. Het rekening houden met toegang tot zonlicht, en de duur ervan, heeft invloed op de beslissingen rondom de richting, de plaatsing van ruimtes en de ramen daarin, de keuze voor zonweringsapparaten en de aandacht voor de omgeving. In landen als Japan en China is het verschaffen van zonlicht gekoppeld aan de volksgezondheid, veiligheid en welzijn.

- Uitzicht op de buitenomgeving biedt personen in het gebouw informatie over richting, veranderingen in het weer en hoe de tijd gedurende de dag verstrijkt. Dit soort wetgeving schenkt aandacht aan de hoogte van de vensterbanken, de breedte van de beglazing (of de totale breedte van alle ramen bij elkaar opgeteld) als onderdeel van het verticale oppervlak van het beglazingsmateriaal dat is gebruikt.

1.9.2 Het Europees Comité voor standaardisering, CEN

In diverse Europese standaarden met betrekking tot daglicht, worden de algemene voordelen van daglicht vaak als volgt uitgelegd:

- De verlichtingssterkte in het ontwerp die mensen in staat moet stellen visuele taken efficiënt en doeltreffend uit te voeren dient verkregen te worden door middel van daglicht, elektrisch licht, of beide. Ramen hebben sterk de voorkeur in gebouwen omwille van het daglicht dat ze verschaffen, en voor het visueel contact met de buitenomgeving. Het is belangrijk dat ramen niet zorgen voor visueel of thermisch comfort, of het verlies van privacy.
- Mogelijke energiebesparing door het gebruik van daglicht.

- Licht is belangrijk voor de gezondheid en het welzijn van mensen.

In NEN-EN 12464-1:2011 wordt rekening gehouden met het belang van daglicht en de vereisten voor verlichting zijn over het algemeen van toepassing, of deze nu wordt verschaft door daglicht, kunstlicht of een combinatie van beide. In NEN-EN 12464-1:2011 worden de vereisten bepaald voor het grootste deel van werkruimtes binnen met betrekking tot hoeveelheid en kwaliteit van de verlichting. Op dit moment schenkt alleen NEN-EN 15193-1 (Energieprestatie van gebouwen - Energie-eisen voor verlichting) in detail aandacht aan het effect van daglicht op de (maandelijkse en jaarlijkse) energie-eis voor verlichting en de classificatie van de beschikbaarheid van daglicht als functie van de daglichtfactor. Een nieuwe standaard voor daglichtinval in gebouwen die de meeteenheden bepaalt voor het beoordelen van het daglicht en methoden biedt voor het berekenen die kunnen worden toegepast op alle ruimten, is in de maak.

1.9.3 De Internationale Organisatie voor Standaardisatie, ISO

Er zijn verschillende ISO-groepen die daglicht als element opnemen in hun werkgroep. Op dit moment is een standaard (ISO, 2014a) van toepassing op berekeningsmethoden voor daglicht in zowel bestaande gebouwen als het ontwerp van nieuwe en verbouwde gebouwen.

1.9.4 Ontwerprichtlijnen

Diverse onafhankelijke autoriteiten hebben materiaal met richtlijnen gepubliceerd en criteria gesteld voor de beste toepassingen in de praktijk. Dit zijn de Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) in het VK en de Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) in de VS. CIBSE heeft bijvoorbeeld zijn Lighting Guides on Daylighting and window design gepubliceerd, en IESNA heeft een standaardwerk over de goedgekeurde methode uitgebracht: IES Spatial Daylight Autonomy (SDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) (IESNA, 2013), dat een nieuwe reeks meeteenheden beschrijft voor daglicht in bestaande gebouwen en nieuwe ontwerpen, van concept tot constructiedocumenten.

Diverse beproefde en veelgebruikte methoden voor het beoordelen, classificeren en certificeren van de duurzaamheid van gebouwen, zoals LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), en DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen) doen aanbevelingen voor daglicht als onderdeel van hun beoordelingsschema's. De daglichtfactor is over het algemeen de meest voorkomende indicator in het grootste deel ervan, maar de berekeningsmethoden en criteria verschillen. Naast de daglichtfactor als indicator zijn ook het uitzicht naar buiten, het voorkomen van verblinding en de verlichtingssterkte

veelgebruikte factoren om visueel comfort te beschrijven.

- BREEAM stelt dat "... op ten minste 80% van het vloeroppervlak in een bezette ruimte een daglichtfactor moet zijn van 2% of meer." Voor woonhuizen stelt BREEAM "Keukens hebben een minimale daglichtfactor van ten minste 2%, woonkamers, eetkamers en studeerkamers een minimale daglichtfactor van ten minste 1,5%, en op 80% van het werkoppervlak dient direct hemellicht te vallen.
- LEED stelt dat "... met computersimulaties dat in de ruimtes in kwestie een daglichtsterkte aanwezig is van ten minste 25 voetkaars (foot-candle (fc)) (270 lux) en ten hoogste 500 fc (5400 lux) onder een heldere lucht op 21 september om 9.00 uur en 15.00 uur. Gebieden waar de verlichtingssterkte hoger of lager is, voldoen hier niet aan. Ontwerpen die echter automatische zonwering tegen verblinding gebruiken die het uitzicht niet hinderen hoeven echter alleen te voldoen aan de minimale verlichtingssterkte van 25 fc (270 lux)."
- DGNB stelt dat "... 50% van het gebruiksgebied in een gebouw heeft een DF van ($>3\%$ - zeer goed, $>2\%$ - gemiddeld, $>1\%$ matig, $<1\%$ niet aanwezig)", "... gebaseerd op een simulatie, is het daglicht in permanent in gebruik zijnde werkruimtes ($3\% \leq DF$ zeer goed, $2,5\% \leq DF < 3\%$ gemiddeld, $2\% \leq DF < 2,5\%$ matig, $DF < 2\%$ niet aanwezig)".

Ventilatie



Ventilatie

Ventilatie heeft als doel lucht in gebouwen te verversen om een goede luchtkwaliteit en thermisch comfort te bereiken en handhaven. Ventilatie heeft ook belangrijke psychologische kanten, die tot uiting komen in de behoefte om de ventilatie onder controle te hebben, te beschikken over geurbeheer en een link met de natuur te hebben.

2.1 Binnenluchtkwaliteit

2.1.1 Het bereiken van een goede binnenluchtkwaliteit

90% van onze tijd brengen we binnenshuis door. Daarom is het essentieel goed te begrijpen wat de kwaliteit is van de lucht die we binnen inademen. De binnenluchtkwaliteit wordt beïnvloed door de vorming van vervuilende stoffen binnen, maar hangt ook af van de buitenlucht rond het gebouw. De binnenluchtkwaliteit is erg belangrijk voor onze gezondheid en ons comfort. De luchtkwaliteit staat voortdurend onder druk omdat gebouwen steeds beter worden geïsoleerd en er veel nieuwe materialen worden gebruikt die schadelijke stoffen kunnen afgeven.

Binnenluchtkwaliteit heeft ook te maken met perceptie. Een goede binnenluchtkwaliteit kan worden gedefinieerd als lucht die vrij is van vervuilende stoffen die irritatie, ongemak of een slechte gezondheid voor de bewoners veroorzaken (AIVC, 1996). Voor verschillende vertrekken gelden meestal verschillende ventilatie-eisen. In slaapkamers worden er bijvoorbeeld meer bio-effluenten en CO₂ uitgestoten dan in keukens of woonkamers. Daarom kan vraaggestuurde ventilatie die is gebaseerd op het type vertrek, een goede manier zijn om de juiste binnenluchtkwaliteit te handhaven.

De kwaliteit van de binnenlucht beïnvloedt onze gezondheid op verschillende manieren (Sundell, 2004a):

- Comfort: een goede luchtkwaliteit wordt onmiddellijk opgemerkt door iedereen die een gebouw binnenkomt.
- Gezondheid: het inademen van binnenlucht van slechte kwaliteit kan negatieve gevolgen voor de gezondheid hebben.
- Prestaties: binnenlucht van hoge kwaliteit kan de mentale prestaties en het algehele welzijn verbeteren.
- Overig: frisse lucht schept een band met de buitenwereld en frisse lucht die via de ramen binnenkomt, is een gewaardeerd aspect van ventilatie.

Algemeen gesproken zijn er drie manieren om een goede binnenluchtkwaliteit te bewerkstelligen, zoals hierna verder wordt uitgelegd (Nazaroff, 2013):

- De emissies binnenshuis minimaliseren (bronnenbeheer)
- De lucht droog houden (vochtigheidsbeheer)
- Goed ventileren

Bronnenbeheer

Sommige activiteiten leiden tot extreme emissies binnenshuis. Dat veroorzaakt kwaliteitsverlies omdat een goede binnenluchtkwaliteit alleen kan worden gegarandeerd als 'ongegcontroleerde emissies binnenshuis tot een minimum worden teruggebracht'. Binnenlucht bevat veel verschillende (en ongewenste) bestanddelen zoals (Bluyssen, 2009):

- Gassen: bijv. formaldehyde, organische chemicaliën (VOS) en anorganische chemicaliën (NO_x , SO_x etc.).
- Deeltjes: bijv. stof en verbrandingsproducten.
- Radioactief gas: radon.
- Biologisch: bijv. schimmel, pollen en stofmijten.
- Waterdamp (vochtigheid).

De meeste vervuilende stoffen zijn afkomstig van bronnen binnenshuis. Het gaat om (Bluyssen, 2009):

- Mensen en hun activiteiten: bijv. tabaksrook, reinigingsproducten, producten voor persoonlijke verzorging, consumentenelektronica en elektrische kantoorapparatuur zoals laserprinters.
- Bouwmaterialen: bijv. warmte-isolatie, spaanplaat, verf, meubels en vloer-/wandbedekking.
- Bronnen van buiten: bijv. pollen, verkeer en industrie. Radon komt van nature voor in de grond en dringt via de vloer in huizen binnen.

De binnenluchtkwaliteit wordt niet alleen beïnvloed door de vorming van vervuilende stoffen binnenshuis. De kwaliteit van de buitenlucht speelt ook een rol. Deeltjes worden direct uitgestoten in de lucht (primaire deeltjes) of in de atmosfeer gevormd op grond

De menselijke factoren	Bereiken van thermisch comfort	
	Verwijderen van chemicaliën, deeltjes, luchtjes, allergenen, schimmel	
	Scheppen van een link met de buitenwereld	
	Vermijden van allergieën, astma en andere ziektes	Minder ziektes door een goede luchtkwaliteit
	Ondersteunen van productiviteit en een gevoel van welzijn	Hogere productiviteit door een goede luchtkwaliteit

Afbeelding 2.1. De belangrijkste redenen om te ventileren

van gasprecursoren zoals zwaveldioxide (SO_2), ammoniak (NH_3) etc. (secundaire deeltjes) (WHO, 2013). Primaire deeltjes wordt uitgestoten door bijvoorbeeld verbrandingsmotoren (diesel en benzine). De deeltjes verspreiden zich in de buitenlucht en kunnen uiteindelijk in gebouwen doordringen en dus de kwaliteit van de binnenlucht aantasten. Het is bewezen dat de kwaliteit van de omgevings- of buitenlucht beter wordt. De luchtvervuiling in steden is in de afgelopen decennia minder geworden door de introductie van milieuzones, filters in diesellootjes en auto's die minder vervuilen zijn.

Deeltjes hebben verschillende groottes (ultrafijn, fijn en grof). De grootte bepaalt hoe deeltjes zich binnen en buiten gebouwen verspreiden. De grootte van de deeltjes en hun chemische samenstelling spelen een belangrijke rol wat betreft de gevolgen voor uw gezondheid. Fijne en grove deeltjes worden gemeten naar hun gewicht in μg per m^3 , terwijl ultrafijne deeltjes worden gemeten in aantal per cm^3 .

Fijne deeltjes (ook wel aangeduid als $\text{PM}_{2.5}$) kunnen zich over duizenden kilometers en over landsgrenzen heen verplaatsen, terwijl grove deeltjes (ook wel aangeduid als PM_{10}) zich alleen over kortere afstanden van maximaal 100 km verplaatsen (Schmidt, 2003). Ultrafijne deeltjes worden vooral voortgebracht door dieselmotoren, zijn lokaal geconcentreerd en verspreiden zich

alleen over korte afstanden. De verspreiding ervan neemt hoger boven de straat en in woonbuurten ver van drukke wegen af. Er zijn niet veel literatuurstudies naar het verschil in hoeveelheden deeltjes tussen het platteland, gebieden met een stedelijke achtergrond en straten binnen de stad. Bijvoorbeeld uit metingen die in 2012 in Denemarken zijn verricht, blijkt dat het percentage fijne deeltjes ($\text{PM}_{2.5}$) tegen een stedelijke achtergrond 10% hoger is en in straten binnen een stad 40% hoger is dan op het platteland (Ellerman et al., 2014).

Er moet rekening worden gehouden met andere vervuilingbronnen van de binnenlucht, samen met manieren om die bronnen te controleren.

De lucht droog houden
(vochtigheidsbeheer)

Vochtigheid in gebouwen wordt geassocieerd met een grotere kans op ademhalingsproblemen (Bomehag et al., 2001). Het is belangrijk de relatieve vochtigheid binnenshuis op een redelijk niveau te houden de kans op schimmel en condens in de constructie te beperken. Ventilatie en bronnenbeheer kunnen daar beide bij helpen. Douchen, koken of een avond met gasten verhogen de vochtigheid in huis. Deze vochtigheid moet worden afgevoerd met ventilatie, bij voorkeur bij de bron (bijv. met een afzuigkap).



Langebjerg-school.

» Vooral kinderen zijn erg gevoelig voor een slechte luchtkwaliteit «

Goed ventileren

Ventilatie is een goede manier om in gebouwen een goede binnenluchtkwaliteit te bewerkstelligen omdat vervuiling daarmee wordt afgevoerd of verdund. Omdat nieuwere gebouwen luchtdichter en beter geïsoleerd zijn, is er steeds meer aandacht voor natuurlijke of mechanische ventilatiesystemen om een goede kwaliteit van de binnenlucht te waarborgen.

Ventilatie is een compromis tussen energieverbruik, gezondheid en kosten. Teveel ventilatie leidt in koude landen tot een hoger energieverbruik en tocht, terwijl te weinig ventilatie leidt tot een slechtere kwaliteit van de binnenlucht en gezondheidsproblemen kan veroorzaken. Luchten door de ramen 's ochtends, 's middags en vóór het slapen gaan te openen met timers of sensors, kan bijdragen aan een betere binnenluchtkwaliteit in huis.

2.1.2 Indicators binnenluchtkwaliteit

Zoals eerder gezegd, binnenlucht bevat veel vervuiling. Er is een jarenlange discussie over wat de meest geschikte indicator voor de binnenluchtkwaliteit is. Kooldioxide (CO_2) is vermoedelijk de meest gebruikte indicator. Hiervoor wordt de CO_2 gemeten die afkomstig is uit de ademhaling van mensen en apparaten zoals fornuizen en boilers (CIBSE, 2011). Andere indicatoren zijn vochtigheid en vluchtige organische stoffen (VOS), die beide als indicator voor binnenluchtkwaliteit kunnen worden gebruikt.

CO_2 als indicator van luchtkwaliteit

CO_2 is een goede indicator van de binnenluchtkwaliteit in huizen, waar de bewoners en hun activiteiten de belangrijkste vervuiliingsbron zijn. Buitenlucht bevat ongeveer 400 ppm en ademen brengt CO_2 voort. Daarom is het CO_2 -gehalte binnenshuis altijd minimaal 400 ppm en meestal meer. Een CO_2 -niveau binnenshuis van 1150 ppm komt overeen met een adequate luchtkwaliteit, 1400 ppm is goed in de meeste situaties en 1600 ppm wijst op een slechte luchtkwaliteit (CEN, 2007; Active House Alliance, 2013). CO_2 is het meest relevant als indicator in vertrekken waar de behoefte aan ventilatie is gekoppeld aan de aanwezigheid van personen, zoals slaapkamers, kinderkamers, woonkamers, eetkamers, klaslokalen en kantoren.

Vochtigheid als indicator van luchtkwaliteit

De relatieve vochtigheid binnen wisselt in de loop van het jaar al naar gelang de vochtigheid buiten. Een erg vochtige binnenlucht kan leiden tot meer stofmijten in huis. In landen met erg koude winters moet de relatieve vochtigheid daarom 's winter onder de 45% worden gehouden (Richardson et al, 2005). Over het algemeen moet een hoge relatieve vochtigheid worden vermeden om de kans op schimmelgroei te beperken en negatieve gevolgen voor de gezondheid zoals astma en allergieën te voorkomen (Liddament, 1996).

Omdat vochtigheid wordt gezien als de belangrijkste vervuiler in huizen, kan het belangrijk zijn het vochtigheidsgehalte binnen in het oog te houden. In sommige vertrekken kan dit worden gemeten via de relatieve vochtigheid, maar in meer geavanceerde systemen kan het verschil in vochtigheid tussen de binnen- en buitenlucht worden gemeten en als indicator worden gebruikt.

Het meten van relatieve vochtigheid gebeurt al vele jaren en is een standaard-procedure. 's Zomers is de vochtigheid binnen gewoonlijk hoog en 's winters lager. Als er in de zomer en winter evenveel wordt geventileerd, zal de relatieve vochtigheid binnen in beide seizoenen volledig anders zijn. Een vaste relatieve vochtigheid als indicator voor de binnenluchtkwaliteit heeft daarom een paar beperkingen en is vooral nuttig in natte ruimtes waar een zeer hoge vochtigheid moet worden voorkomen. Relatieve vochtigheid is een erg relevante indicator in badkamers en keukens.

In termen van absolute vochtigheid is het verschil tussen de vochtigheid binnen en buiten mogelijk de beste indicator, hoewel er dan wel sensors binnen en buiten nodig zijn. In dit geval is een verschil van 3,5 g waterdamp per m³ lucht een redelijk niveau en kan dit verschil het hele jaar door worden gebruikt om te controleren of de vochtigheidsproductie in huis goed is uitgebalanceerd ten opzichte van de ventilatie-

capaciteit. Omdat het meten van het verschil in absolute vochtigheid niet standaard is, zijn er weinig producten op de markt om dat te doen.

VOS als indicator van luchtkwaliteit

Vluchtige organische stoffen (VOS) zijn gemakkelijk verdampende stoffen die bestaan uit een mengsel van veel verschillende chemicaliën, zoals benzeen, formaldehyde en trichloorethyleen (TCE). Het effect op mensen gaat van het ruiken van een onaangename geur tot ernstige ziektes zoals kanker.

Er zijn twee soorten VOS-sensors op de markt. De eerste meet de feitelijke VOS in de lucht en registreert luchtjes, kook- en rookdamp en oplosmiddelen. De andere soort legt een verband tussen het VOS-gehalte en het CO₂-gehalte afkomstig van menselijke activiteit waardoor ook VOS worden voortgebracht. In combinatie met de mogelijkheid om geuren te detecteren, kan dit feit ertoe leiden dat VOS-sensors gaan uitgroeien tot een alternatief voor CO₂ als indicator voor luchtkwaliteit, eens te meer omdat VOS-sensors ook goedkoper zijn.

Het is vaak lastig om de limietwaarden te bepalen van VOS, waarvan vooral in wetenschappelijke kringen gebruik wordt gemaakt. VOS-sensors die een verband leggen met CO₂-niveaus, kunnen echter een goed alternatief zijn voor bestaande CO₂-sensors die menselijke aanwezigheid in gebouwen evalueren.

2.1.3 Gezondheid

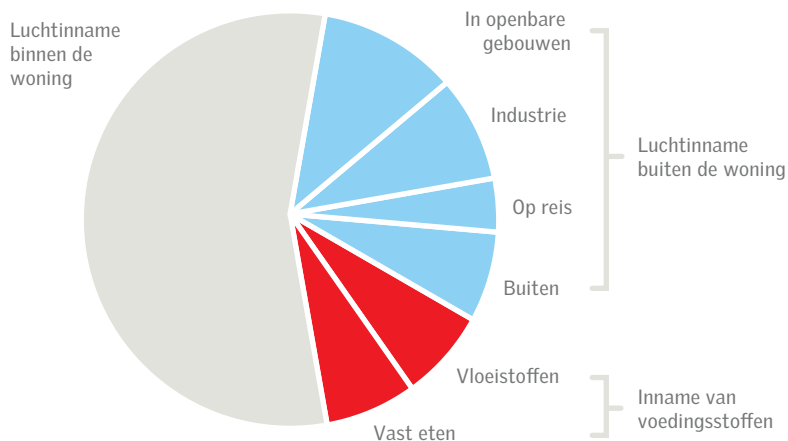
Om de rol van binnenlucht voor onze gezondheid goed te begrijpen, is het nuttig te beseffen hoeveel lucht we elke dag inademen. Een gemiddelde persoon verbruikt 2 kg voedsel en water per dag, maar ademt 15 kg lucht in (12.000 liter). Lucht is dus erg belangrijk voor onze gezondheid (Nilsson, 2008).

We brengen 90% van onze tijd binnen door. De meeste lucht die we inademen is daarom afkomstig uit het binnenmilieu. En we brengen veel tijd in huis door. 55% van de totale hoeveelheid voedsel, water en lucht die we in ons leven binnenkrijgen, bestaat uit binnenlucht in ons huis. Zie afbeelding 2.2 (Sundell, 2004b).

De individuele of gecombineerde effecten op de menselijke gezondheid

van veel bestanddelen die in binnenlucht voorkomen, worden nog niet volledig begrepen. Er is echter belangrijk wetenschappelijk onderzoek waaruit blijkt dat de kwaliteit van binnenlucht veel invloed heeft op de gezondheid van mensen in gebouwen.

Professor Jan Sundell van het International Centre for Indoor Environment and Energy van de Technische Universiteit van Denemarken (de DTU) zegt dat "we niet veel weten van causatieve agentia in de binnenlucht. Maar er komt steeds meer bewijs dat de omgeving binnen, met name vochtigheid en inadequate ventilatie, een belangrijke rol speelt voor de volksgezondheid en dat de economische voordelen van het verbeteren van het binnenmilieu binnen veel groter zijn dan de kosten.



Afbeelding 2.2 55% van de totale inname aan lucht bestaat uit binnenlucht afkomstig uit onze woning (Sundell, 2004b).

» Vermijd hoge vochtigheidsniveaus om een gezond binnenmilieu te garanderen «

Vooraf in Noord-Europa komen astma en allergieën steeds vaker bij kinderen voor. Dit verschijnsel is onderzocht door artsen en wetenschappers die in het binnenmilieu zijn gespecialiseerd. In één studie is de aanwezigheid van deze ziektes bij Zweedse dienstplichtigen onderzocht.

Tussen de jaren '50 en de jaren '80 is het aantal mensen met ziektes zoals astma en een allergie (aanwezigheid) sterk gestegen (zie afbeelding 2.3). Deze ontwikkeling is te snel gegaan om alleen door genetische veranderingen te kunnen worden verklaard en moet daarom worden toegeschreven aan veranderingen in het milieu. Er is geen direct verband gevonden met de binnenluchtkwaliteit, maar de meeste onderzoekers onderkennen dat er een verband is (Bråbäck et al., 2004).

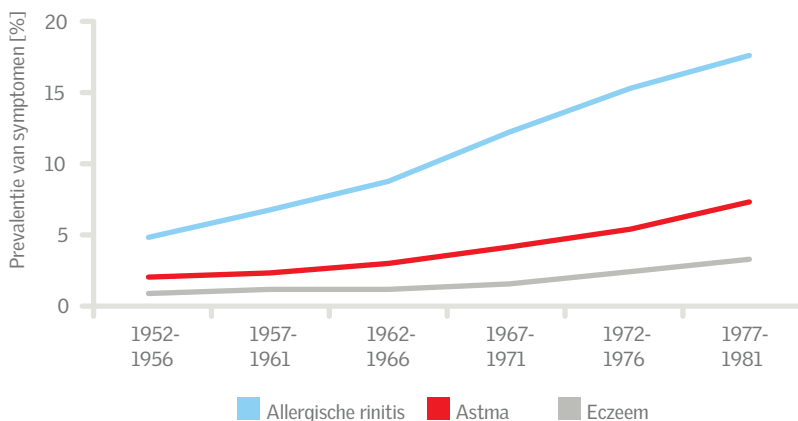
Om het belang van gezonde binnenlucht te benadrukken heeft de Wereldgezond-

heidsorganisatie (WHO) een serie verklaringen over 'Het recht op gezonde binnenlucht' aangenomen (WHO, 2000).

Sick Building Syndrome

De term Sick Building Syndrome (SBS) wordt gebruikt voor situaties waarin bewoners van een gebouw acute gezondheidsproblemen en ongemakken ondervinden, die te maken lijken te hebben met de tijd die in een gebouw wordt doorgebracht, maar waarvoor geen concrete aandoening of oorzaak te vinden is. De klachten kunnen zijn beperkt tot een bepaalde ruimte of zone of het hele gebouw betreffen (Franchi et al. 2004).

Symptomen van deze problemen zijn onder andere hoofdpijn, irritatie van ogen, neus of oren, hoesten, jeuk, vermoeidheid en concentratieproblemen. Deze symptomen zijn gedefinieerd als



Afbeelding 2.3 De aanwezigheid van allergieën, astma en eczeem bij Zweedse dienstplichtigen (jonge mannen die in dienst bij het leger gaan) (Bråbäck et al, 2004)

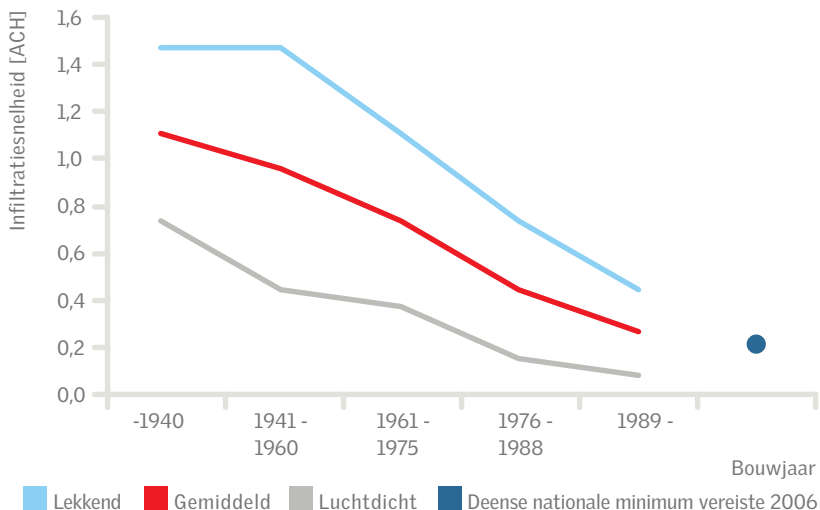
SBS-symptomen en volgens de WHO komen ze voor in 15-50% van alle gebouwen (Krzyanowski, 1999). Uit een overzicht blijkt dat in gebouwen met airconditioning de kans op SBS 30-200% groter is dan in natuurlijk geventileerde gebouwen (Seppänen en Fisk, 2002). De symptomen worden vermoedelijk veroorzaakt door een slecht binnenmilieu en kunnen worden verholpen door de luchtkwaliteit te verbeteren.

2.1.4 Verhoogde luchtdichtheid vereist ingrijpen bewoner

50-100 jaar geleden zaten er meestal lekken in huizen in het grootste deel van Europa. Daardoor bedroeg de ventilatiecapaciteit zonder open ramen

vaak minimaal één luchtverversing per uur (ACH of 'air change per hour'). Dit leidde tot hogere verwarmingskosten en daarom hebben de bouwverordeningen zich vanaf de jaren '60 gericht op het verminderen van het aantal lekken. Uit metingen blijkt dat de infiltratie is verminderd (zie afbeelding 2.4).

Infiltratie is ongecontroleerde ventilatie via lekken in een gebouw en is een maatstaf voor de luchtdichtheid van gebouwen. Een grotere luchtdichtheid gaat samen met minder energieverbruik, maar gebouwen in Noord-Europa zijn tegenwoordig vaak zo luchtdicht dat infiltratie bij lange na niet volstaat om een redelijke ventilatie en een goede



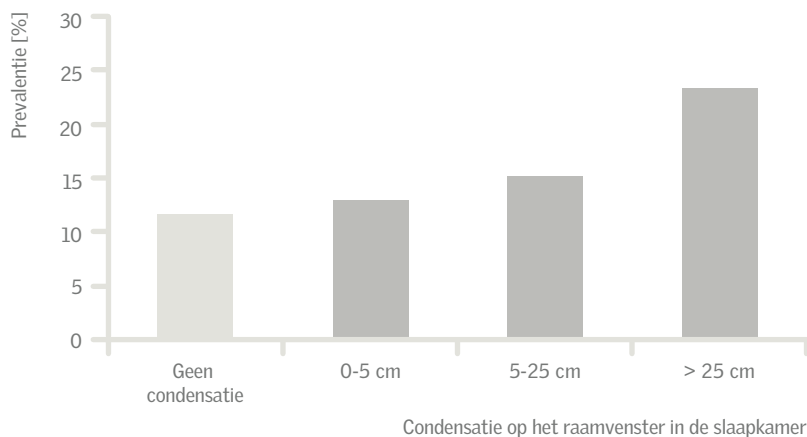
Afbeelding 2.4 De aanwezigheid van allergieën, astma en eczeem bij Zweedse dienstplichtigen (jonge mannen die in dienst bij het leger gaan)

» Gebruik VELUX INTEGRA®-dakramen voor automatische ventilatie om een gezond binnenmilieu te garanderen «

luchtkwaliteit te waarborgen. Daarom moeten de bewoners van een gebouw hun huizen goed ventileren om een goede luchtkwaliteit en een gezond binnenmilieu te garanderen. Het is belangrijk de VELUX-ventilatieklep te gebruiken om voor voldoende achtergrondventilatie te zorgen. Er moet vooral ook een paar keer per dag worden gelucht. Kinderen zijn erg gevoelig voor een slechte luchtkwaliteit, zoals uitgelegd in [paragraaf 2.1.3](#).

Vochtigheid in gebouwen kan ziektes veroorzaken

Leven of werken in een vochtig gebouw is een van de belangrijkste kwaliteitsfactoren voor binnenlucht die bijdragen aan het ontstaan van ziektes. Uit onderzoek in duizenden huizen is gebleken dat vochtige gebouwen een oorzaak kunnen zijn van aandoeningen zoals hoesten, een fluitende ademhaling, allergieën en astma. Een vochtig gebouw is een gebouw met een verhoogd vochtigheidsniveau (het precieze risiconiveau van vocht is



Afbeelding 2.5 laat zien hoeveel condens er op de binnenkant van slaapkamerramen voorkomt en hoe dit de aanwezigheid beïnvloedt van allergische rinitis bij de kinderen die in de huizen wonen (Bakó-Biró en Olesen, 2005). Het is belangrijk op te merken dat condens een indicator is van vochtigheid in de kamer. Condens op de ramen is op zich niet gevaarlijk voor de gezondheid (Wargocki, 2011).

❗ Vergeet niet:

Een gemiddeld gezin produceert 8-10 liter vocht per dag. Dat komt overeen met het dagelijks leeggieten van een volle emmer water op de vloer. Het vocht moet met een adequate ventilatie worden verwijderd om de kans op ziektes te verkleinen.

niet bekend). In afbeelding 2.5 worden de effecten van vochtige gebouwen geïllustreerd. Het laat zien dat vochtigheid samengaat met een grotere kans op allergieën (Sundell, 1999; Wargocki et al., 2001).

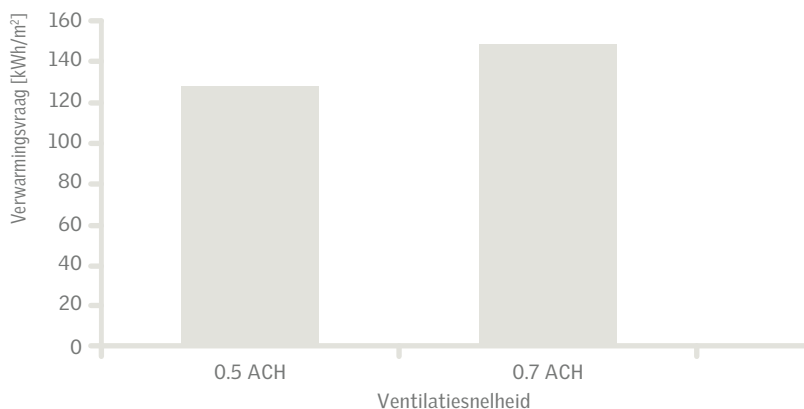
Menselijke activiteiten zoals schoonmaken, koken en baden voegen vocht toe aan de binnenlucht. Hierdoor bevat de lucht binnen meer vocht dan de

lucht buiten. De activiteiten van een gezin van vier personen voegen per dag gemiddeld tien liter water toe aan de binnenlucht (British Standard, 2002). Er is geen duidelijke wetenschappelijk verklaring van de manier waarop vochtigheid de gezondheid beïnvloedt. Het is echter welbekend dat stofmijten uitstekend gedijen in een vochtig binnenmilieu. Stofmijten zijn een bekende oorzaak van allergieën. Om dit



Voorbeeld: effect van ventilatiecapaciteit op warmtevraag.

Er wordt in Stockholm onderzoek gedaan naar een huis met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC). De vraag naar warmte wordt bepaald bij een ventilatiecapaciteit van 0,5 en 0,7 ACH. De vraag naar warmte stijgt met 21% wanneer de luchtverversing wordt verhoogd van 0,5 naar 0,7 ACH.

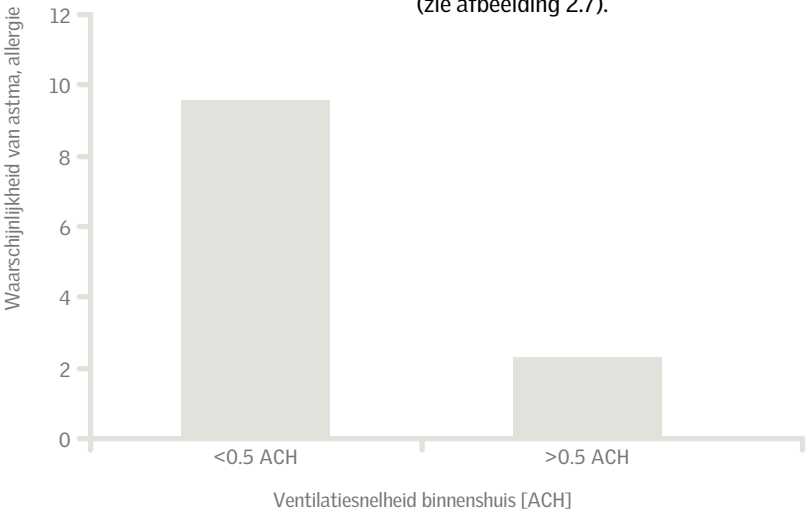


Afbeelding 2.6 De vraag naar warmte bij 0,5 en 0,7 ACH in een huis in Stockholm

risico te verkleinen, moet de relatieve vochtigheid gedurende een aantal maanden per jaar lager zijn dan 45%. De ventilatiecapaciteit is een compromis tussen de vraag naar energie en een gezond binnenmilieu. In afbeelding 2.7 zagen we dat meer ventilatie kan leiden tot een betere gezondheid. Maar meer ventilatie kan ook leiden tot hogere stookkosten in landen met een koud klimaat, zoals hierna wordt geïllustreerd.

Te weinig ventilatie kan ziektes veroorzaken

De ventilatiecapaciteit is een indicator van de frequentie waarmee de binnenlucht in een huis wordt vervangen. Als de ventilatiecapaciteit minder is dan 0,5 ACH, zoals meestal wettelijk verplicht is voor gebouwen in Noord-Europa (Mathisen et al., 2008), dan is er een grotere kans om vocht-gerelateerde aandoeningen zoals astma en allergieën te ontwikkelen (zie afbeelding 2.7).



Afbeelding 2.7 De odds ratio geeft een waarschijnlijkheid aan. De afbeelding laat zien hoe groot de kans is astma te krijgen. De kans op allergieën neemt toe in huizen met een ventilatiecapaciteit van minder dan 0,5 ACH (Öie, et al. 1999).

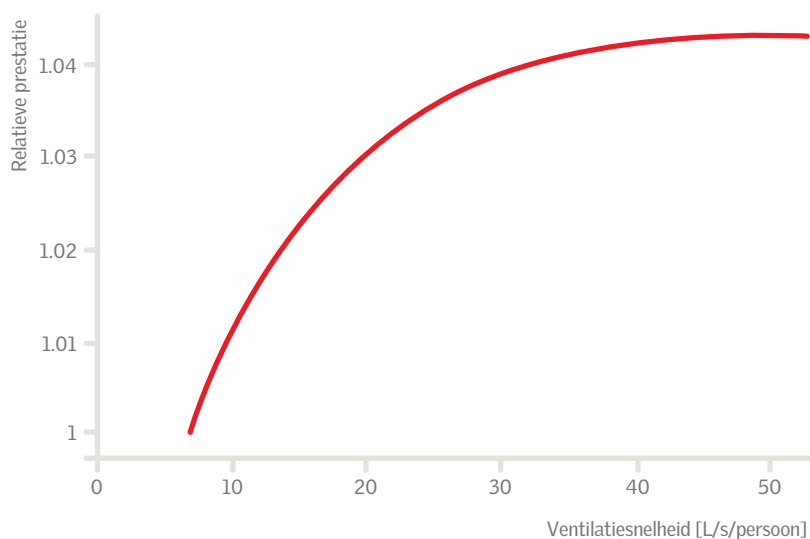
ⓘ Vergeet niet:

Een goede kwaliteit van de binnenlucht is een voorwaarde om ernstige aandoeningen zoals astma en allergieën te voorkomen, vooral bij kinderen.

2.1.5 Intellectuele prestaties en vereist ingrijpen bewoner

Uit onderzoek naar de intellectuele prestaties van medewerkers in kantoor-gebouwen en leerlingen in scholen is gebleken dat deze minder zijn bij een slechte luchtkwaliteit en omgekeerd (Seppanen en Fisk, 2006; Seppanen et al., 2009) – zie afbeelding 2.8.

Er mag worden aangenomen dat als een binnenmilieu geschikt was om productief te werken, het ook ons concentratievermogen vergroot. Thuis doen we allerlei activiteiten waarvoor we ons moeten concentreren (lezen, spelletjes doen, naar muziek luisteren) en die vermoedelijk beter gaan in een binnenmilieu dat gunstig is voor de productiviteit.



Afbeelding 2.8 De prestaties van leerlingen verbeteren wanneer de luchtkwaliteit wordt verbeterd door meer te ventileren (Seppanen et al, 2009).

2.2 Ventilatie en ventilatiesystemen

Er zijn verschillende manieren om frisse lucht een huis in te krijgen. Ventilatiesystemen kunnen natuurlijk, mechanisch of hybride (een combinatie van beide) zijn.

Er zijn twee manieren om gebouwen te ventileren of koelen: actief of passief. Actieve ventilatie/koeling verwijst naar systemen waarin mechanische componenten of andere energie verbruikende componenten (zoals airconditioningsystemen) worden gebruikt. Passieve ventilatie/koeling is een technologie of ontwerpkenmerk waarmee gebouwen worden geventileerd/gekoeld zonder energieverbruik (bijv. natuurlijke ventilatie met ramen die open kunnen).

Passieve koeling is een aanpak waarbij gebouwen zonder energieverbruik worden gekoeld. Het gaat hierbij om ten minste drie concepten:

- Zonnewering
- Thermische massa
- Koeling door ventilatie

Passieve koeltechnieken worden verder beschreven in hoofdstuk 3, Thermisch comfort.

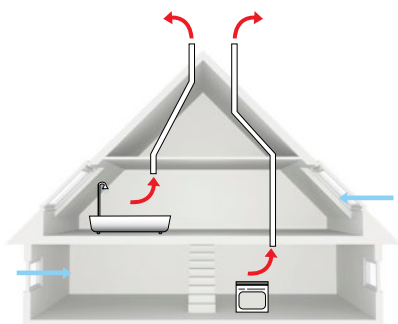
2.2.1 Natuurlijke ventilatie

Bij natuurlijke ventilatie worden krachten uit de natuur gebruikt om de lucht in het gebouw uit te wisselen. De drijvende krachten zijn wind en temperatuurverschillen, zoals verder uitgelegd in [paragraaf 2.4.1](#).

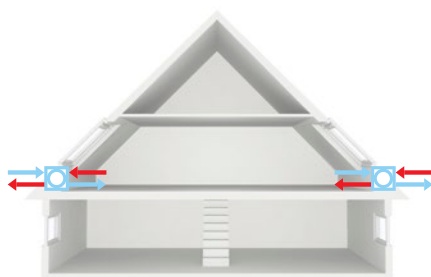
In woningen wordt lucht vaak aangevoerd via de voorgevel en wordt lucht uit bepaalde vertrekken (vaak keukens en badkamers) afgevoerd via leidingen (zie afbeelding 2.7).

De lucht kan worden aangevoerd via verse-luchtroosters in de voorgevel of via de ventilatiekleppen van VELUX-dakvensters. Er kan ook lucht binnenkomen via lekken in de voorgevel.

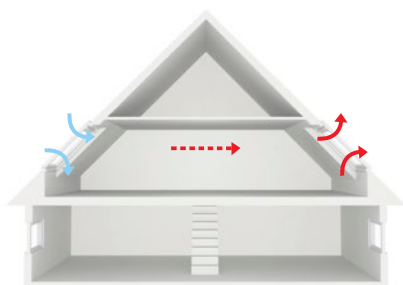
Het is belangrijk te garanderen dat het luchttoevoerpad door het gebouw doelmatig is ([zie paragraaf 2.5.1](#)).



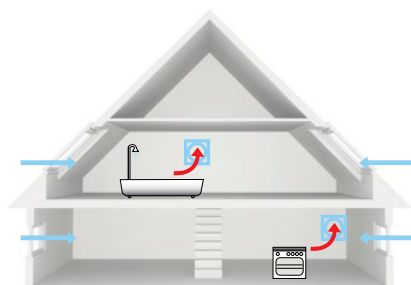
Natuurlijke ventilatie:
Achtergrondventilatie met trekleidingen



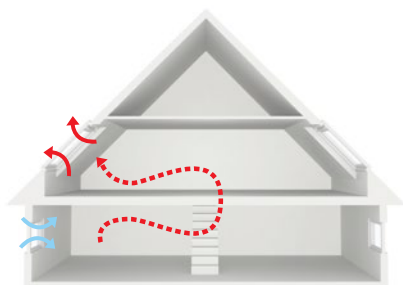
Mechanische ventilatie:
Uitgebalanceerde decentrale aan- en afvoer



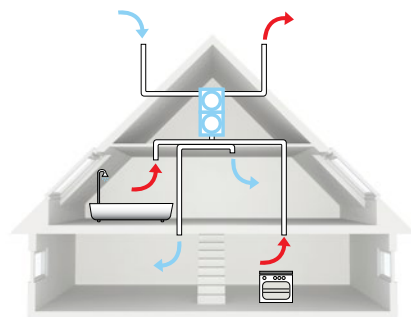
Natuurlijke ventilatie:
Dwarsventilatie met open ramen



Mechanische ventilatie:
Decentrale afvoer



Natuurlijke ventilatie:
Trekeffect met open ramen



Mechanische ventilatie:
Uitgebalanceerde centrale aan- en afvoer

Afbeelding 2.9 Veelvoorkomende natuurlijke en mechanische ventilatiesystemen

» Hybride ventilatie combineert het beste van natuurlijke en mechanische ventilatie in nieuwbouwwoningen «

2.2.2 Mechanische ventilatie

Mechanische ventilatiesystemen gebruiken elektrische ventilatoren om richting te geven aan de luchtstroom in het gebouw. Mechanische ventilatie kan een constante luchtverversingscapaciteit leveren die onafhankelijk is van de weersomstandigheden buiten, maar gebruikt elektriciteit en kan meestal niet worden aangepast aan de wisselende behoeften in de loop van een dag en een jaar.

Er zijn een paar varianten, zoals geïllustreerd in afbeelding 2.9. Systemen die lucht aan- en afvoeren, kunnen worden gecombineerd met een warmteterugwinningsapparaat waarmee de warmte van de afgevoerde lucht die anders verloren zou gaan, wordt teruggewonnen (opnieuw gebruikt). Tot 90% van de energie kan opnieuw worden gebruikt.

Nieuwbouwwoningen in veel Noord-Europese landen worden standaard steeds vaker afgeleverd met mechanische warmteterugwinningsventilatie om te voldoen aan de huidige energievereisten. Dit is een erg energie-efficiënte oplossing voor het verwarmingsseizoen (de winter). In de zomer kan er op de elektriciteit voor ventilatoren worden bespaard door een beroep te doen op natuurlijke ventilatie. Systemen die wisselen tussen natuurlijke ventilatie en mechanische ventilatie, worden hybride ventilatiesystemen genoemd. In mechanische ventilatiesystemen moeten er vaak filters worden vervangen. Vuile filters zijn een

bron van vervuiling voor de binnenlucht en tasten de kwaliteit daarvan aan. Hierdoor presteren de aanwezigen in het gebouw minder goed en komen symptomen van SBS vaker voor (Wargocki et al., 2002; Bekö, 2009).

Er is vastgesteld dat symptomen van SBS vaker voorkomen in gebouwen met airconditioning dan in natuurlijk geventileerde gebouwen (Wargocki et al., 2002). Een mechanisch ventilatiesysteem met warmteterugwinning is alleen energie-efficiënt als het gebouw perfect luchtdicht is. Als dat niet zo is, is een groot deel van de ventilatie afkomstig van infiltratie, die voorbijgaat aan de warmtewisselaar. Daarom is mechanische ventilatie met warmteterugwinning meestal alleen een energie-efficiënte oplossing voor bestaande gebouwen als ze luchtdichter worden gemaakt.

Mechanische ventilatiesystemen kunnen centraal of decentraal zijn. Centrale systemen hebben één centrale eenheid met aanvoer- en afvoerventilatoren. Als het systeem is uitgerust met een warmteterugwinningsapparaat, dan is dat opgenomen in de centrale eenheid. Er worden ventilatieleidingen geïnstalleerd die van de eenheid naar de meeste vertrekken van het huis lopen. Bij decentrale ventilatie worden geen leidingen gebruikt, maar worden kleine eenheden (soms met inbegrip van een warmteterugwinningsapparaat) geïnstalleerd in elk vertrek van het huis. Het voordeel van een dergelijk systeem is dat er geen ruimte voor leidingen nodig is.

2.2.3 Hybride ventilatie

Hybride ventilatie is een systeem waarin natuurlijke en mechanische ventilatie met elkaar worden gecombineerd.

Hybride ventilatie is een relevante oplossing voor nieuwbouwwoningen, vooral als er dakvensters beschikbaar zijn om trek te bevorderen. Er zijn een paar soorten hybride ventilatiesystemen.

Gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie

Mechanische ventilatie wordt gebruikt tijdens de verwarmingsperiode en natuurlijke ventilatie tijdens de rest van het jaar. Dit principe levert voor nieuwbouwwoningen goede energieprestaties op en werkt prima in combinatie met VELUX-dakramen.

Natuurlijke ventilatie met ventilatorassistentie

Dit principe wordt vooral toegepast in grote bedrijfspanden waarin de natuurlijke drijvende krachten in sommige periodes onvoldoende zijn. Een ventilator wordt gebruikt voor assistentie.

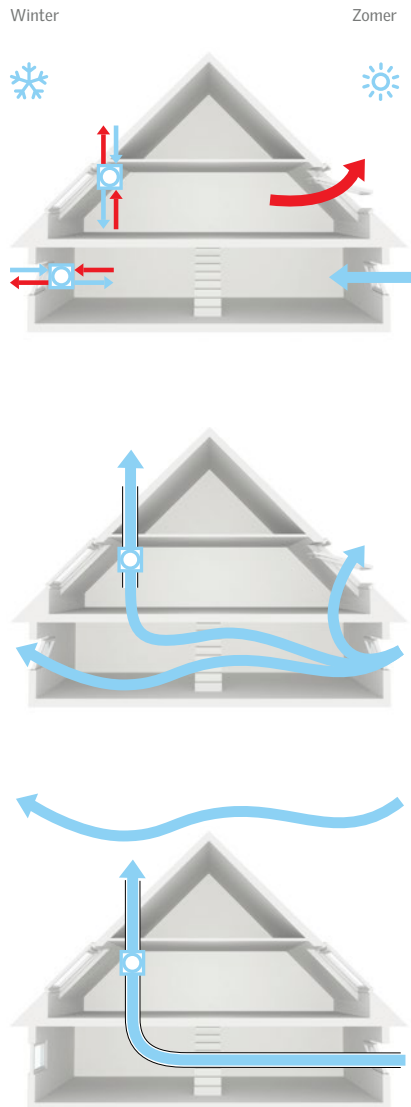
Trek- en windgeassisteerde mechanische ventilatie

Dit principe wordt vooral toegepast in grote bedrijfspanden, waarin het ventilatiesysteem leidingen bevat voor het transport van lucht en de natuurlijke drijvende krachten zorgen voor het grootste deel van de luchtstroom. Ventilatoren worden ter assistentie gebruikt.

Hybride ventilatie wordt gebruikt om het binnenmilieu te optimaliseren en de energiekosten te verlagen. Zoals eerder gezegd, wordt mechanische ventilatie met warmteterugwinning in nieuwbouwwoningen gebruikt om de verwarmingsvraag te verminderen en ervoor te zorgen dat de woning voldoet aan de energievereisten voor verwarming. Maar tijdens warme periodes is het energie-efficiënter natuurlijke ventilatie te gebruiken om het energieverbruik door de elektrische ventilatoren te verminderen.

Verder worden open ramen tijdens warme periodes op prijs gesteld door de meeste gebruikers.

Met hybride ventilatie wordt het beste van beide werelden gecombineerd: goede energieprestaties 's winters met mechanische ventilatie voor warmteterugwinning en goede prestaties 's zomers door natuurlijke ventilatie.

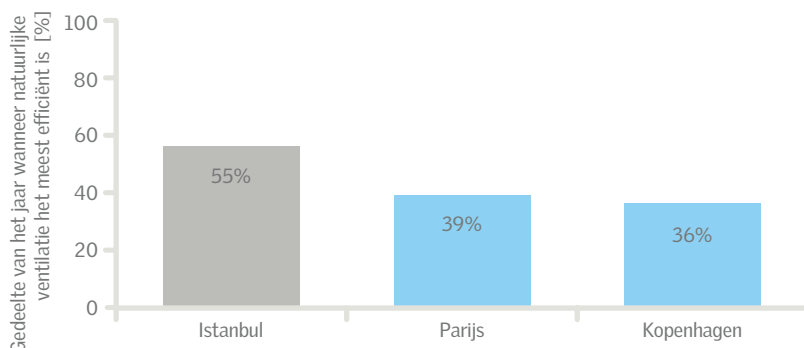


Afbeelding 2.10 Drie principes van hybride ventilatiesystemen (Heiselberg, 2002).

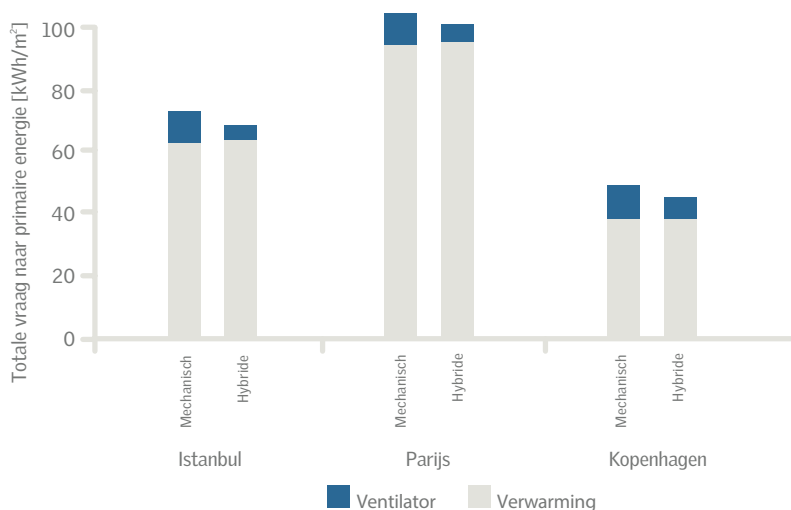
Voorbeeld: hybride ventilatie gebruiken om energie te besparen

Een voorbeeld van de hoeveelheid energie die kan worden bespaard met hybride ventilatie ten opzichte van ventilatie met mechanische warmteterugwinning

Het onderzoek wordt gedaan in gemiddelde huizen in Istanboel, Parijs en Kopenhagen. Natuurlijke ventilatie wordt gebruikt wanneer het warm genoeg is om warmteterugwinning overbodig te maken (Foldbjerg et al., 2010).



Afbeelding 2.10 In Parijs en Kopenhagen is natuurlijke ventilatie energie-efficiënter dan warmteterugwinning gedurende 36%-39% van het jaar. Voor Istanboel is dat cijfer 55%.



Afbeelding 2.12 Hybride ventilatie is energie-efficiënter dan ventilatie met mechanische warmteterugwinning in Istanboel, Parijs en Kopenhagen.

De jaarlijkse primaire energiebesparingen variëren van 3 kWh/m² in Parijs tot 5 kWh/m² in Istanboel. Dit wordt in de volgende tabel vergeleken met de maximale primaire energievraag. Er worden drie bouwperiodes onderzocht. Uit de cijfers blijkt dat de relatieve afname toeneemt van 5% voor recente gebouwen tot 9% voor een toekomstig gebouw.

	Totale maximale primaire energievraag voor een huis van 150 m ²	Relatieve vermindering bij een besparing van 4 kWh/m ² met hybride ventilatie
2005	85 kWh/m ²	5%
2010	61 kWh/m ²	7%
2015	42 kWh/m ²	9%

Afbeelding 2.12 Potentiële primaire energiebesparingen bij gebruik van hybride ventilatie in plaats van mechanische ventilatie met warmteterugwinning. Gebaseerd op de vereisten in de Deense bouwverordening (Danish Enterprise And Construction Authority, 2010)

In nieuwbouwwoningen kan hybride ventilatie een erg kostenefficiënte oplossing zijn om de vraag naar energie te verlagen en te zorgen dat de woning voldoet aan de energievereisten.

Om de energievraag te verlagen kan als alternatief voor hybride ventilatie ook gebruik worden gemaakt van extra isolatie, zonne-energie enz., maar dat kunnen duurdere oplossingen zijn.

❗ Vergeet niet:

Hybride ventilatie is energie-efficiënter dan mechanische ventilatie met warmteterugwinning omdat er 's zomers minder elektriciteit wordt gebruikt.

2.2.4 Vraaggestuurde ventilatie

In werkelijkheid verandert de behoefte aan ventilatie voortdurend en moet er meer worden geventileerd tijdens koken

en schoonmaken of wanneer er veel mensen in huis zijn. Wanneer er overdag niemand thuis is, is er minder behoefte aan ventilatie.

Voorbeeld: effect van luchtverversingscapaciteit op luchtkwaliteit

Er wordt in Londen onderzoek gedaan naar een huis met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC).

Het huis wordt bewoond door vijf personen en heeft een intern vloeroppervlak van 175 m².

Het CO₂-gehalte wordt bepaald voor twee luchtverversingswaarden: 0,3 ACH en 0,5 ACH.

	Gemiddeld CO ₂ -gehalte	Gemiddelde relatieve vochtigheid in december, januari en februari
0,5 ACH	728 ppm (erg goed)	42% (goed)
0,3 ACH	943 ppm (net acceptabel)	59% (te hoog)

Uit de resultaten blijkt dat bij 0,5 ACH, het CO₂-gehalte lager is dan 750 ppm, wat wijst op een zeer goede luchtkwaliteit. Bij 0,3 ACH is het CO₂-gehalte hoger dan 900 ppm, wat aangeeft dat de luchtkwaliteit net aanvaardbaar is voor bestaande gebouwen en voor verbetering vatbaar is. Bij 0,5 ACH is de relatieve vochtigheid 42% in de wintermaanden, tegen 59% bij 0,3 ACH. De aanbevolen relatieve vochtigheid voor dit deel van het jaar is minder dan 45%. Dat wordt gehaald bij 0,5 ACH. Bij 0,3 ACH is de relatieve vochtigheid echter te hoog, wat de kans op schimmelgroei en vochtgerelateerde aandoeningen vergroot.

In het onderzochte huis is de luchtkwaliteit erg goed bij een ventilatiecapaciteit van 0,5 ACH en slecht bij 0,3 ACH.

❗ Vergeet niet:

In woningen kan de ventilatiecapaciteit worden geregeld op grond van het vochtigheidsniveau en het CO₂-gehalte. De feitelijke behoefte aan ventilatie verandert voortdurend en vraaggestuurde ventilatie is het beste compromis tussen luchtkwaliteit en energieverbruik.

» Ramen openen is meer dan ventilatie – het openen van een raam schept een band met de buitenwereld en is een symbool van genegenheid voor uw gezin «

2.3 Frisse lucht van buiten

Naast kwesties van strikt technische aard, spelen er veel andere belangrijke kwesties in de ventilatiewetenschap. Toegang tot ventilatie is een basis-behoefte van de mens. Uit wetenschappelijk werk blijkt dat ventilatie via ramen of met 'frisse lucht van buiten' niets te maken heeft met 'fris' of 'lucht', maar eerder met het scheppen van een 'goed binnenmilieu'. En dat heeft uiteraard met veel meer te maken dan frisse lucht.

De verschillende aspecten van frisse lucht kunnen worden verdeeld in drie hoofdcategorieën: een functioneel (praktisch), een esthetisch (lichamelijk en zintuigelijk) en een sociaal (verzorging en indruk) element.

Het functionele element houdt verband met praktische doelen, zoals luchten na het baden, het schrobben van de vloer en het opmaken van de bedden, maar het heeft ook te maken met de mogelijkheid om rekening te houden met het weer en het huis zelf.

Het esthetische element omvat een lichamenlijk en een zintuigelijk perspectief. Factoren zoals regulering van de

lichaamswarmte en de mogelijkheid zelf te ruiken zijn belangrijk. Niet alleen de achtergrondgeur van een huis (goed en fris ruikend), maar ook het genot van een briesje in huis vallen hieronder. Het sociale element heeft te maken met de krachtige wens dingen onder controle te hebben. Laten zien dat je geeft om de gezondheid van je gezin door je huis te luchten, genieten van een gevoel van vrijheid omdat de ramen open kunnen, maar ook het binnen laten van de geluiden en geuren van buiten.

Drie erg belangrijke aspecten die alle te maken hebben met niet-technische kwesties, laten ons zien dat ramen die open kunnen op veel menselijke vlakken een absolute vereiste voor het binnenmilieu zijn.

Een ander menselijk aspect is de mogelijkheid ramen te openen tijdens de overgangsperiodes van onze dagelijkse levens, zoals wanneer we thuis komen, gaan slapen, wakker worden of van vakantie terugkomen. Gewoontes en instinctieve acties maken deel uit van de overgangen. En er is aangetoond dat het openen van ramen een van de acties is die we daarbij moeten uitvoeren.



Home for Life.

2.4 Natuurlijke ventilatie met dakramen

2.4.1 Drijvende kracht achter natuurlijke ventilatie

Natuurlijke ventilatie wordt veroorzaakt door temperatuurverschillen en winddruk.

Trekeffect (temperatuurverschil)

Warme lucht is lichter dan koude lucht. Dat veroorzaakt het trekeffect, waardoor de warme lucht in een gebouw gaat stijgen. De warme lucht verlaat het gebouw aan de bovenkant via lekken, trekleidingen of open ramen en wordt vervangen door koude lucht die vanaf de begane grond het gebouw binnendringt. Hoe hoger het gebouw, hoe krachtiger het trekeffect. Het trekeffect is alleen efficiënt als er luchtpassages door het gebouw zijn.

Het kan daarbij gaan om trappen in combinatie met ramen op de begane grond en in het dak die gemakkelijk tegelijkertijd kunnen worden geopend. Door hun plaats in het dak maximaliseren VELUX-dakramen het

ventilatiepotentieel van het trekeffect.

Zie paragraaf 2.4.3 voor een voorbeeld van het trekeffect.

Wind (winddruk)

Wanneer een gebouw is blootgesteld aan de wind, dringt de lucht aan de windzijde het gebouw binnen en verlaat zij het gebouw aan de beschutte zijde. De winddruk is aan de windzijde groter dan aan de beschutte zijde. Hierdoor wordt de lucht vanaf de windzijde door het gebouw heen verplaatst naar de beschutte zijde. De vorm van het gebouw en het landschap of de andere gebouwen erom heen beïnvloeden de luchtstroom. De grootte van het drukverschil dat door de wind wordt veroorzaakt, wordt tijdens simulaties automatisch berekend in tools zoals de Energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC) van VELUX. Gangbare waarden worden vermeld in de betreffende normen (bijv. BS5925:1991, DIN19466:2009).

Zie paragraaf 2.4.3 voor een voorbeeld van door de wind aangedreven natuurlijke ventilatie.

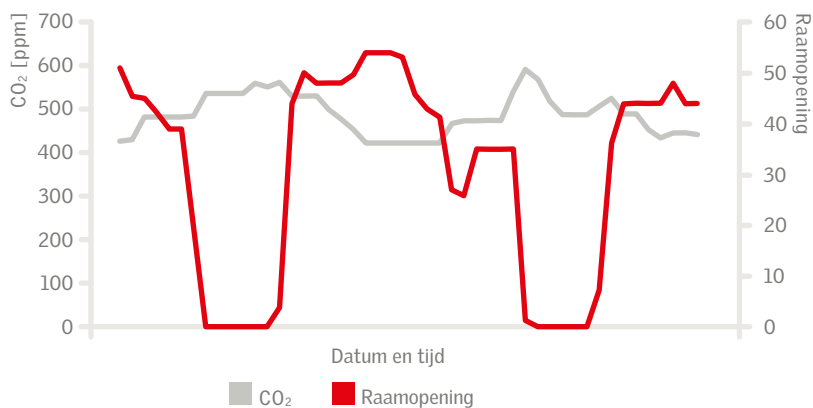
ⓘ Vergeet niet:

Hoe hoger de ramen zijn geplaatst en hoe groter het temperatuurverschil, hoe krachtiger het trekeffect is. Daarom is het trekeffect in een gebouw met VELUX-dakramen voor natuurlijke ventilatie groter dan in een gebouw met alleen gevelramen.

Voorbeeld uit MH 2020

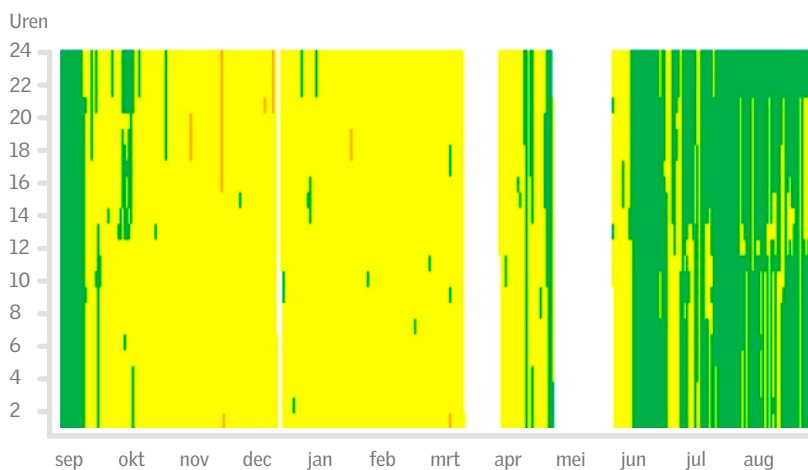
In het Franse modelhuis, het Maison Air et Lumière (MAL), is de binnenluchtkwaliteit beoordeeld met speciale aandacht voor de effecten van het natuurlijke ventilatiesysteem in de zomer. De beoordeling is gebaseerd op de gebruikperiode van september 2012 tot augustus 2013 voor het gezin van vier personen dat in het huis woonde. De CO₂-niveaus zijn geëvalueerd volgens de Active House-specificaties, 2e editie (Active House, 2013).

De algemene tendens was dat de binnenluchtkwaliteit (zoals aangegeven door de lagere CO₂-niveaus) in de zomer bij gebruik van natuurlijke ventilatie beter was dan in de winter bij gebruik van mechanische ventilatie. Het bleek dat het openen van de dakramen in de slaapkamers, in de woonruimtes en op de tussenverdieping bijdroeg aan de handhaving van een laag CO₂-niveau. Zie afbeelding 2.13 hierna voor tussenverdieping 2 (Plesner et al, 2014).



De woonkamer wordt ook weergegeven als een 'tjodkaart' waaruit blijkt dat gedurende veruit de meeste uren wanneer de dakramen open zijn, het CO₂-gehalte lager is dan 1150 ppm. In dit geval wordt dit beschouwd als een bevredigende binnenluchtkwaliteit. Er zijn geen periodes waarin de

MAL 2012-13, Woonkamer "VRW"



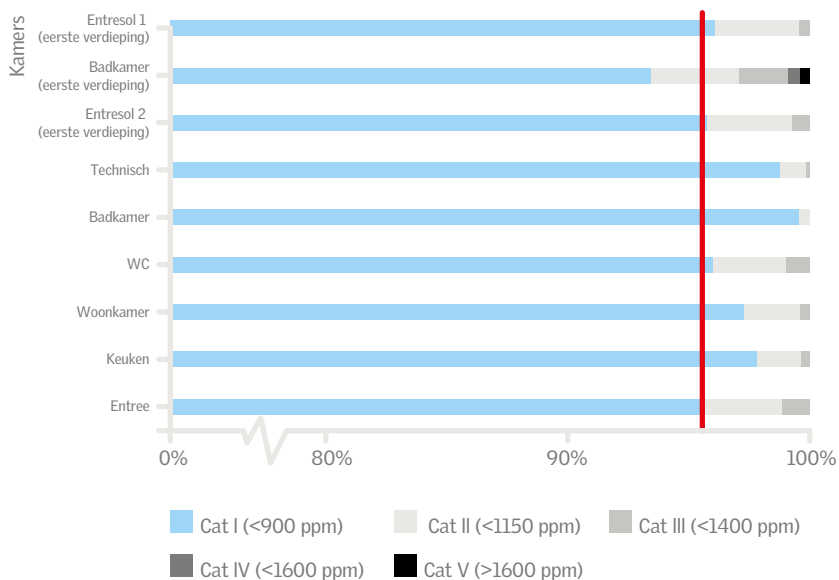
Alle kamers behalve slaapkamers

- Open raam en < 1150 ppm
- Gesloten raam en < 1150 ppm
- Gesloten raam en > 1150 ppm
- Open raam en > 1150 ppm

Afbeelding 2.14 Raamopening en CO₂-niveaus voor dakramen in woonkamer

ramen open zijn en het CO₂-gehalte hoog is.

Alle vertrekken in MAL zijn beoordeeld en haalden gedurende de zomer in 95% van de tijd

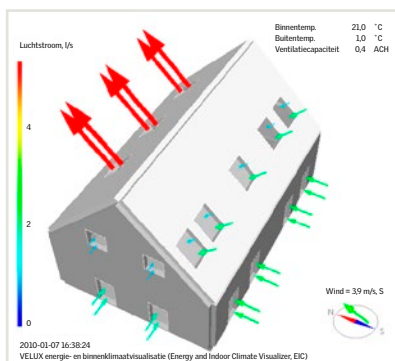


Afbeelding 2.15 Gemiddelde CO₂-jaarniveaus voor alle kamers en alle uren uitgezonderd slaapkamers

de categorie 1-2 (<1150 ppm) en categorie 1-2 voor het hele jaar. De resultaten laten een bevredigende binnenluchtkwaliteit voor het huis zien. Zie afbeelding 2.15 hierna.

2.4.2 Achtergrondventilatie met de VELUX ventilatieklep

De ventilatieklep op VELUX-dakramen kan worden gebruikt om een continue stroom van frisse lucht in het gebouw te creëren.



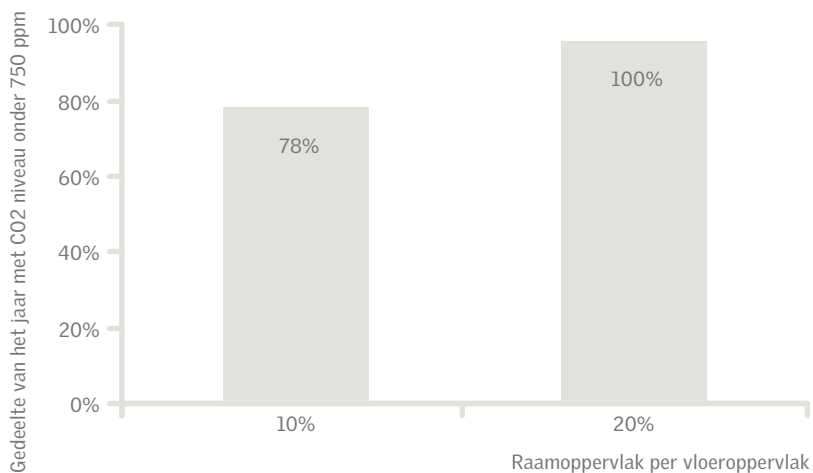
Afbeelding 2.16 Animatie van ventilatiecapaciteit met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC)

Voorbeeld:

Achtergrondventilatie met ventilatieklep

In het voorbeeld wordt onderzocht welke achtergrondventilatiecapaciteit kan worden bereikt met verschillende aantallen ramen per vloeroppervlak. De twee gebruikte raamoppervlakken waren 10% en 20% van het vloeroppervlak. Het huis staat in Berlijn.

Afbeelding 2.16 toont de ventilatiecapaciteit op 7 januari, met een afvoer bereik van 2-6 l/s per raam.



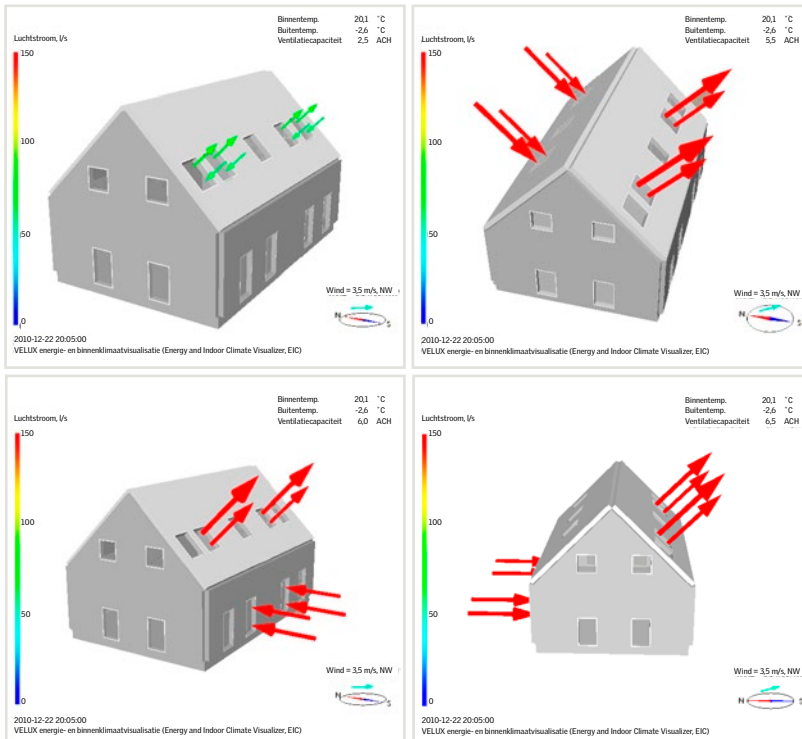
Afbeelding 2.17 Het deel van het jaar met een CO₂-niveau van minder dan 750 ppm wordt gebruikt als indicator van goede luchtkwaliteit. Dit wordt gedurende 78% van het jaar bereikt met 10% ramen ten opzichte van het vloeroppervlak. Dit loopt op tot bijna 100% bij 20% raamoppervlak ten opzichte van het vloeroppervlak.

2.4.3 Luchten

Luchten is een korte periode met een hoge ventilatiecapaciteit veroorzaakt door een of meer open ramen. Tijdens het luchten worden geurtjes en vochtigheid efficiënt verwijderd op de plaats en het tijdstip van de opwekking

Voorbeeld: luchten

De ventilatiecapaciteit behaald met luchten wordt berekend met de VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC). Vier ramen om te luchten en de ventilatiecapaciteit bereikt met enkelzijdig luchten, dwarsventilatie en tochtventilatie worden weergegeven voor een zomer- en wintersituatie. Het huis staat in Berlijn.



Afbeelding 2.18 Animatie van raamluchtstroom berekend met VELUX EIC Viz

De afbeeldingen van de ventilatie op 22 december tijdens het luchten 's ochtends, laten een enkelzijdige ventilatie, dwarsventilatie, een trekeffect en een combinatie van trekeffect en dwarsventilatie zien. De ventilatiecapaciteit tijdens het luchten wordt in de volgende tabel weergegeven.

	Normale zomerdag: 3 augustus	Normale winterdag: 12 december
Enkelzijdig	1,5	2,5
Dwarsventilatie	2,5	5,5
Trek	4,5	6,0
Gecombineerde tocht- en dwarsventilatie	5,0	6,5

De ventilatiecapaciteit die met luchten is bereikt, ligt tussen de 1,5 en 5,0 ACH, wat tot tien keer hoger is dan de achtergrondventilatiecapaciteit van 0,5 ACH. De hoogste ventilatiecapaciteit in het voorbeeld werd bereikt met een gecombineerd trekeffect en dwarsventilatie (5,0 – 6,5 ACH), vervolgens het trekeffect (4,5 – 6,0 ACH), gevolgd door dwarsventilatie (2,5 – 5,5 ACH) en enkelzijdige ventilatie (1,5 – 2,5 ACH). Deze ventilatiecapaciteiten zijn gebaseerd op specifieke openingsoppervlakken. Hogere ACH-waarden kunnen worden gehaald met grotere openingen, wat vooral relevant is voor koelen met ventilatie. In het Franse modelhuis, het Maison Air et Lumière (MAL), zijn in de zomer van 2012 waarden tot 20 ACH gemeten (Favre et al., 2013).

Het effect op de luchtkwaliteit van gecombineerde tocht- en dwarsventilatie wordt onderzocht. Het deel van het jaar waarin het CO₂-niveau lager is dan 900 ppm wordt bepaald, evenals de extra energievraag (en bijbehorende kosten). Er is een gasprijs van € 0,085/kWh gehanteerd (Europe's Energy Portal, 2010).

	Deel van het jaar waarin het CO ₂ -niveau lager is dan 900 ppm [%]	Verwarmings- vraag [kWh/m ²]	Energiekosten [€/m ² per jaar]
Zonder luchten	62	45,9	3,9
Met luchten	77	50,3	4,3

Uit de resultaten blijkt dat bij luchten het deel van het jaar met een CO₂-niveau van minder dan 900 ppm toeneemt van 62% tot 77%, - een aanzienlijke toename van 24%. De energiekosten nemen toe van € 3,9 tot € 4,3 per m² per jaar - een toename van 10%.

! Vergeet niet:

Luchten via ramen is efficiënt en relevant in veel situaties:

- 's Ochtends wanneer u opstaat
- Tijdens het koken
- Tijdens en na het douchen
- Tijdens en na schoonmaken
- Wanneer de was binnen droogt
- 's Middags wanneer u thuiskomt

ervan. Welk effect luchten heeft, hangt af van het aantal geopende ramen en waar zij zich ten opzichte van elkaar bevinden. Luchten is het meest efficiënt wanneer het trekeffect en de winddruk worden benut door ramen aan tegenovergestelde zijden van het gebouw en op verschillende hoogtes te openen.

2.4.4 Optimale winterventilatie-strategie voor bestaande gebouwen

Met de ventilatieklep kan achtergrondventilatie worden gecreëerd. Hiermee wordt een goede binnenluchtkwaliteit bereikt wanneer het huis niet op volle capaciteit wordt gebruikt. Tijdens activiteiten zoals koken, wassen en douchen moet worden gelucht. Een combinatie van VELUX-dakramen en gevelramen maakt efficiënt luchten met het trekeffect en dwarsventilatie mogelijk. De combinatie van achtergrondventilatie en luchten is de beste strategie om een goede luchtkwaliteit te bereiken terwijl de energievraag redelijk blijft omdat luchten efficiënter is dan continue ventilatie (Heiselberg en Perino, 2010; Perino en Heiselberg, 2009).

Luchten kan tocht veroorzaken, maar dat probleem kan worden geminimaliseerd door kort en efficiënt te luchten.

Zie het ontwerpadvies voor specifieke soorten gebouwen in [paragraaf 2.5](#).

2.4.5 Zomerventilatie

In warme zomers is natuurlijke ventilatie de beste manier om de temperatuur binnen comfortabel te houden. In deze situatie hoeft er geen rekening te worden gehouden met warmteverlies. Integendeel, er is een mogelijkheid om energie te besparen voor koeling, met airconditioning als deze in het gebouw is geïnstalleerd.

Frequentere ventilatie in de zomer voorkomt oververhitting en wanneer het warm is, voelt de grotere luchtverplaatsing aangenaam aan. [Zie paragraaf 3.5.3](#) in het hoofdstuk Thermisch comfort voor een voorbeeld van het gebruik van zonnewering en natuurlijke ventilatie om thermisch comfort te handhaven. De grote luchtstroom die natuurlijke ventilatie verschaft tijdens de zomermaanden, zorgt voor een erg laag CO₂-gehalte in de binnenlucht, zonder dat dit energie kost.

Het gebruik van natuurlijke ventilatie om het thermisch comfort te verbeteren tijdens warme periodes wordt verder uitgelegd in het hoofdstuk Thermisch comfort.

Zie het ontwerpadvies voor specifieke soorten gebouwen in [paragraaf 2.5](#).

● Vergeet niet:

Gebruik een combinatie van achtergrondventilatie via de ventilatieklep en twee tot vier keer luchten per dag om een zo goed mogelijke binnenluchtkwaliteit te garanderen.

2.4.6 Automatisch ramen openen met VELUX dakramen

De VELUX INTEGRA- en SOLAR-ramen kunnen zo worden geprogrammeerd dat ze automatisch open gaan. Dat kan erg handig zijn als u een erg druk dagelijks leven hebt en er niet altijd aan denkt om regelmatig te luchten.

De ramen in vooraf gekozen vertrekken van de woning kunnen zodanig worden geprogrammeerd dat ze bijvoorbeeld tien minuten 's ochtends en 's middags

worden geopend en in het weekend rond een uur of twaalf.

De ventilatieklep kan zo worden geprogrammeerd dat deze open gaat wanneer de bewoners thuis zijn of dat deze gedurende de hele dag of nacht voor achtergrondventilatie zorgt.

De klep van slaapkamerramen kan 's nachts automatisch geopend worden.

Als de bewoners willen dat het raam 's nachts wordt geopend, kunt u het raam automatisch een paar keer laten open gaan.

Vergeet niet:

Een gevolg van de grotere luchtdichtheid van gebouwen is dat er meer behoefte aan extra ventilatie is om een goed en gezond binnenmilieu te garanderen.

2.5 Ventilatie van verschillende soorten gebouwen

De basisbehoeften van mensen zijn onafhankelijk van het type gebouw, maar de manier waarop ventilatie wordt gebruikt om aan die behoeftes te voldoen kan wel van het type gebouw afhangen. Dit wordt besproken in de volgende paragrafen.

2.5.1 Gerenoveerde woningen

Bestaande woningen kunnen op verschillende niveaus worden gerenoveerd.

- Eén vertrek tegelijk renoveren: de ramen in een bepaald vertrek vervangen, de luchtdichtheid verbeteren, het interieur opknappen
- Uitgebreider renoveren: extra isolatie toevoegen, alle ramen in het huis vervangen, de luchtdichtheid verbeteren enzovoort.

Veel huiseigenaren willen de energieprestaties tijdens een renovatie verbeteren. Dat kan gevolgen hebben voor de ventilatie van het huis en daarom voor de binnenluchtkwaliteit. Door de luchtdichtheid te verbeteren en oude ramen door nieuwe te vervangen, vermindert de ongewenste infiltratie. Er moeten dan andere maatregelen worden genomen om een adequate ventilatie te garanderen. Wat de juiste soort ventilatie is, hangt af van het type vertrek.

In de meeste woningen wordt natuurlijke ventilatie gebruikt, en dat is waar we hierna van uitgaan.

Slaapkamers

Slaapkamers zijn relatief kleine vertrekken waarin mensen veel tijd doorbrengen, vaak zes tot acht uur per dag. De slaapkamer is het vertrek waar we de meeste tijd van ons leven doorbrengen. Het is daarom erg belangrijk dat een slaapkamer goed wordt geventileerd. In veel woningen zijn slaapkamers zelfs vóór een renovatie onvoldoende geventileerd. Voor een goede natuurlijke ventilatie moeten er ten minste twee ramen zijn geplaatst. De ramen moeten ventilatiekleppen of roosters hebben die 's nachts tijdens een zo groot mogelijk deel van het jaar open kunnen. Als de ramen in het vertrek op twee verschillende hoogtes zitten, werkt dat veel beter dan ramen op dezelfde hoogte. Dat komt omdat dan het trekeffect wordt benut. Ventilatiekleppen alleen zijn echter niet altijd genoeg om een goede luchtkwaliteit in een slaapkamer te garanderen.

Elektrisch bediende ramen (VELUX INTEGRA[®]) bieden veel betere mogelijkheden dan ramen die met de hand moeten worden geopend, omdat ze programmeerbaar zijn en 's nachts automatisch een of twee keer kunnen worden geopend. Gedecentraliseerde mechanische ventilatie is ook een mogelijkheid.

De ventilatiecapaciteit van een slaapkamer is 's nachts groter wanneer de slaapkamerdeur open staat. Uit een onderzoek naar de ventilatiecapaciteit van gemiddelde huizen zijn de volgende ventilatiecapaciteiten voor verschillende deurposities naar voren gekomen. Gesloten deur: 0,3 ACH; Deur op een kier: 0,4 ACH; Deur open: 0,5 ACH (Bekö et al., 2011).

Kinderkamers

Hoe een kinderkamer wordt gebruikt, hangt sterk af van de leeftijd van het kind en of de kamer alleen wordt gebruikt om te slapen of ook om er overdag bijvoorbeeld huiswerk te maken of te spelen. Omdat er in deze kamer vaak veel speelgoed en elektronische apparatuur aanwezig zijn, is er vanwege de emissies daarvan meer behoefte aan ventilatie. Kinderen zijn zich echter meestal niet bewust van het belang van ventilatie. De overwegingen die we voor slaapkamers hebben genoemd, gelden ook voor kinderkamers. Voor deze laatste kamers is het nog belangrijker dat het luchten niet wordt overgeslagen. Veel gezinnen met kinderen hebben daar echter geen tijd voor. Elektrisch bediende apparaten zijn daarom een ware uitkomst voor deze kamers.

Woon- en eetkamers

In woon- en eetkamers is er meestal meer vloeroppervlak per persoon dan in

slaapkamers. Bovendien brengen we er minder tijd door dan in de slaapkamer. Daarom is goede ventilatie in een woonkamer een stuk eenvoudiger. De ventilatie moet vaak eerder voldoen aan comfortvereisten (frisse lucht voelen) dan aan gezondheidsvereisten. De behoefte aan ventilatie in een woonkamer kan wisselen van heel weinig tot heel veel (wanneer er bijvoorbeeld veel bezoek is), en daar moet bij het ontwerpen van de ventilatie rekening mee worden gehouden. Een flexibel ventilatieontwerp omvat twee tot drie gevelramen die open kunnen, en een vergelijkbaar aantal dakramen om efficiënt te kunnen luchten wanneer daar veel behoefte aan is. Handmatig bediende ramen kunnen volstaan als ventilatiekleppen worden gecombineerd met regelmatig luchten. Met elektrisch bediende ramen hoeft u helemaal nergens meer aan te denken.

Keukens

Keukenactiviteiten brengen veel vocht, geurtjes en fijne deeltjes voort. Deze worden het meest efficiënt verwijderd door goed te ventileren tijdens de keukenactiviteiten. Een afzuigkap is belangrijk, maar die werken minder goed als ze vuil en vet zijn. Daarom is luchten tijdens het koken een goede gewoonte en een efficiënte aanvulling. Luchten is het meest efficiënt als u twee ramen op verschillende hoogtes kunt openen, bijvoorbeeld gevelramen en dakramen. Door de warmte die

ovens en fornuizen voortbrengen, is koude tocht meestal geen probleem in keukens. Omdat je in een keuken gemakkelijk voelt of ruikt of ventilatie nodig is, is het voor de gebruikers niet moeilijk op het juiste moment te luchten. Op vochtigheid reagerende, elektrisch bediende ramen kunnen extra voordelen hebben.

Badkamers

Badkameractiviteiten veroorzaken vochtigheid en luchtjes. Tijdens het baden wordt er veel vocht voortgebracht, maar badkamers worden op een dag niet veel gebruikt. In een efficiënt ventilatieontwerp is daarom een grote ventilatiecapaciteit voor korte periodes voorzien. Badkamers hebben vaak mechanische ventilatie met luchtextractie, maar goede mogelijkheden om te luchten zijn een voordeel. Luchten verloopt het meest efficiënt met ramen op twee verschillende hoogtes. Omdat je in een badkamer gemakkelijk voelt of ruikt of ventilatie nodig is, is het voor de gebruikers niet moeilijk op het juiste moment te luchten. Op vochtigheid reagerende, elektrisch bediende ramen kunnen extra voordelen hebben.

Afvoerpad met natuurlijke ventilatie

In woningen met natuurlijke ventilatie is het bij een renovatie belangrijk goed na te denken over het pad dat de luchtstroom moet volgen door het huis. Voor dit pad moet rekening worden

gehouden met de windrichting, de windsnelheid en de buitentemperatuur. Verder kan een specifiek raam zowel voor toevoer als afvoer worden gebruikt. Hooggeplaatste ramen (en trekleidingen) functioneren hoofdzakelijk als afvoer. In gelijkvloerse woningen functioneren dakramen in de keuken en badkamer vaak als afvoer. Zij zorgen ervoor dat de lucht via de slaapkamers en woonkamer het huis in komt en wordt afgevoerd via de natte vertrekken.

In woningen met een bovenverdieping functioneren de ramen op de eerste verdieping vaak als afvoer. Als de slaapkamers zich op de bovenverdieping bevinden, is het belangrijk dat de slaapkamerramen niet worden gebruikt als afvoer. Dat kan leiden tot oververhitting en er is een grotere kans dat de lucht die de slaapkamer binnenkomt, afkomstig is uit andere kamers en dus minder fris is. Een efficiënte oplossing is het plaatsen van een dakraam boven trap op de bovenverdieping. Dat raam functioneert dan meestal als afvoer voor de begane grond.

2.5.2 Nieuwbouwwoningen

De keuze van een ventilatiesysteem voor een nieuwbouwwoning hangt vaak in sterke mate af van de energie-wetgeving en de door de toekomstige huiseigenaar gewenste energieprestaties. In Noord-Europa is mechanische ventilatie met warmteterugwinning de feitelijke standaard geworden omdat daarmee de vraag naar verwarming 's winters kleiner is.

Natuurlijke ventilatie blijft 's zomers het meest energie-efficiënte ventilatiesysteem in alle Europese landen omdat er geen warmteverlies is en geen vraag naar elektriciteit voor ventilatoren.

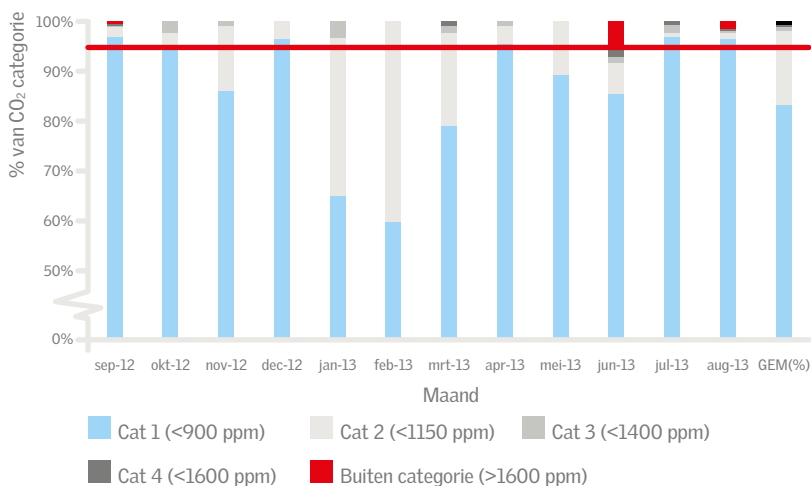
In nieuwbouwwoningen kan zowel met mechanische als natuurlijke ventilatie worden voldaan aan de wettelijke eisen. Natuurlijke ventilatie kan de belangrijkste vorm van ventilatie zijn of worden gebruikt als aanvulling op mechanische ventilatie. In situaties waarin mechanische ventilatie wordt gekozen als de belangrijkste vorm van ventilatie, is het belangrijk te beseffen dat natuurlijke ventilatie een goede aanvulling kan zijn. Het opnemen van natuurlijke ventilatie in het ventilatieontwerp van een nieuwbouwwoning heeft een paar specifieke voordelen:

- Geen elektriciteitsverbruik tijdens de warme maanden (energie-neutrale ventilatie)
- Betere binnenluchtkwaliteit tijdens de warme maanden omdat de luchtverversingscapaciteit 's zomers zonder extra kosten kan worden verhoogd
- Maakt efficiënt luchten mogelijk wanneer de situatie om meer ventilatie vraagt (bijv. tijdens baden of koken)
- Schept een band met de buitenwereld en een gevoel van frisse lucht (zie paragraaf 2.3) ➡
- Is een efficiënte manier om oververhitting te voorkomen met koeling door ventilatie (zie het hoofdstuk Thermisch comfort)

Veel van de punten om rekening mee te houden tijdens de renovatie van bestaande woningen (zoals besproken in paragraaf 2.5.1), gelden ook voor nieuwbouwwoningen.

MH2020 voorbeeld van slaapkamers

De binnenluchtkwaliteit in de slaapkamers van het Maison air et Lumière is alleen 's nachts geëvalueerd in het hierna weergegeven geval, waarin de CO₂-niveaus 's zomers meestal lager zijn dan 's winters. Categorie 2 wordt in de meeste maanden gehaald, hoewel juni hoge CO₂-niveaus heeft. Uit de algehele resultaten blijkt dat met vraaggestuurde natuurlijke ventilatie met VELUX INTEGRA®-dakramen een bevredigende binnenluchtkwaliteit in slaapkamers tijdens de nacht mogelijk is (Plesner et al., 2014).



Afbeelding 2.19 Maandelijke CO₂-niveaus voor slaapkamer B (begane grond) in MAL

2.5.3 Scholen en kleuterscholen

Kenmerkend voor scholen en kleuterscholen is dat er relatief weinig vierkante meters per persoon en zalen voor activiteiten zijn. Verder is het gebruik van de zalen voorspelbaar op grond van vooraf vastgelegde roosters. Scholen en kleuterscholen zijn bovendien vaak openbare gebouwen met een beperkt budget voor het bouwen van nieuwe gebouwen of het renoveren van bestaande. Er kunnen wettelijke vereisten zijn voor een minimale ventilatiecapaciteit of een maximaal CO₂-gehalte.

Om een goed werkend natuurlijk ventilatiesysteem in een klaslokaal te garanderen, is de grootte van de raamopening in verhouding tot het aantal leerlingen de belangrijkste ontwerpparameter. Er moet voor een zo groot mogelijke raamopening worden gezorgd. Enkelzijdige ventilatie via gevelramen alleen kan een uitdaging zijn. Een veel betere ventilatie wordt bereikt in combinatie met dakramen. De prestaties kunnen worden gecontroleerd door een simulatie te doen met de VELUX energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC) en daarmee de CO₂-gehalten te bepalen.

Houd rekening met de volgende factoren om het ontwerp te optimaliseren:

- Natuurlijke ventilatie is gewoonlijk een kostenefficiënte oplossing
- Tijdens de pauzes tussen lessen kan worden gelucht. De ramen moeten dan

zo ver mogelijk worden opengezet om het CO₂-gehalte zoveel mogelijk te verlagen voordat de volgende les begint.

- Tijdens de lessen kunnen de ventilatiekleppen en -roosters worden gebruikt. Leerlingen kunnen gevoelig zijn voor thermisch ongemak en tocht kan het gebruik ervan beperken als het buiten koud is.
- Visuele indicatoren van het CO₂-gehalte (bijv. in de vorm van een rood-oranje-groen 'stoplicht') kunnen leerlingen en docenten ertoe aanzetten de ramen vaker te openen en de luchtkwaliteit te verbeteren (Wargocki et al., 2012)
- Met automatisch geregelde natuurlijke ventilatie worden alle mogelijkheden van natuurlijke ventilatie volledig benut. Dit is wat voor scholen wordt aangeraden. Als het lesrooster en de pauzes maar zelden veranderen, kan ventilatie op grond van het lesrooster en de pauzes volstaan. Aanvullende apparatuur met een CO₂-sensor is de optimale oplossing en garandeert vaak een goede luchtkwaliteit (Dhaluin et al., 2012)

- Hybride ventilatie kan in koude klimaten een goede oplossing zijn om tocht en energieverbruik te verminderen (Steiger et al, 2012).

VELUX-dakramen zijn goed geschikt voor scholen. Voor grote zalen zijn VELUX Modular Skylights erg geschikt.

2.5.4 Bedrijfspanden

Voor grote bedrijfspanden (zoals kantoorgebouwen) gelden meer complexe eisen om de luchtkwaliteit te regelen dan voor woningen. De interne belasting (aantallen personen, computers en apparatuur) is groter dan in woningen. De gebruikers van het gebouw brengen meer tijd door op een vaste plaats (achter een bureau of in vergaderzalen) en de kleding is formeler dan in woningen. De ventilatiecapaciteit hangt vaker af van de behoefte aan koeling dan van de behoefte aan frisse lucht voor de gebruikers. Arbodiensten kunnen aan de binnenluchtkwaliteit eisen stellen die anders zijn dan voor woningen.

Kantoorgebouwen kunnen zijn ontworpen met natuurlijke, mechanische of hybride ventilatie. Als er natuurlijke of hybride ventilatie wordt gebruikt, wordt deze meestal automatisch geregeld met een centraal (BMS) systeem dat via sensoren alle services in het gebouw controleert.

In kantoorgebouwen is het belangrijk te voorkomen dat gevelramen niet zo nu en dan (door de windsnelheid en -richting) als afvoer gaan dienen. Een gangbaar ontwerp met natuurlijke of hybride ventilatie is een gebouw met een groot atrium in het midden en kantoren, vergaderzalen enzovoort langs de gevels. Gevelramen zijn bedoeld voor de luchttoevoer. Het dak van het atrium heeft een groot oppervlak met ramen die open kunnen en functioneren als afvoer.

VELUX Modular Skylights zijn ontworpen voor gebruik in dit soort gebouwen en presteren goed als afvoeropeningen in het dak van een atrium.

2.6 Middelen en berekeningsmethoden

De kwaliteit van binnenlucht hangt af van de toegevoerde hoeveelheid vervuilende stoffen, hun chemische interactie, de verdunning van deze stoffen door ventilatie en de resulterende effecten op de IAQ (de menselijke gezondheid of waargenomen luchtkwaliteit). IAQ staat voor 'Indoor Air Quality', ofwel binnenluchtkwaliteit. Wat deze effecten zijn is in grote mate onduidelijk of onbekend. De IAQ wordt meestal gedefinieerd aan de hand van een specifieke luchtstroomcapaciteit of IAQ-indicatoren

(zie paragraaf 2.2.2). De meeste hulpmiddelen om de IAQ te bepalen, zijn daarom gebaseerd op de ventilatiecapaciteit. De luchtstroomcapaciteit kan worden omgezet in IAQ-indicatoren zoals CO₂-gehalten door een veronderstelde toevoercapaciteit van bijvoorbeeld CO₂ en de verdunning door ventilatie met elkaar te combineren.

De algemene berekeningsmethodes voor natuurlijke ventilatie zijn gedetailleerd en berusten op gegevens over de locatie en plaats/grootte van de raamopeningen, de lokale windsnelheid, de lokale windrichting en de indeling en het interieur van het gebouw. Omringende gebouwen en het lokale landschap beïnvloeden de windsnelheid en -richting. Op grond van deze gegevens worden de drukverschillen tussen elke raamopening bere-

kend en kan de resulterende luchtstroom tussen elke opening en door het hele gebouw worden bepaald. Eenvoudige voorbeelden van de algemene berekeningsmethodes zijn beschikbaar voor specifieke bouwontwerpen, zoals raamopeningen die alleen aan twee tegenovergestelde zijden van een gebouw zijn aangebracht.

De algemene methodes worden beschreven in verschillende richtlijnen (AIVC, 1996; SBI 202; CIBSE AM 10, 2005). Ze worden ook gebruikt in een aantal gedetailleerde simulatiehulpmiddelen voor gebouwen, zoals IDA-ICE, de VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC), TRNSYS, EnergyPlus, IES VE, etc. De VELUX EIC Visualizer is gebaseerd op de meest geavanceerde methodes om de ventilatiestroom door ramen te evalueren en illustreren en kan ook door leken worden gebruikt.

De vereenvoudigde methodes voor de berekening van natuurlijke ventilatie waren oorspronkelijk erg behoudend en hielden maar in beperkte mate rekening met het volledige potentieel van natuurlijke ventilatie. Er wordt gewoonlijk een 'worst-case'-scenario gehanteerd waarin wordt uitgegaan van alleen enkelzijdige ventilatie, wat leidt tot een zware onderschatting van de werkelijke ventilatiecapaciteit. Het Franse instituut CSTB heeft echter een vereenvoudigde berekeningsmethode ontwikkeld om koeling met natuurlijke ventilatie te

$\Delta T=0$	Luchtverversingscapaciteit per uur						
Windsnelheid [m/s]	0	1	2	2,9	5	6	10
EN 15242 ($\Delta T=0$)	1,2	1,3	1,5	1,7	2,3	2,6	4,1
RT 2012+ ($\Delta T=0$)	0	1,2	2,4	3,4	5,9	7,1	12
RT 2012+, Uniform gebied ($\Delta T=0$)	0	3,2	6,4	9,4	16	19	32
BS 5925:91 ($\Delta T=0$)	0	1,6	3,1	4,5	7,8	9,4	16
Metingen ($\Delta T=0$)				11			

Afbeelding 2.20 Gemeten en berekende ACH voor specifieke situaties in MAL.

evalueren. De methode is in 2014 geïmplementeerd in de Franse bouwverordening voor zomercomfort.

Zoals blijkt uit de volgende tabel, zijn er enorme verschillen afhankelijk van de gebruikte berekeningsmethode.

2.6.1 VELUX energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC)

EIC Visualizer is gebaseerd op het IDA ICE simulatiemodel. In dit model worden de luchtstroom en thermische simulaties aan elkaar gekoppeld. Dit is belangrijk voor evaluaties van de effecten van raamopeningen, natuurlijke ventilatie en zonnewering. Het IDA ICE-model is gevalideerd tegen de belangrijkste Europese validatieprotocollen.

Ventilatiesystemen in EIC Visualizer kunnen natuurlijk, mechanisch of een combinatie van beide (hybride) zijn. Warmteterugwinning kan worden gebruikt met mechanische en hybride ventilatie. Het hulpmiddel voert een berekening uit van natuurlijke luchtstromen, waarbij rekening wordt gehouden met infiltratie via de bouwconstructie en gecontroleerde natuurlijke ventilatie via de ramen. De luchtstroom van het mechanische systeem wordt inbegrepen in de totale ventilatiecapaciteit van het gebouw. Het mechanische systeem kan alleen een afvoer- of gebalanceerd systeem zijn, met of zonder warmteterugwinning.

De ventilatie kan worden geregeld op grond van een van de volgende twee algemene strategieën: handmatige

regeling of regeling op grond van behoefte. Het systeem kan op grond van de buitentemperatuur automatisch tussen beide modi overschakelen, wat garandeert dat altijd de meest energie-efficiënte ventilatiemodus wordt gebruikt. De handmatige regelaars voor natuurlijke ventilatie bootsen het gewone gebruik van ramen als bron van natuurlijke ventilatie na. Vraag-gestuurde ventilatie is gebaseerd op CO₂ als indicator van luchtkwaliteit. Er wordt gebruik gemaakt van de categorieën en bijbehorende

CO₂-gehalten die zijn vastgelegd in EN 15251 (cat. I: 750 ppm, cat. II: 900 ppm, cat. III: 1200 ppm).

Het gebruik van zonneschermen wordt geregeld op grond van de binnentemperatuur en heeft als doel oververhitting te voorkomen. De VELUX-energiebalans- en VELUX ACTIVE-regelsystemen kunnen direct in het hulpmiddel worden gebruikt. Ga voor meer informatie naar eic.velux.com (Foldbjerg, Asmussen, Roy et al., 2012).

2.7 Bouwverordeningen en -standaarden

Bouwverordeningen

In de meeste landen zijn in de bouwverordeningen de vereisten van de IAQ opgenomen in de vorm van een minimaal vereiste buitenluchtstroom door een gebouw. Deze vereisten kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt, bijv. als:

- Luchtverversing per uur (ACH)
- Luchtstroom per eenheid vloeroppervlak ($\text{l/s} \cdot \text{m}^2$)
- Luchtstroom per persoon ($\text{l/s} \cdot \text{pers}$)

De reglementaire vereisten voor ventilatiecapaciteit in woningen zijn meestal gebaseerd op de vochtbalans van het gebouw. Alle vochtigheid die binnen het gebouw wordt voortgebracht, moet worden afgevoerd door de ventilatie om beschadiging van de constructie door rotten of schimmelvorming en nadelige gevolgen daarvan voor de gezondheid te voorkomen. In veel landen wordt in de bouwverordening voor woningen een ventilatiecapaciteit van circa 0,5 ACH geëist.

Een vaste luchtstroomcapaciteit is met natuurlijke ventilatie moeilijk te garanderen omdat deze afhankelijk is van de weersomstandigheden buiten. Om te komen tot een eenvoudige manier om

natuurlijke ventilatie in gebouwen op te nemen, wordt de vereiste voor een specifieke luchtverversingscapaciteit in Denemarken uitgedrukt als een specifiek openingsoppervlak naar buiten. Het vereiste oppervlak hangt af van het gebruik en de grootte van de vertrekken. De openingen in woonkamers, slaapkamers enz. voeren frisse lucht naar het gebouw aan, terwijl natuurlijke afvoeleidingen de 'gebruikte lucht' naar buiten afvoeren uit natte ruimtes zoals toiletten, badkamers en keukens.

IAQ-indicatoren zijn een andere manier om met (geautomatiseerde) natuurlijke ventilatie een bepaald IAQ-niveau te bereiken. Helaas zijn bijna alle bouwreglementen voor woningen gebaseerd op een vaste minimale luchtstroomcapaciteit, waarbij IAQ-indicatoren alleen kunnen worden gebruikt voor een grotere ventilatiecapaciteit.

Normen:

In nationale normen en richtlijnen worden diverse criteria en IAQ-niveaus en verschillende berekeningswijzen voor natuurlijke ventilatie beschreven.

Criteria voor de beoordeling van het binnenmilieu, het ontwerp en de energieprestaties worden beschreven in EN 15251. Deze standaard bevat criteria voor de thermische omgeving, de binnenluchtkwaliteit, de verlichting en de akoestiek.

Er zijn verschillende manieren opgenomen om de IAQ-criteria te beschrijven via de luchtstroomcapaciteit of IAQ-indicatorniveaus op grond van het gewenste gebruik en comfort. De criteria zijn onderverdeeld in vier klassen. Klasse I stelt zeer hoge prestatie-eisen en is bedoeld voor personen met speciale behoeften. Klasse IV stelt de laagste prestatie-eisen en is alleen acceptabel voor korte periodes. Er zijn een paar uitgangspunten om de juiste luchtstroomcapaciteit te bepalen:

- Op grond van gezondheid via criteria gebaseerd op de impact van ventilatie op onze gezondheid
- Op grond van waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen (personen die een bezet vertrek van buiten binnenkomen)
- Op grond van waargenomen luchtkwaliteit voor aangepaste personen (personen die langere tijd in hetzelfde vertrek blijven)

- Op ervaring gebaseerde vereisten waarvan wordt gedacht dat deze zorgen voor een acceptabel vochtigheidsniveau bij normaal gebruik van het huis

De vereiste luchtstroomcapaciteit is voor aangepaste personen heel anders dan voor niet-aangepaste. Er is ook een groot verschil tussen de op gezondheid gebaseerde benadering en de waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen. Het gebruik van de criteria voor waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen leidt tot de grootste ventilatiecapaciteit: bijna twee keer zo groot als voor aangepaste personen. EN 15251 bevat voorbeelden van de luchtstroomcapaciteit voor aangepaste en niet-aangepaste personen.

Voor woningen is het redelijk aan te nemen dat de mensen zijn aangepast aan de binnenlucht en dat de luchtstroomcapaciteit op die grond kan worden bepaald (of volgens de aanpak die op gezondheid is gebaseerd).

	Normen, richtlijnen
Vereenvoudigde berekeningsmethoden	EN 15242:2009, prEN 15242:2015, DIN 1946-6
Gedetailleerde berekeningsmethoden	BS 5925:1991, AIVC, CIBSE AM 10, SBI 202

Voor kantoorgebouwen, restaurants winkels enz., waarin mensen voortdurend ruimtes binnenkomen en verlaten, is het redelijk aan te nemen dat de mensen niet-aangepast zijn.

De criteria voor IAQ in EN 15251 zijn hoofdzakelijk gebaseerd op onderzoeken naar waargenomen luchtkwaliteit in kantoren. De IAQ in woningen is echter veel minder onderzocht. De reglementaire vereisten voor ventilatiecapaciteit in woningen zijn dus meestal gebaseerd op een vochtbalans van het gebouw.

De effecten die ventilatie op de gezondheid heeft, zijn alleen in beperkte mate onderzocht. Er zijn echter een paar aanwijzingen dat een minimale totale luchtstroomcapaciteit van 4 l/s om gezondheidsredenen altijd moet worden gerespecteerd. Deze waarde wordt in EN 15251 aanbevolen als de minimale ventilatiecapaciteit.

Voor vereenvoudigde berekeningsmethodes is enkelzijdige natuurlijke ventilatie opgenomen in EN 15242:2009. De gereviseerde versie van deze standaard (gepland voor 2015) zal naar verwachting alle soorten natuurlijke ventilatie betreffen. Voor gedetailleerde berekeningsmethoden worden alle soorten natuurlijke ventilatie behandeld in de beschreven documenten.

Ventilatie



Ventilatie

Ventilatie heeft als doel lucht in gebouwen te ververset om een goede luchtkwaliteit en thermisch comfort te bereiken en handhaven. Ventilatie heeft ook belangrijke psychologische kanten, die tot uiting komen in de behoefte om de ventilatie onder controle te hebben, te beschikken over geurbeheer en een link met de natuur te hebben.

2.1 Binnenluchtkwaliteit

2.1.1 Het bereiken van een goede binnenluchtkwaliteit

90% van onze tijd brengen we binnenshuis door. Daarom is het essentieel goed te begrijpen wat de kwaliteit is van de lucht die we binnen inademen. De binnenluchtkwaliteit wordt beïnvloed door de vorming van vervuilende stoffen binnen, maar hangt ook af van de buitenlucht rond het gebouw. De binnenluchtkwaliteit is erg belangrijk voor onze gezondheid en ons comfort. De luchtkwaliteit staat voortdurend onder druk omdat gebouwen steeds beter worden geïsoleerd en er veel nieuwe materialen worden gebruikt die schadelijke stoffen kunnen afgeven.

Binnenluchtkwaliteit heeft ook te maken met perceptie. Een goede binnenluchtkwaliteit kan worden gedefinieerd als lucht die vrij is van vervuilende stoffen die irritatie, ongemak of een slechte gezondheid voor de bewoners veroorzaken (AIVC, 1996). Voor verschillende vertrekken gelden meestal verschillende ventilatie-eisen. In slaapkamers worden er bijvoorbeeld meer bio-effluenten en CO₂ uitgestoten dan in keukens of woonkamers. Daarom kan vraaggestuurde ventilatie die is gebaseerd op het type vertrek, een goede manier zijn om de juiste binnenluchtkwaliteit te handhaven.

De kwaliteit van de binnenlucht beïnvloedt onze gezondheid op verschillende manieren (Sundell, 2004a):

- Comfort: een goede luchtkwaliteit wordt onmiddellijk opgemerkt door iedereen die een gebouw binnenkomt.
- Gezondheid: het inademen van binnenlucht van slechte kwaliteit kan negatieve gevolgen voor de gezondheid hebben.
- Prestaties: binnenlucht van hoge kwaliteit kan de mentale prestaties en het algehele welzijn verbeteren.
- Overig: frisse lucht schept een band met de buitenwereld en frisse lucht die via de ramen binnenkomt, is een gewaardeerd aspect van ventilatie.

Algemeen gesproken zijn er drie manieren om een goede binnenluchtkwaliteit te bewerkstelligen, zoals hierna verder wordt uitgelegd (Nazaroff, 2013):

- De emissies binnenshuis minimaliseren (bronnenbeheer)
- De lucht droog houden (vochtigheidsbeheer)
- Goed ventileren

Bronnenbeheer

Sommige activiteiten leiden tot extreme emissies binnenshuis. Dat veroorzaakt kwaliteitsverlies omdat een goede binnenluchtkwaliteit alleen kan worden gegarandeerd als 'ongecontroleerde emissies binnenshuis tot een minimum worden teruggebracht'. Binnenlucht bevat veel verschillende (en ongewenste) bestanddelen zoals (Bluyssen, 2009):

- Gassen: bijv. formaldehyde, organische chemicaliën (VOS) en anorganische chemicaliën (NO_x , SO_x etc.).
- Deeltjes: bijv. stof en verbrandingsproducten.
- Radioactief gas: radon.
- Biologisch: bijv. schimmel, pollen en stofmijten.
- Waterdamp (vochtigheid).

De meeste vervuilende stoffen zijn afkomstig van bronnen binnenshuis. Het gaat om (Bluyssen, 2009):

- Mensen en hun activiteiten: bijv. tabaksrook, reinigingsproducten, producten voor persoonlijke verzorging, consumentenelektronica en elektrische kantoorapparatuur zoals laserprinters.
- Bouwmaterialen: bijv. warmte-isolatie, spaanplaat, verf, meubels en vloer-/wandbedekking.
- Bronnen van buiten: bijv. pollen, verkeer en industrie. Radon komt van nature voor in de grond en dringt via de vloer in huizen binnen.

De binnenluchtkwaliteit wordt niet alleen beïnvloed door de vorming van vervuilende stoffen binnenshuis. De kwaliteit van de buitenlucht speelt ook een rol. Deeltjes worden direct uitgestoten in de lucht (primaire deeltjes) of in de atmosfeer gevormd op grond

De menselijke factoren	Bereiken van thermisch comfort	
	Verwijderen van chemicaliën, deeltjes, luchtjes, allergenen, schimmel	
	Scheppen van een link met de buitenwereld	
	Vermijden van allergieën, astma en andere ziektes	Minder ziektes door een goede luchtkwaliteit
	Ondersteunen van productiviteit en een gevoel van welzijn	Hogere productiviteit door een goede luchtkwaliteit

Afbeelding 2.1. De belangrijkste redenen om te ventileren

van gasprecursoren zoals zwaveldioxide (SO_2), ammoniak (NH_3) etc. (secundaire deeltjes) (WHO, 2013). Primaire deeltjes wordt uitgestoten door bijvoorbeeld verbrandingsmotoren (diesel en benzine). De deeltjes verspreiden zich in de buitenlucht en kunnen uiteindelijk in gebouwen doordringen en dus de kwaliteit van de binnenlucht aantasten. Het is bewezen dat de kwaliteit van de omgevings- of buitenlucht beter wordt. De luchtvervuiling in steden is in de afgelopen decennia minder geworden door de introductie van milieuzones, filters in dieselloertuigen en auto's die minder vervuילend zijn.

Deeltjes hebben verschillende groottes (ultrafijn, fijn en grof). De grootte bepaalt hoe deeltjes zich binnen en buiten gebouwen verspreiden. De grootte van de deeltjes en hun chemische samenstelling spelen een belangrijke rol wat betreft de gevolgen voor uw gezondheid. Fijne en grove deeltjes worden gemeten naar hun gewicht in μg per m^3 , terwijl ultrafijne deeltjes worden gemeten in aantal per cm^3 .

Fijne deeltjes (ook wel aangeduid als $\text{PM}_{2.5}$) kunnen zich over duizenden kilometers en over landsgrenzen heen verplaatsen, terwijl grove deeltjes (ook wel aangeduid als PM_{10}) zich alleen over kortere afstanden van maximaal 100 km verplaatsen (Schmidt, 2003). Ultrafijne deeltjes worden vooral voortgebracht door dieselmotoren, zijn lokaal geconcentreerd en verspreiden zich

alleen over korte afstanden. De verspreiding ervan neemt hoger boven de straat en in woonbuurten ver van drukke wegen af. Er zijn niet veel literatuurstudies naar het verschil in hoeveelheden deeltjes tussen het platteland, gebieden met een stedelijke achtergrond en straten binnen de stad. Bijvoorbeeld uit metingen die in 2012 in Denemarken zijn verricht, blijkt dat het percentage fijne deeltjes ($\text{PM}_{2.5}$) tegen een stedelijke achtergrond 10% hoger is en in straten binnen een stad 40% hoger is dan op het platteland (Ellerman et al., 2014).

Er moet rekening worden gehouden met andere vervuïlingsbronnen van de binnenlucht, samen met manieren om die bronnen te controleren.

De lucht droog houden
(vochtigheidsbeheer)

Vochtigheid in gebouwen wordt geassocieerd met een grotere kans op ademhalingsproblemen (Bomehag et al., 2001). Het is belangrijk de relatieve vochtigheid binnenshuis op een redelijk niveau te houden de kans op schimmel en condens in de constructie te beperken. Ventilatie en bronnenbeheer kunnen daar beide bij helpen. Douchen, koken of een avond met gasten verhogen de vochtigheid in huis. Deze vochtigheid moet worden afgevoerd met ventilatie, bij voorkeur bij de bron (bijv. met een afzuigkap).



Langebjerg-school.

» Vooral kinderen zijn erg gevoelig voor een slechte luchtkwaliteit «

Goed ventileren

Ventilatie is een goede manier om in gebouwen een goede binnenluchtkwaliteit te bewerkstelligen omdat vervuiling daarmee wordt afgevoerd of verdund. Omdat nieuwere gebouwen luchtdichter en beter geïsoleerd zijn, is er steeds meer aandacht voor natuurlijke of mechanische ventilatiesystemen om een goede kwaliteit van de binnenlucht te waarborgen.

Ventilatie is een compromis tussen energieverbruik, gezondheid en kosten. Teveel ventilatie leidt in koude landen tot een hoger energieverbruik en tocht, terwijl te weinig ventilatie leidt tot een slechtere kwaliteit van de binnenlucht en gezondheidsproblemen kan veroorzaken. Luchten door de ramen 's ochtends, 's middags en vóór het slapen gaan te openen met timers of sensors, kan bijdragen aan een betere binnenluchtkwaliteit in huis.

2.1.2 Indicators binnenluchtkwaliteit

Zoals eerder gezegd, binnenlucht bevat veel vervuiling. Er is een jarenlange discussie over wat de meest geschikte indicator voor de binnenluchtkwaliteit is. Kooldioxide (CO₂) is vermoedelijk de meest gebruikte indicator. Hiervoor wordt de CO₂ gemeten die afkomstig is uit de ademhaling van mensen en apparaten zoals fornuizen en boilers (CIBSE, 2011). Andere indicatoren zijn vochtigheid en vluchtige organische stoffen (VOS), die beide als indicator voor binnenluchtkwaliteit kunnen worden gebruikt.

CO₂ als indicator van luchtkwaliteit

CO₂ is een goede indicator van de binnenluchtkwaliteit in huizen, waar de bewoners en hun activiteiten de belangrijkste vervuilingsbron zijn. Buitenlucht bevat ongeveer 400 ppm en ademen brengt CO₂ voort. Daarom is het CO₂-gehalte binnenshuis altijd minimaal 400 ppm en meestal meer. Een CO₂-niveau binnenshuis van 1150 ppm komt overeen met een adequate luchtkwaliteit, 1400 ppm is goed in de meeste situaties en 1600 ppm wijst op een slechte luchtkwaliteit (CEN, 2007; Active House Alliance, 2013). CO₂ is het meest relevant als indicator in vertrekken waar de behoefte aan ventilatie is gekoppeld aan de aanwezigheid van personen, zoals slaapkamers, kinderkamers, woonkamers, eetkamers, klaslokalen en kantoren.

Vochtigheid als indicator van luchtkwaliteit

De relatieve vochtigheid binnen wisselt in de loop van het jaar al naar gelang de vochtigheid buiten. Een erg vochtige binnenlucht kan leiden tot meer stofmijten in huis. In landen met erg koude winters moet de relatieve vochtigheid daarom 's winter onder de 45% worden gehouden (Richardson et al, 2005). Over het algemeen moet een hoge relatieve vochtigheid worden vermeden om de kans op schimmelgroei te beperken en negatieve gevolgen voor de gezondheid zoals astma en allergieën te voorkomen (Liddament, 1996).

Omdat vochtigheid wordt gezien als de belangrijkste vervuiler in huizen, kan het belangrijk zijn het vochtigheidsgehalte binnen in het oog te houden. In sommige vertrekken kan dit worden gemeten via de relatieve vochtigheid, maar in meer geavanceerde systemen kan het verschil in vochtigheid tussen de binnen- en buitenlucht worden gemeten en als indicator worden gebruikt.

Het meten van relatieve vochtigheid gebeurt al vele jaren en is een standaard-procedure. 's Zomers is de vochtigheid binnen gewoonlijk hoog en 's winters lager. Als er in de zomer en winter evenveel wordt geventileerd, zal de relatieve vochtigheid binnen in beide seizoenen volledig anders zijn. Een vaste relatieve vochtigheid als indicator voor de binnenluchtkwaliteit heeft daarom een paar beperkingen en is vooral nuttig in natte ruimtes waar een zeer hoge vochtigheid moet worden voorkomen. Relatieve vochtigheid is een erg relevante indicator in badkamers en keukens.

In termen van absolute vochtigheid is het verschil tussen de vochtigheid binnen en buiten mogelijk de beste indicator, hoewel er dan wel sensors binnen en buiten nodig zijn. In dit geval is een verschil van 3,5 g waterdamp per m³ lucht een redelijk niveau en kan dit verschil het hele jaar door worden gebruikt om te controleren of de vochtigheidsproductie in huis goed is uitgebalanceerd ten opzichte van de ventilatie-

capaciteit. Omdat het meten van het verschil in absolute vochtigheid niet standaard is, zijn er weinig producten op de markt om dat te doen.

VOS als indicator van luchtkwaliteit

Vluchtige organische stoffen (VOS) zijn gemakkelijk verdampende stoffen die bestaan uit een mengsel van veel verschillende chemicaliën, zoals benzeen, formaldehyde en trichloorethyleen (TCE). Het effect op mensen gaat van het ruiken van een onaangename geur tot ernstige ziektes zoals kanker.

Er zijn twee soorten VOS-sensors op de markt. De eerste meet de feitelijke VOS in de lucht en registreert luchtjes, kook- en rookdamp en oplosmiddelen. De andere soort legt een verband tussen het VOS-gehalte en het CO₂-gehalte afkomstig van menselijke activiteit waardoor ook VOS worden voortgebracht. In combinatie met de mogelijkheid om geuren te detecteren, kan dit feit ertoe leiden dat VOS-sensors gaan uitgroeien tot een alternatief voor CO₂ als indicator voor luchtkwaliteit, eens te meer omdat VOS-sensors ook goedkoper zijn.

Het is vaak lastig om de limietwaarden te bepalen van VOS, waarvan vooral in wetenschappelijke kringen gebruik wordt gemaakt. VOS-sensors die een verband leggen met CO₂-niveaus, kunnen echter een goed alternatief zijn voor bestaande CO₂-sensors die menselijke aanwezigheid in gebouwen evalueren.

2.1.3 Gezondheid

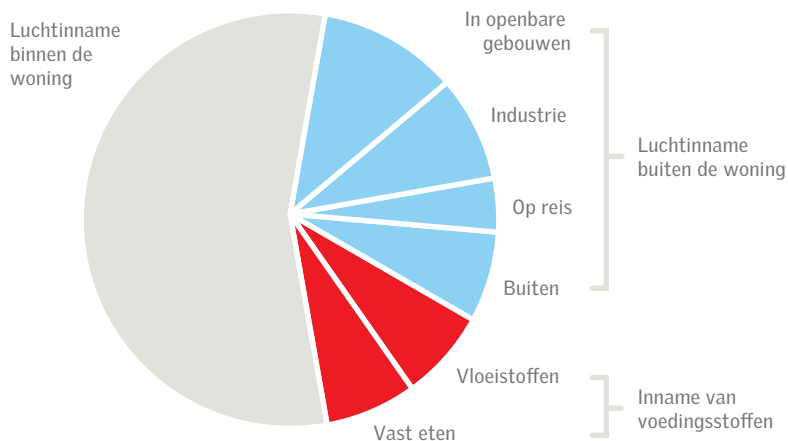
Om de rol van binnenlucht voor onze gezondheid goed te begrijpen, is het nuttig te beseffen hoeveel lucht we elke dag inademen. Een gemiddelde persoon verbruikt 2 kg voedsel en water per dag, maar ademt 15 kg lucht in (12.000 liter). Lucht is dus erg belangrijk voor onze gezondheid (Nilsson, 2008).

We brengen 90% van onze tijd binnen door. De meeste lucht die we inademen is daarom afkomstig uit het binnenmilieu. En we brengen veel tijd in huis door. 55% van de totale hoeveelheid voedsel, water en lucht die we in ons leven binnenkrijgen, bestaat uit binnenlucht in ons huis. Zie afbeelding 2.2 (Sundell, 2004b).

De individuele of gecombineerde effecten op de menselijke gezondheid

van veel bestanddelen die in binnenlucht voorkomen, worden nog niet volledig begrepen. Er is echter belangrijk wetenschappelijk onderzoek waaruit blijkt dat de kwaliteit van binnenlucht veel invloed heeft op de gezondheid van mensen in gebouwen.

Professor Jan Sundell van het International Centre for Indoor Environment and Energy van de Technische Universiteit van Denemarken (de DTU) zegt dat "we niet veel weten van causatieve agentia in de binnenlucht. Maar er komt steeds meer bewijs dat de omgeving binnen, met name vochtigheid en inadequate ventilatie, een belangrijke rol speelt voor de volksgezondheid en dat de economische voordelen van het verbeteren van het binnenmilieu binnen veel groter zijn dan de kosten.



Afbeelding 2.2 55% van de totale inname aan lucht bestaat uit binnenlucht afkomstig uit onze woning (Sundell, 2004b).

» Vermijd hoge vochtigheidsniveaus om een gezond binnenmilieu te garanderen «

Vooraf in Noord-Europa komen astma en allergieën steeds vaker bij kinderen voor. Dit verschijnsel is onderzocht door artsen en wetenschappers die in het binnenmilieu zijn gespecialiseerd. In één studie is de aanwezigheid van deze ziektes bij Zweedse dienstplichtigen onderzocht.

Tussen de jaren '50 en de jaren '80 is het aantal mensen met ziektes zoals astma en een allergie (aanwezigheid) sterk gestegen (zie afbeelding 2.3). Deze ontwikkeling is te snel gegaan om alleen door genetische veranderingen te kunnen worden verklaard en moet daarom worden toegeschreven aan veranderingen in het milieu. Er is geen direct verband gevonden met de binnenluchtkwaliteit, maar de meeste onderzoekers onderkennen dat er een verband is (Bråbäck et al., 2004).

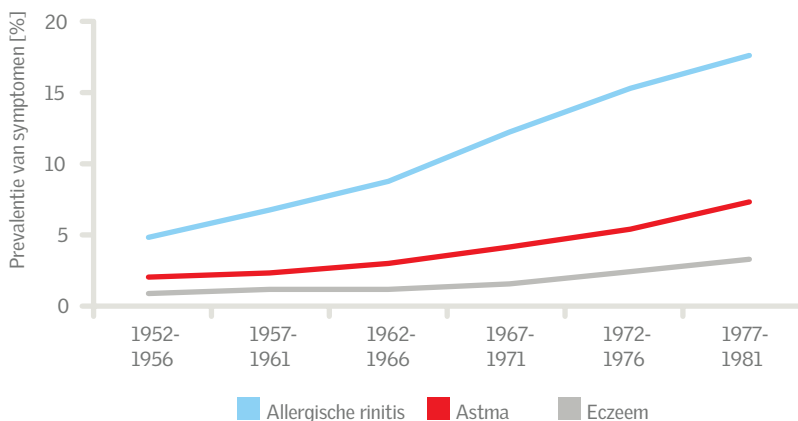
Om het belang van gezonde binnenlucht te benadrukken heeft de Wereldgezond-

heidsorganisatie (WHO) een serie verklaringen over 'Het recht op gezonde binnenlucht' aangenomen (WHO, 2000).

Sick Building Syndrome

De term Sick Building Syndrome (SBS) wordt gebruikt voor situaties waarin bewoners van een gebouw acute gezondheidsproblemen en ongemakken ondervinden, die te maken lijken te hebben met de tijd die in een gebouw wordt doorgebracht, maar waarvoor geen concrete aandoening of oorzaak te vinden is. De klachten kunnen zijn beperkt tot een bepaalde ruimte of zone of het hele gebouw betreffen (Franchi et al. 2004).

Symptomen van deze problemen zijn onder andere hoofdpijn, irritatie van ogen, neus of oren, hoesten, jeuk, vermoeidheid en concentratieproblemen. Deze symptomen zijn gedefinieerd als



Afbeelding 2.3 De aanwezigheid van allergieën, astma en eczeem bij Zweedse dienstplichtigen (jonge mannen die in dienst bij het leger gaan) (Bråbäck et al, 2004)

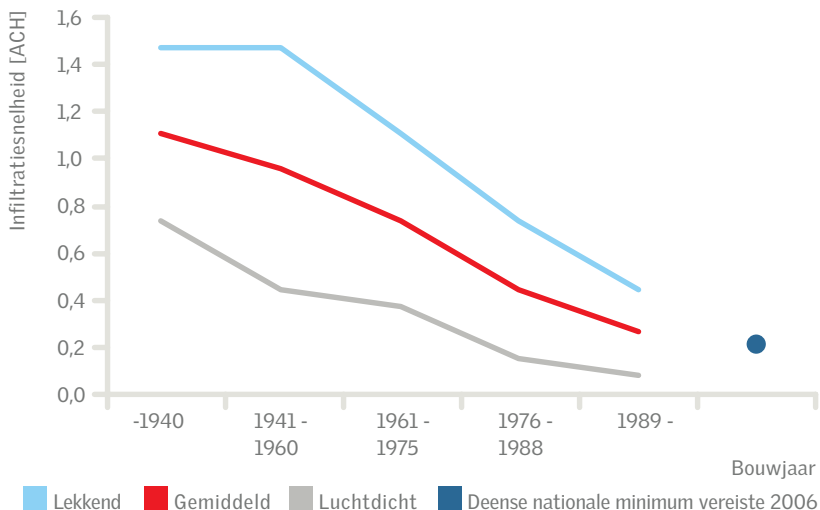
SBS-symptomen en volgens de WHO komen ze voor in 15-50% van alle gebouwen (Krzyanowski, 1999). Uit een overzicht blijkt dat in gebouwen met airconditioning de kans op SBS 30-200% groter is dan in natuurlijk geventileerde gebouwen (Seppänen en Fisk, 2002). De symptomen worden vermoedelijk veroorzaakt door een slecht binnenmilieu en kunnen worden verholpen door de luchtkwaliteit te verbeteren.

2.1.4 Verhoogde luchtdichtheid vereist ingrijpen bewoner

50-100 jaar geleden zaten er meestal lekken in huizen in het grootste deel van Europa. Daardoor bedroeg de ventilatiecapaciteit zonder open ramen

vaak minimaal één luchtverversing per uur (ACH of 'air change per hour'). Dit leidde tot hogere verwarmingskosten en daarom hebben de bouwverordeningen zich vanaf de jaren '60 gericht op het verminderen van het aantal lekken. Uit metingen blijkt dat de infiltratie is verminderd (zie afbeelding 2.4).

Infiltratie is ongecontroleerde ventilatie via lekken in een gebouw en is een maatstaf voor de luchtdichtheid van gebouwen. Een grotere luchtdichtheid gaat samen met minder energieverbruik, maar gebouwen in Noord-Europa zijn tegenwoordig vaak zo luchtdicht dat infiltratie bij lange na niet volstaat om een redelijke ventilatie en een goede



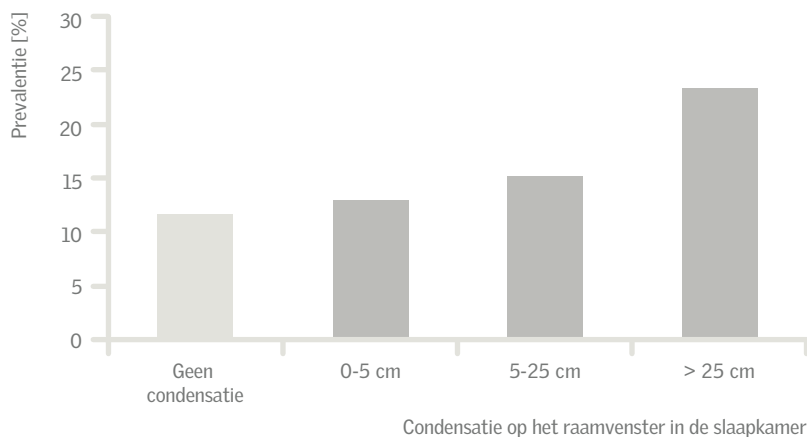
Afbeelding 2.4 De aanwezigheid van allergieën, astma en eczeem bij Zweedse dienstplichtigen (jonge mannen die in dienst bij het leger gaan)

» Gebruik VELUX INTEGRA®-dakramen voor automatische ventilatie om een gezond binnenmilieu te garanderen «

luchtkwaliteit te waarborgen. Daarom moeten de bewoners van een gebouw hun huizen goed ventileren om een goede luchtkwaliteit en een gezond binnenmilieu te garanderen. Het is belangrijk de VELUX-ventilatieklep te gebruiken om voor voldoende achtergrondventilatie te zorgen. Er moet vooral ook een paar keer per dag worden gelucht. Kinderen zijn erg gevoelig voor een slechte luchtkwaliteit, zoals uitgelegd in [paragraaf 2.1.3](#).

Vochtigheid in gebouwen kan ziektes veroorzaken

Leven of werken in een vochtig gebouw is een van de belangrijkste kwaliteitsfactoren voor binnenlucht die bijdragen aan het ontstaan van ziektes. Uit onderzoek in duizenden huizen is gebleken dat vochtige gebouwen een oorzaak kunnen zijn van aandoeningen zoals hoesten, een fluitende ademhaling, allergieën en astma. Een vochtig gebouw is een gebouw met een verhoogd vochtigheidsniveau (het precieze risiconiveau van vocht is



Afbeelding 2.5 laat zien hoeveel condens er op de binnenkant van slaapkamerramen voorkomt en hoe dit de aanwezigheid beïnvloedt van allergische rinitis bij de kinderen die in de huizen wonen (Bakó-Biró en Olesen, 2005). Het is belangrijk op te merken dat condens een indicator is van vochtigheid in de kamer. Condens op de ramen is op zich niet gevaarlijk voor de gezondheid (Wargocki, 2011).

❗ Vergeet niet:

Een gemiddeld gezin produceert 8-10 liter vocht per dag. Dat komt overeen met het dagelijks leeggieten van een volle emmer water op de vloer. Het vocht moet met een adequate ventilatie worden verwijderd om de kans op ziektes te verkleinen.

niet bekend). In afbeelding 2.5 worden de effecten van vochtige gebouwen geïllustreerd. Het laat zien dat vochtigheid samengaat met een grotere kans op allergieën (Sundell, 1999; Wargocki et al., 2001).

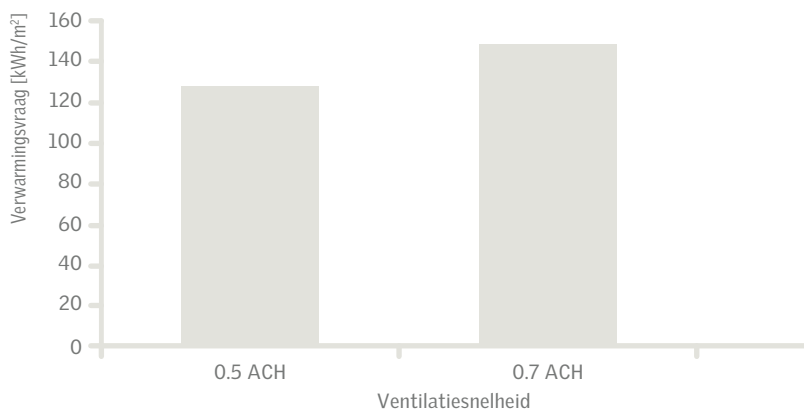
Menselijke activiteiten zoals schoonmaken, koken en baden voegen vocht toe aan de binnenlucht. Hierdoor bevat de lucht binnen meer vocht dan de

lucht buiten. De activiteiten van een gezin van vier personen voegen per dag gemiddeld tien liter water toe aan de binnenlucht (British Standard, 2002). Er is geen duidelijke wetenschappelijk verklaring van de manier waarop vochtigheid de gezondheid beïnvloedt. Het is echter welbekend dat stofmijten uitstekend gedijen in een vochtig binnenmilieu. Stofmijten zijn een bekende oorzaak van allergieën. Om dit



Voorbeeld: effect van ventilatiecapaciteit op warmtevraag.

Er wordt in Stockholm onderzoek gedaan naar een huis met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC). De vraag naar warmte wordt bepaald bij een ventilatiecapaciteit van 0,5 en 0,7 ACH. De vraag naar warmte stijgt met 21% wanneer de luchtverversing wordt verhoogd van 0,5 naar 0,7 ACH.

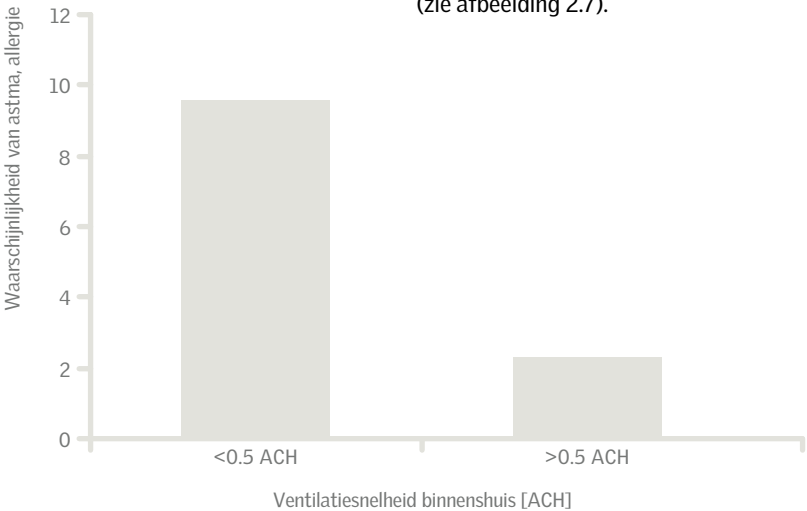


Afbeelding 2.6 De vraag naar warmte bij 0,5 en 0,7 ACH in een huis in Stockholm

risico te verkleinen, moet de relatieve vochtigheid gedurende een aantal maanden per jaar lager zijn dan 45%. De ventilatiecapaciteit is een compromis tussen de vraag naar energie en een gezond binnenmilieu. In afbeelding 2.7 zagen we dat meer ventilatie kan leiden tot een betere gezondheid. Maar meer ventilatie kan ook leiden tot hogere stookkosten in landen met een koud klimaat, zoals hierna wordt geïllustreerd.

Te weinig ventilatie kan ziektes veroorzaken

De ventilatiecapaciteit is een indicator van de frequentie waarmee de binnenlucht in een huis wordt vervangen. Als de ventilatiecapaciteit minder is dan 0,5 ACH, zoals meestal wettelijk verplicht is voor gebouwen in Noord-Europa (Mathisen et al., 2008), dan is er een grotere kans om vocht-gerelateerde aandoeningen zoals astma en allergieën te ontwikkelen (zie afbeelding 2.7).



Afbeelding 2.7 De odds ratio geeft een waarschijnlijkheid aan. De afbeelding laat zien hoe groot de kans is astma te krijgen. De kans op allergieën neemt toe in huizen met een ventilatiecapaciteit van minder dan 0,5 ACH (Öie, et al. 1999).

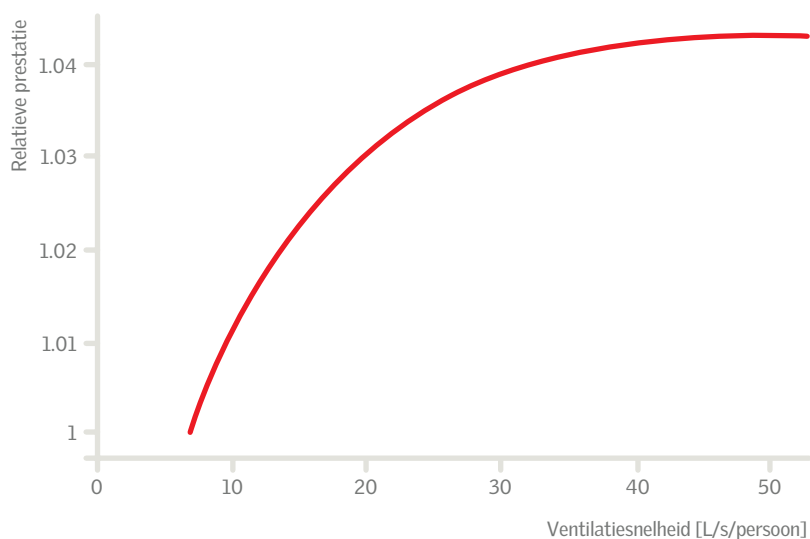
ⓘ Vergeet niet:

Een goede kwaliteit van de binnenlucht is een voorwaarde om ernstige aandoeningen zoals astma en allergieën te voorkomen, vooral bij kinderen.

2.1.5 Intellectuele prestaties en vereist ingrijpen bewoner

Uit onderzoek naar de intellectuele prestaties van medewerkers in kantoor-gebouwen en leerlingen in scholen is gebleken dat deze minder zijn bij een slechte luchtkwaliteit en omgekeerd (Seppanen en Fisk, 2006; Seppanen et al., 2009) – zie afbeelding 2.8.

Er mag worden aangenomen dat als een binnenmilieu geschikt was om productief te werken, het ook ons concentratievermogen vergroot. Thuis doen we allerlei activiteiten waarvoor we ons moeten concentreren (lezen, spelletjes doen, naar muziek luisteren) en die vermoedelijk beter gaan in een binnenmilieu dat gunstig is voor de productiviteit.



Afbeelding 2.8 De prestaties van leerlingen verbeteren wanneer de luchtkwaliteit wordt verbeterd door meer te ventileren (Seppanen et al, 2009).

2.2 Ventilatie en ventilatiesystemen

Er zijn verschillende manieren om frisse lucht een huis in te krijgen. Ventilatiesystemen kunnen natuurlijk, mechanisch of hybride (een combinatie van beide) zijn.

Er zijn twee manieren om gebouwen te ventileren of koelen: actief of passief. Actieve ventilatie/koeling verwijst naar systemen waarin mechanische componenten of andere energie verbruikende componenten (zoals airconditioningsystemen) worden gebruikt. Passieve ventilatie/koeling is een technologie of ontwerpkenmerk waarmee gebouwen worden geventileerd/gekoeld zonder energieverbruik (bijv. natuurlijke ventilatie met ramen die open kunnen).

Passieve koeling is een aanpak waarbij gebouwen zonder energieverbruik worden gekoeld. Het gaat hierbij om ten minste drie concepten:

- Zonnewering
- Thermische massa
- Koeling door ventilatie

Passieve koeltechnieken worden verder beschreven in hoofdstuk 3, Thermisch comfort.

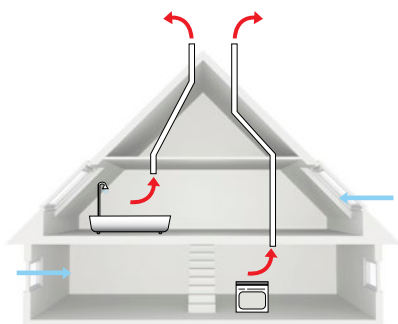
2.2.1 Natuurlijke ventilatie

Bij natuurlijke ventilatie worden krachten uit de natuur gebruikt om de lucht in het gebouw uit te wisselen. De drijvende krachten zijn wind en temperatuurverschillen, zoals verder uitgelegd in [paragraaf 2.4.1](#).

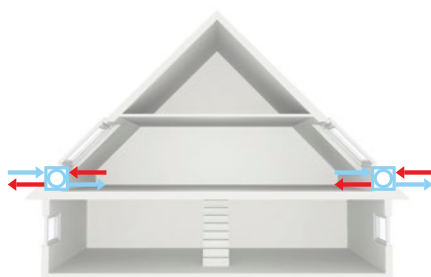
In woningen wordt lucht vaak aangevoerd via de voorgevel en wordt lucht uit bepaalde vertrekken (vaak keukens en badkamers) afgevoerd via leidingen (zie afbeelding 2.7).

De lucht kan worden aangevoerd via verse-luchtroosters in de voorgevel of via de ventilatiekleppen van VELUX-dakvensters. Er kan ook lucht binnenkomen via lekken in de voorgevel.

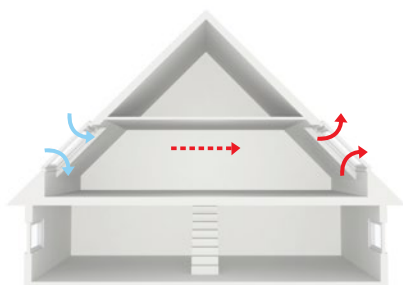
Het is belangrijk te garanderen dat het luchttoevoerpad door het gebouw doelmatig is ([zie paragraaf 2.5.1](#)).



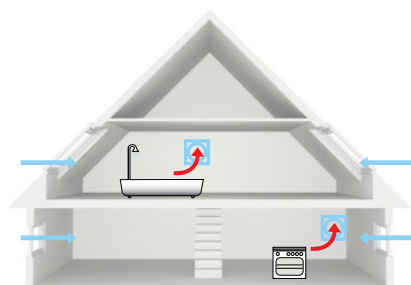
Natuurlijke ventilatie:
Achtergrondventilatie met trekleidingen



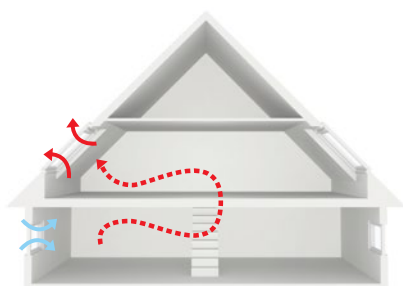
Mechanische ventilatie:
Uitgebalanceerde decentrale aan- en afvoer



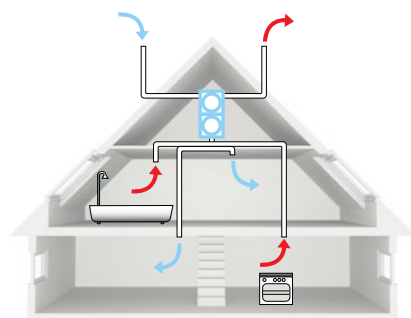
Natuurlijke ventilatie:
Dwarsventilatie met open ramen



Mechanische ventilatie:
Decentrale afvoer



Natuurlijke ventilatie:
Trekeffect met open ramen



Mechanische ventilatie:
Uitgebalanceerde centrale aan- en afvoer

Afbeelding 2.9 Veelvoorkomende natuurlijke en mechanische ventilatiesystemen

» Hybride ventilatie combineert het beste van natuurlijke en mechanische ventilatie in nieuwbouwwoningen «

2.2.2 Mechanische ventilatie

Mechanische ventilatiesystemen gebruiken elektrische ventilatoren om richting te geven aan de luchtstroom in het gebouw. Mechanische ventilatie kan een constante luchtverversingscapaciteit leveren die onafhankelijk is van de weersomstandigheden buiten, maar gebruikt elektriciteit en kan meestal niet worden aangepast aan de wisselende behoeften in de loop van een dag en een jaar.

Er zijn een paar varianten, zoals geïllustreerd in afbeelding 2.9. Systemen die lucht aan- en afvoeren, kunnen worden gecombineerd met een warmteterugwinningsapparaat waarmee de warmte van de afgevoerde lucht die anders verloren zou gaan, wordt teruggewonnen (opnieuw gebruikt). Tot 90% van de energie kan opnieuw worden gebruikt.

Nieuwbouwwoningen in veel Noord-Europese landen worden standaard steeds vaker afgeleverd met mechanische warmteterugwinningsventilatie om te voldoen aan de huidige energievereisten. Dit is een erg energie-efficiënte oplossing voor het verwarmingsseizoen (de winter). In de zomer kan er op de elektriciteit voor ventilatoren worden bespaard door een beroep te doen op natuurlijke ventilatie. Systemen die wisselen tussen natuurlijke ventilatie en mechanische ventilatie, worden hybride ventilatiesystemen genoemd. In mechanische ventilatiesystemen moeten er vaak filters worden vervangen. Vuile filters zijn een

bron van vervuiling voor de binnenlucht en tasten de kwaliteit daarvan aan. Hierdoor presteren de aanwezigen in het gebouw minder goed en komen symptomen van SBS vaker voor (Wargocki et al., 2002; Bekö, 2009).

Er is vastgesteld dat symptomen van SBS vaker voorkomen in gebouwen met airconditioning dan in natuurlijk geventileerde gebouwen (Wargocki et al., 2002). Een mechanisch ventilatiesysteem met warmteterugwinning is alleen energie-efficiënt als het gebouw perfect luchtdicht is. Als dat niet zo is, is een groot deel van de ventilatie afkomstig van infiltratie, die voorbijgaat aan de warmtewisselaar. Daarom is mechanische ventilatie met warmteterugwinning meestal alleen een energie-efficiënte oplossing voor bestaande gebouwen als ze luchtdichter worden gemaakt.

Mechanische ventilatiesystemen kunnen centraal of decentraal zijn. Centrale systemen hebben één centrale eenheid met aanvoer- en afvoerventilatoren. Als het systeem is uitgerust met een warmteterugwinningsapparaat, dan is dat opgenomen in de centrale eenheid. Er worden ventilatieleidingen geïnstalleerd die van de eenheid naar de meeste vertrekken van het huis lopen. Bij decentrale ventilatie worden geen leidingen gebruikt, maar worden kleine eenheden (soms met inbegrip van een warmteterugwinningsapparaat) geïnstalleerd in elk vertrek van het huis. Het voordeel van een dergelijk systeem is dat er geen ruimte voor leidingen nodig is.

2.2.3 Hybride ventilatie

Hybride ventilatie is een systeem waarin natuurlijke en mechanische ventilatie met elkaar worden gecombineerd.

Hybride ventilatie is een relevante oplossing voor nieuwbouwwoningen, vooral als er dakvensters beschikbaar zijn om trek te bevorderen. Er zijn een paar soorten hybride ventilatiesystemen.

Gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie

Mechanische ventilatie wordt gebruikt tijdens de verwarmingsperiode en natuurlijke ventilatie tijdens de rest van het jaar. Dit principe levert voor nieuwbouwwoningen goede energieprestaties op en werkt prima in combinatie met VELUX-dakramen.

Natuurlijke ventilatie met ventilatorassistentie

Dit principe wordt vooral toegepast in grote bedrijfspanden waarin de natuurlijke drijvende krachten in sommige periodes onvoldoende zijn. Een ventilator wordt gebruikt voor assistentie.

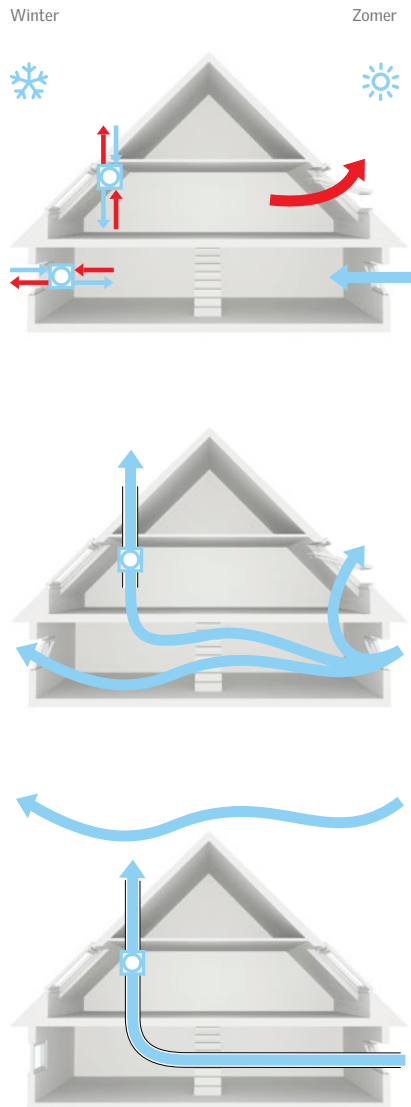
Trek- en windgeassisteerde mechanische ventilatie

Dit principe wordt vooral toegepast in grote bedrijfspanden, waarin het ventilatiesysteem leidingen bevat voor het transport van lucht en de natuurlijke drijvende krachten zorgen voor het grootste deel van de luchtstroom. Ventilatoren worden ter assistentie gebruikt.

Hybride ventilatie wordt gebruikt om het binnenmilieu te optimaliseren en de energiekosten te verlagen. Zoals eerder gezegd, wordt mechanische ventilatie met warmteterugwinning in nieuwbouwwoningen gebruikt om de verwarmingsvraag te verminderen en ervoor te zorgen dat de woning voldoet aan de energievereisten voor verwarming. Maar tijdens warme periodes is het energie-efficiënter natuurlijke ventilatie te gebruiken om het energieverbruik door de elektrische ventilatoren te verminderen.

Verder worden open ramen tijdens warme periodes op prijs gesteld door de meeste gebruikers.

Met hybride ventilatie wordt het beste van beide werelden gecombineerd: goede energieprestaties 's winters met mechanische ventilatie voor warmteterugwinning en goede prestaties 's zomers door natuurlijke ventilatie.

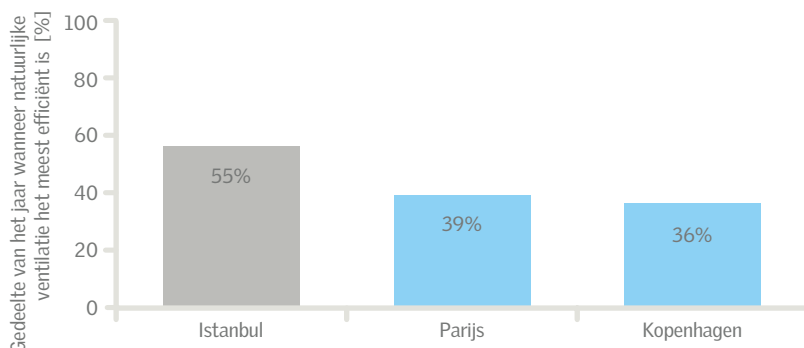


Afbeelding 2.10 Drie principes van hybride ventilatiesystemen (Heiselberg, 2002).

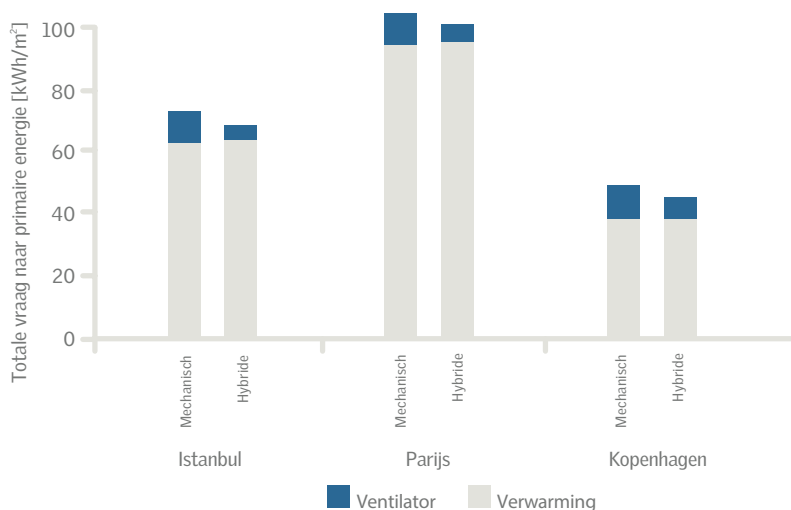
Voorbeeld: hybride ventilatie gebruiken om energie te besparen

Een voorbeeld van de hoeveelheid energie die kan worden bespaard met hybride ventilatie ten opzichte van ventilatie met mechanische warmteterugwinning

Het onderzoek wordt gedaan in gemiddelde huizen in Istanboel, Parijs en Kopenhagen. Natuurlijke ventilatie wordt gebruikt wanneer het warm genoeg is om warmteterugwinning overbodig te maken (Foldbjerg et al., 2010).



Afbeelding 2.10 In Parijs en Kopenhagen is natuurlijke ventilatie energie-efficiënter dan warmteterugwinning gedurende 36%-39% van het jaar. Voor Istanboel is dat cijfer 55%.



Afbeelding 2.12 Hybride ventilatie is energie-efficiënter dan ventilatie met mechanische warmteterugwinning in Istanboel, Parijs en Kopenhagen.

De jaarlijkse primaire energiebesparingen variëren van 3 kWh/m² in Parijs tot 5 kWh/m² in Istanboel. Dit wordt in de volgende tabel vergeleken met de maximale primaire energievraag. Er worden drie bouwperiodes onderzocht. Uit de cijfers blijkt dat de relatieve afname toeneemt van 5% voor recente gebouwen tot 9% voor een toekomstig gebouw.

	Totale maximale primaire energievraag voor een huis van 150 m ²	Relatieve vermindering bij een besparing van 4 kWh/m ² met hybride ventilatie
2005	85 kWh/m ²	5%
2010	61 kWh/m ²	7%
2015	42 kWh/m ²	9%

Afbeelding 2.12 Potentiële primaire energiebesparingen bij gebruik van hybride ventilatie in plaats van mechanische ventilatie met warmteterugwinning. Gebaseerd op de vereisten in de Deense bouwverordening (Danish Enterprise And Construction Authority, 2010)

In nieuwbouwwoningen kan hybride ventilatie een erg kostenefficiënte oplossing zijn om de vraag naar energie te verlagen en te zorgen dat de woning voldoet aan de energievereisten.

Om de energievraag te verlagen kan als alternatief voor hybride ventilatie ook gebruik worden gemaakt van extra isolatie, zonne-energie enz., maar dat kunnen duurdere oplossingen zijn.

❗ Vergeet niet:

Hybride ventilatie is energie-efficiënter dan mechanische ventilatie met warmteterugwinning omdat er 's zomers minder elektriciteit wordt gebruikt.

2.2.4 Vraaggestuurde ventilatie

In werkelijkheid verandert de behoefte aan ventilatie voortdurend en moet er meer worden geventileerd tijdens koken

en schoonmaken of wanneer er veel mensen in huis zijn. Wanneer er overdag niemand thuis is, is er minder behoefte aan ventilatie.

Voorbeeld: effect van luchtverversingscapaciteit op luchtkwaliteit

Er wordt in Londen onderzoek gedaan naar een huis met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC).

Het huis wordt bewoond door vijf personen en heeft een intern vloeroppervlak van 175 m².

Het CO₂-gehalte wordt bepaald voor twee luchtverversingswaarden: 0,3 ACH en 0,5 ACH.

	Gemiddeld CO ₂ -gehalte	Gemiddelde relatieve vochtigheid in december, januari en februari
0,5 ACH	728 ppm (erg goed)	42% (goed)
0,3 ACH	943 ppm (net acceptabel)	59% (te hoog)

Uit de resultaten blijkt dat bij 0,5 ACH, het CO₂-gehalte lager is dan 750 ppm, wat wijst op een zeer goede luchtkwaliteit. Bij 0,3 ACH is het CO₂-gehalte hoger dan 900 ppm, wat aangeeft dat de luchtkwaliteit net aanvaardbaar is voor bestaande gebouwen en voor verbetering vatbaar is. Bij 0,5 ACH is de relatieve vochtigheid 42% in de wintermaanden, tegen 59% bij 0,3 ACH. De aanbevolen relatieve vochtigheid voor dit deel van het jaar is minder dan 45%. Dat wordt gehaald bij 0,5 ACH. Bij 0,3 ACH is de relatieve vochtigheid echter te hoog, wat de kans op schimmelgroei en vochtgerelateerde aandoeningen vergroot.

In het onderzochte huis is de luchtkwaliteit erg goed bij een ventilatiecapaciteit van 0,5 ACH en slecht bij 0,3 ACH.

❗ Vergeet niet:

In woningen kan de ventilatiecapaciteit worden geregeld op grond van het vochtigheidsniveau en het CO₂-gehalte. De feitelijke behoefte aan ventilatie verandert voortdurend en vraaggestuurde ventilatie is het beste compromis tussen luchtkwaliteit en energieverbruik.

» Ramen openen is meer dan ventilatie – het openen van een raam schept een band met de buitenwereld en is een symbool van genegenheid voor uw gezin «

2.3 Frisse lucht van buiten

Naast kwesties van strikt technische aard, spelen er veel andere belangrijke kwesties in de ventilatiewetenschap. Toegang tot ventilatie is een basis-behoefte van de mens. Uit wetenschappelijk werk blijkt dat ventilatie via ramen of met 'frisse lucht van buiten' niets te maken heeft met 'fris' of 'lucht', maar eerder met het scheppen van een 'goed binnenmilieu'. En dat heeft uiteraard met veel meer te maken dan frisse lucht.

De verschillende aspecten van frisse lucht kunnen worden verdeeld in drie hoofdcategorieën: een functioneel (praktisch), een esthetisch (lichamelijk en zintuigelijk) en een sociaal (verzorging en indruk) element.

Het functionele element houdt verband met praktische doelen, zoals luchten na het baden, het schrobben van de vloer en het opmaken van de bedden, maar het heeft ook te maken met de mogelijkheid om rekening te houden met het weer en het huis zelf.

Het esthetische element omvat een lichamenlijk en een zintuigelijk perspectief. Factoren zoals regulering van de

lichaamswarmte en de mogelijkheid zelf te ruiken zijn belangrijk. Niet alleen de achtergrondgeur van een huis (goed en fris ruikend), maar ook het genot van een briesje in huis vallen hieronder. Het sociale element heeft te maken met de krachtige wens dingen onder controle te hebben. Laten zien dat je geeft om de gezondheid van je gezin door je huis te luchten, genieten van een gevoel van vrijheid omdat de ramen open kunnen, maar ook het binnen laten van de geluiden en geuren van buiten.

Drie erg belangrijke aspecten die alle te maken hebben met niet-technische kwesties, laten ons zien dat ramen die open kunnen op veel menselijke vlakken een absolute vereiste voor het binnenmilieu zijn.

Een ander menselijk aspect is de mogelijkheid ramen te openen tijdens de overgangsperiodes van onze dagelijkse levens, zoals wanneer we thuis komen, gaan slapen, wakker worden of van vakantie terugkomen. Gewoontes en instinctieve acties maken deel uit van de overgangen. En er is aangetoond dat het openen van ramen een van de acties is die we daarbij moeten uitvoeren.



Home for Life.

2.4 Natuurlijke ventilatie met dakramen

2.4.1 Drijvende kracht achter natuurlijke ventilatie

Natuurlijke ventilatie wordt veroorzaakt door temperatuurverschillen en winddruk.

Trekeffect (temperatuurverschil)

Warme lucht is lichter dan koude lucht. Dat veroorzaakt het trekeffect, waardoor de warme lucht in een gebouw gaat stijgen. De warme lucht verlaat het gebouw aan de bovenkant via lekken, trekleidingen of open ramen en wordt vervangen door koude lucht die vanaf de begane grond het gebouw binnendringt. Hoe hoger het gebouw, hoe krachtiger het trekeffect. Het trekeffect is alleen efficiënt als er luchtpassages door het gebouw zijn.

Het kan daarbij gaan om trappen in combinatie met ramen op de begane grond en in het dak die gemakkelijk tegelijkertijd kunnen worden geopend. Door hun plaats in het dak maximaliseren VELUX-dakramen het

ventilatiepotentieel van het trekeffect.

Zie paragraaf 2.4.3 voor een voorbeeld van het trekeffect.

Wind (winddruk)

Wanneer een gebouw is blootgesteld aan de wind, dringt de lucht aan de windzijde het gebouw binnen en verlaat zij het gebouw aan de beschutte zijde. De winddruk is aan de windzijde groter dan aan de beschutte zijde. Hierdoor wordt de lucht vanaf de windzijde door het gebouw heen verplaatst naar de beschutte zijde. De vorm van het gebouw en het landschap of de andere gebouwen erom heen beïnvloeden de luchtstroom. De grootte van het drukverschil dat door de wind wordt veroorzaakt, wordt tijdens simulaties automatisch berekend in tools zoals de Energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC) van VELUX. Gangbare waarden worden vermeld in de betreffende normen (bijv. BS5925:1991, DIN19466:2009).

Zie paragraaf 2.4.3 voor een voorbeeld van door de wind aangedreven natuurlijke ventilatie.

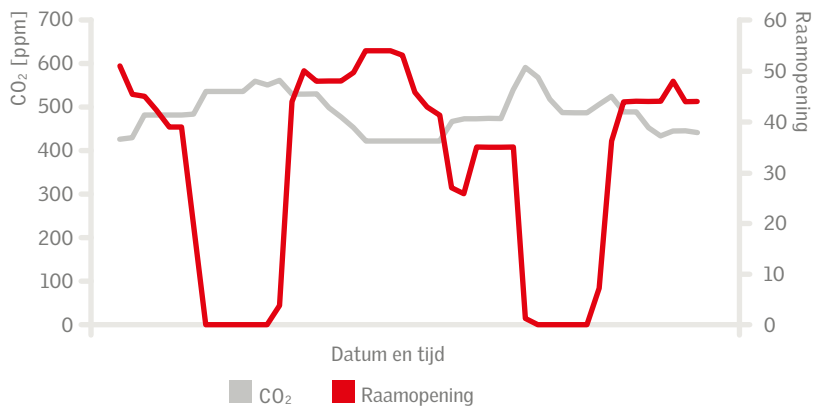
Vergeet niet:

Hoe hoger de ramen zijn geplaatst en hoe groter het temperatuurverschil, hoe krachtiger het trekeffect is. Daarom is het trekeffect in een gebouw met VELUX-dakramen voor natuurlijke ventilatie groter dan in een gebouw met alleen gevelramen.

Voorbeeld uit MH 2020

In het Franse modelhuis, het Maison Air et Lumière (MAL), is de binnenluchtkwaliteit beoordeeld met speciale aandacht voor de effecten van het natuurlijke ventilatiesysteem in de zomer. De beoordeling is gebaseerd op de gebruikperiode van september 2012 tot augustus 2013 voor het gezin van vier personen dat in het huis woonde. De CO₂-niveaus zijn geëvalueerd volgens de Active House-specificaties, 2e editie (Active House, 2013).

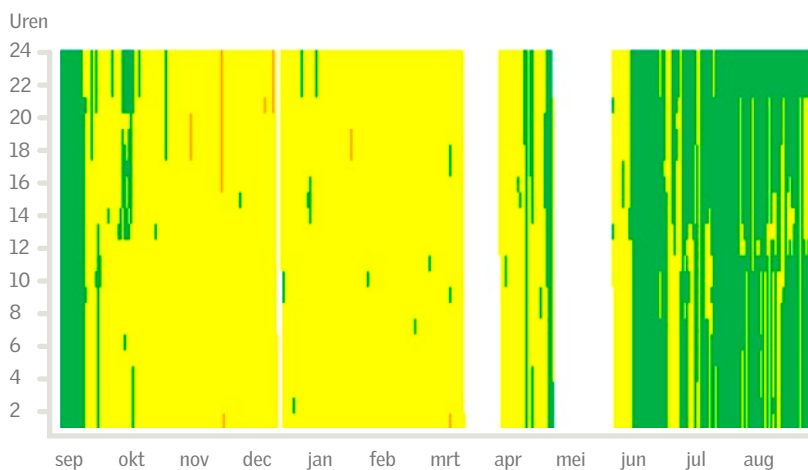
De algemene tendens was dat de binnenluchtkwaliteit (zoals aangegeven door de lagere CO₂-niveaus) in de zomer bij gebruik van natuurlijke ventilatie beter was dan in de winter bij gebruik van mechanische ventilatie. Het bleek dat het openen van de dakramen in de slaapkamers, in de woonruimtes en op de tussenverdieping bijdroeg aan de handhaving van een laag CO₂-niveau. Zie afbeelding 2.13 hierna voor tussenverdieping 2 (Plesner et al, 2014).



Afbeelding 2.13 Openingshoek in graden van het raam en CO₂-niveaus voor tussenverdieping 2 (1e verdieping) in juni 2013.

De woonkamer wordt ook weergegeven als een 'tjdkaart' waaruit blijkt dat gedurende veruit de meeste uren wanneer de dakramen open zijn, het CO₂-gehalte lager is dan 1150 ppm. In dit geval wordt dit beschouwd als een bevredigende binnenluchtkwaliteit. Er zijn geen periodes waarin de

MAL 2012-13, Woonkamer "VRW"



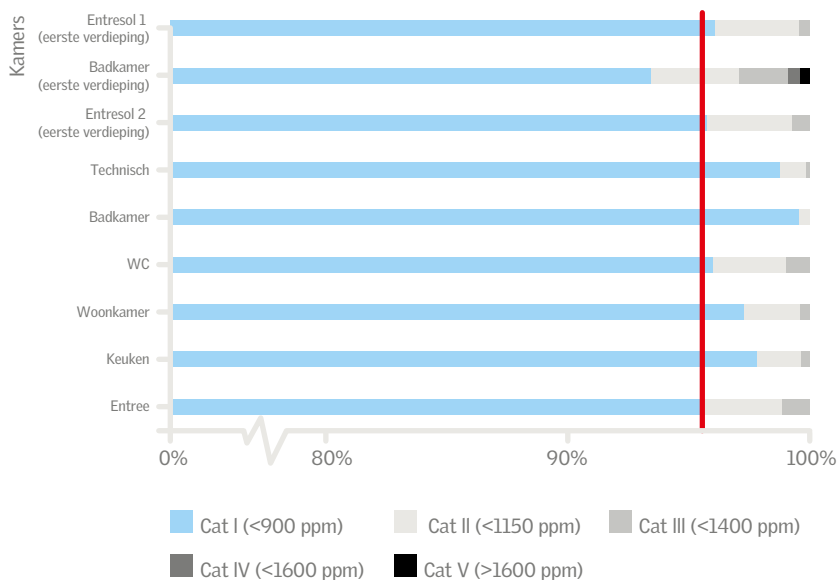
Alle kamers behalve slaapkamers

- Open raam en < 1150 ppm
- Gesloten raam en > 1150 ppm
- Gesloten raam en < 1150 ppm
- Open raam en > 1150 ppm

Afbeelding 2.14 Raamopening en CO₂-niveaus voor dakramen in woonkamer

ramen open zijn en het CO₂-gehalte hoog is.

Alle vertrekken in MAL zijn beoordeeld en haalden gedurende de zomer in 95% van de tijd

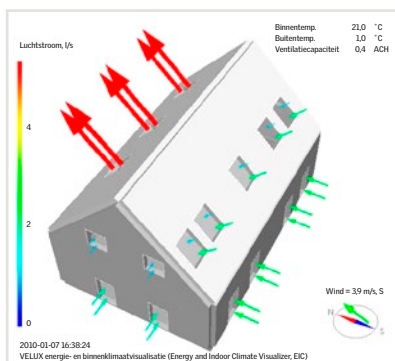


Afbeelding 2.15 Gemiddelde CO₂-jaarniveaus voor alle kamers en alle uren uitgezonderd slaapkamers

de categorie 1-2 (<1150 ppm) en categorie 1-2 voor het hele jaar. De resultaten laten een bevredigende binnenluchtkwaliteit voor het huis zien. Zie afbeelding 2.15 hierna.

2.4.2 Achtergrondventilatie met de VELUX ventilatieklep

De ventilatieklep op VELUX-dakramen kan worden gebruikt om een continue stroom van frisse lucht in het gebouw te creëren.



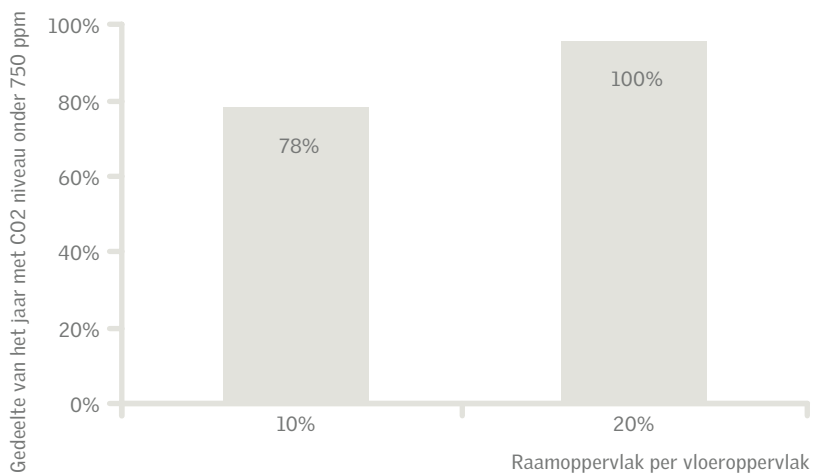
Afbeelding 2.16 Animatie van ventilatiecapaciteit met VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC)

Voorbeeld:

Achtergrondventilatie met ventilatieklep

In het voorbeeld wordt onderzocht welke achtergrondventilatiecapaciteit kan worden bereikt met verschillende aantallen ramen per vloeroppervlak. De twee gebruikte raamoppervlakken waren 10% en 20% van het vloeroppervlak. Het huis staat in Berlijn.

Afbeelding 2.16 toont de ventilatiecapaciteit op 7 januari, met een afvoer bereik van 2-6 l/s per raam.



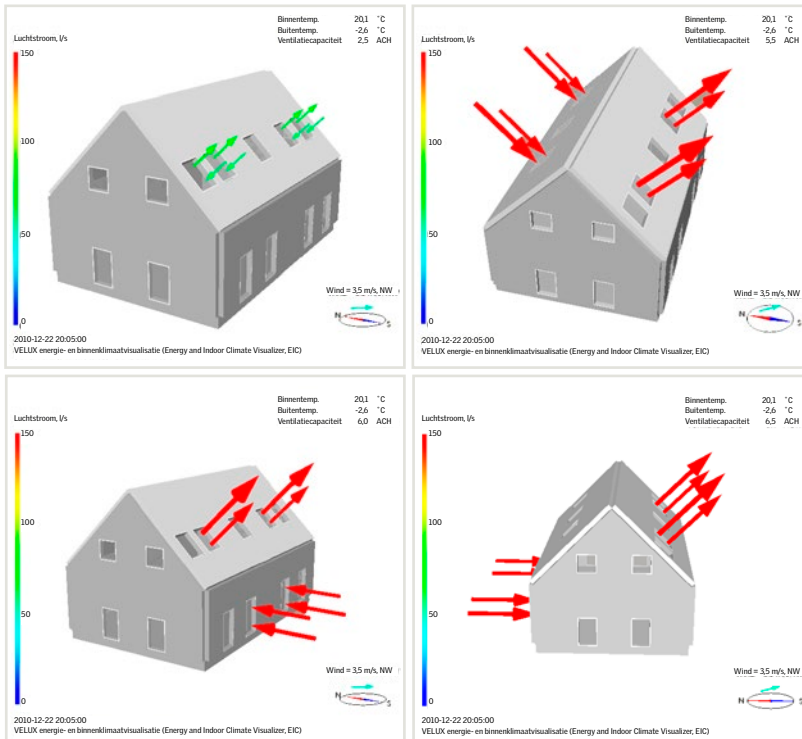
Afbeelding 2.17 Het deel van het jaar met een CO₂-niveau van minder dan 750 ppm wordt gebruikt als indicator van goede luchtkwaliteit. Dit wordt gedurende 78% van het jaar bereikt met 10% ramen ten opzichte van het vloeroppervlak. Dit loopt op tot bijna 100% bij 20% raamoppervlak ten opzichte van het vloeroppervlak.

2.4.3 Luchten

Luchten is een korte periode met een hoge ventilatiecapaciteit veroorzaakt door een of meer open ramen. Tijdens het luchten worden geurtjes en vochtigheid efficiënt verwijderd op de plaats en het tijdstip van de opwekking

Voorbeeld: luchten

De ventilatiecapaciteit behaald met luchten wordt berekend met de VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC). Vier ramen om te luchten en de ventilatiecapaciteit bereikt met enkelzijdig luchten, dwarsventilatie en tochtventilatie worden weergegeven voor een zomer- en wintersituatie. Het huis staat in Berlijn.



Afbeelding 2.18 Animatie van raamluchtstroom berekend met VELUX EIC Viz

De afbeeldingen van de ventilatie op 22 december tijdens het luchten 's ochtends, laten een enkelzijdige ventilatie, dwarsventilatie, een trekeffect en een combinatie van trekeffect en dwarsventilatie zien. De ventilatiecapaciteit tijdens het luchten wordt in de volgende tabel weergegeven.

	Normale zomerdag: 3 augustus	Normale winterdag: 12 december
Enkelzijdig	1,5	2,5
Dwarsventilatie	2,5	5,5
Trek	4,5	6,0
Gecombineerde tocht- en dwarsventilatie	5,0	6,5

De ventilatiecapaciteit die met luchten is bereikt, ligt tussen de 1,5 en 5,0 ACH, wat tot tien keer hoger is dan de achtergrondventilatiecapaciteit van 0,5 ACH. De hoogste ventilatiecapaciteit in het voorbeeld werd bereikt met een gecombineerd trekeffect en dwarsventilatie (5,0 – 6,5 ACH), vervolgens het trekeffect (4,5 – 6,0 ACH), gevolgd door dwarsventilatie (2,5 – 5,5 ACH) en enkelzijdige ventilatie (1,5 – 2,5 ACH). Deze ventilatiecapaciteiten zijn gebaseerd op specifieke openingsoppervlakken. Hogere ACH-waarden kunnen worden gehaald met grotere openingen, wat vooral relevant is voor koelen met ventilatie. In het Franse modelhuis, het Maison Air et Lumière (MAL), zijn in de zomer van 2012 waarden tot 20 ACH gemeten (Favre et al., 2013).

Het effect op de luchtkwaliteit van gecombineerde tocht- en dwarsventilatie wordt onderzocht. Het deel van het jaar waarin het CO₂-niveau lager is dan 900 ppm wordt bepaald, evenals de extra energievraag (en bijbehorende kosten). Er is een gasprijs van € 0,085/kWh gehanteerd (Europe's Energy Portal, 2010).

	Deel van het jaar waarin het CO ₂ -niveau lager is dan 900 ppm [%]	Verwarmings- vraag [kWh/m ²]	Energiekosten [€/m ² per jaar]
Zonder luchten	62	45,9	3,9
Met luchten	77	50,3	4,3

Uit de resultaten blijkt dat bij luchten het deel van het jaar met een CO₂-niveau van minder dan 900 ppm toeneemt van 62% tot 77%, - een aanzienlijke toename van 24%. De energiekosten nemen toe van € 3,9 tot € 4,3 per m² per jaar - een toename van 10%.

! Vergeet niet:

Luchten via ramen is efficiënt en relevant in veel situaties:

- 's Ochtends wanneer u opstaat
- Tijdens het koken
- Tijdens en na het douchen
- Tijdens en na schoonmaken
- Wanneer de was binnen droogt
- 's Middags wanneer u thuiskomt

ervan. Welk effect luchten heeft, hangt af van het aantal geopende ramen en waar zij zich ten opzichte van elkaar bevinden. Luchten is het meest efficiënt wanneer het trekeffect en de winddruk worden benut door ramen aan tegenovergestelde zijden van het gebouw en op verschillende hoogtes te openen.

2.4.4 Optimale winterventilatie-strategie voor bestaande gebouwen

Met de ventilatieklep kan achtergrondventilatie worden gecreëerd. Hiermee wordt een goede binnenluchtkwaliteit bereikt wanneer het huis niet op volle capaciteit wordt gebruikt. Tijdens activiteiten zoals koken, wassen en douchen moet worden gelucht. Een combinatie van VELUX-dakramen en gevelramen maakt efficiënt luchten met het trekeffect en dwarsventilatie mogelijk. De combinatie van achtergrondventilatie en luchten is de beste strategie om een goede luchtkwaliteit te bereiken terwijl de energievraag redelijk blijft omdat luchten efficiënter is dan continue ventilatie (Heiselberg en Perino, 2010; Perino en Heiselberg, 2009).

Luchten kan tocht veroorzaken, maar dat probleem kan worden geminimaliseerd door kort en efficiënt te luchten.

Zie het ontwerpadvies voor specifieke soorten gebouwen in [paragraaf 2.5](#).

2.4.5 Zomerventilatie

In warme zomers is natuurlijke ventilatie de beste manier om de temperatuur binnen comfortabel te houden. In deze situatie hoeft er geen rekening te worden gehouden met warmteverlies. Integendeel, er is een mogelijkheid om energie te besparen voor koeling, met airconditioning als deze in het gebouw is geïnstalleerd.

Frequentere ventilatie in de zomer voorkomt oververhitting en wanneer het warm is, voelt de grotere luchtverplaatsing aangenaam aan. [Zie paragraaf 3.5.3](#) in het hoofdstuk Thermisch comfort voor een voorbeeld van het gebruik van zonnewering en natuurlijke ventilatie om thermisch comfort te handhaven. De grote luchtstroom die natuurlijke ventilatie verschaft tijdens de zomermaanden, zorgt voor een erg laag CO₂-gehalte in de binnenlucht, zonder dat dit energie kost.

Het gebruik van natuurlijke ventilatie om het thermisch comfort te verbeteren tijdens warme periodes wordt verder uitgelegd in het hoofdstuk Thermisch comfort.

Zie het ontwerpadvies voor specifieke soorten gebouwen in [paragraaf 2.5](#).

● Vergeet niet:

Gebruik een combinatie van achtergrondventilatie via de ventilatieklep en twee tot vier keer luchten per dag om een zo goed mogelijke binnenluchtkwaliteit te garanderen.

2.4.6 Automatisch ramen openen met VELUX dakramen

De VELUX INTEGRA- en SOLAR-ramen kunnen zo worden geprogrammeerd dat ze automatisch open gaan. Dat kan erg handig zijn als u een erg druk dagelijks leven hebt en er niet altijd aan denkt om regelmatig te luchten.

De ramen in vooraf gekozen vertrekken van de woning kunnen zodanig worden geprogrammeerd dat ze bijvoorbeeld tien minuten 's ochtends en 's middags

worden geopend en in het weekend rond een uur of twaalf.

De ventilatieklep kan zo worden geprogrammeerd dat deze open gaat wanneer de bewoners thuis zijn of dat deze gedurende de hele dag of nacht voor achtergrondventilatie zorgt.

De klep van slaapkamerramen kan 's nachts automatisch geopend worden.

Als de bewoners willen dat het raam 's nachts wordt geopend, kunt u het raam automatisch een paar keer laten open gaan.

Vergeet niet:

Een gevolg van de grotere luchtdichtheid van gebouwen is dat er meer behoefte aan extra ventilatie is om een goed en gezond binnenmilieu te garanderen.

2.5 Ventilatie van verschillende soorten gebouwen

De basisbehoeften van mensen zijn onafhankelijk van het type gebouw, maar de manier waarop ventilatie wordt gebruikt om aan die behoeftes te voldoen kan wel van het type gebouw afhangen. Dit wordt besproken in de volgende paragrafen.

2.5.1 Gerenoveerde woningen

Bestaande woningen kunnen op verschillende niveaus worden gerenoveerd.

- Eén vertrek tegelijk renoveren: de ramen in een bepaald vertrek vervangen, de luchtdichtheid verbeteren, het interieur opknappen
- Uitgebreider renoveren: extra isolatie toevoegen, alle ramen in het huis vervangen, de luchtdichtheid verbeteren enzovoort.

Veel huiseigenaren willen de energieprestaties tijdens een renovatie verbeteren. Dat kan gevolgen hebben voor de ventilatie van het huis en daarom voor de binnenluchtkwaliteit. Door de luchtdichtheid te verbeteren en oude ramen door nieuwe te vervangen, vermindert de ongewenste infiltratie. Er moeten dan andere maatregelen worden genomen om een adequate ventilatie te garanderen. Wat de juiste soort ventilatie is, hangt af van het type vertrek.

In de meeste woningen wordt natuurlijke ventilatie gebruikt, en dat is waar we hierna van uitgaan.

Slaapkamers

Slaapkamers zijn relatief kleine vertrekken waarin mensen veel tijd doorbrengen, vaak zes tot acht uur per dag. De slaapkamer is het vertrek waar we de meeste tijd van ons leven doorbrengen. Het is daarom erg belangrijk dat een slaapkamer goed wordt geventileerd. In veel woningen zijn slaapkamers zelfs vóór een renovatie onvoldoende geventileerd. Voor een goede natuurlijke ventilatie moeten er ten minste twee ramen zijn geplaatst. De ramen moeten ventilatiekleppen of roosters hebben die 's nachts tijdens een zo groot mogelijk deel van het jaar open kunnen. Als de ramen in het vertrek op twee verschillende hoogtes zitten, werkt dat veel beter dan ramen op dezelfde hoogte. Dat komt omdat dan het trekeffect wordt benut. Ventilatiekleppen alleen zijn echter niet altijd genoeg om een goede luchtkwaliteit in een slaapkamer te garanderen.

Elektrisch bediende ramen (VELUX INTEGRA™) bieden veel betere mogelijkheden dan ramen die met de hand moeten worden geopend, omdat ze programmeerbaar zijn en 's nachts automatisch een of twee keer kunnen worden geopend. Gedecentraliseerde mechanische ventilatie is ook een mogelijkheid.

De ventilatiecapaciteit van een slaapkamer is 's nachts groter wanneer de slaapkamerdeur open staat. Uit een onderzoek naar de ventilatiecapaciteit van gemiddelde huizen zijn de volgende ventilatiecapaciteiten voor verschillende deurposities naar voren gekomen. Gesloten deur: 0,3 ACH; Deur op een kier: 0,4 ACH; Deur open: 0,5 ACH (Bekö et al., 2011).

Kinderkamers

Hoe een kinderkamer wordt gebruikt, hangt sterk af van de leeftijd van het kind en of de kamer alleen wordt gebruikt om te slapen of ook om er overdag bijvoorbeeld huiswerk te maken of te spelen. Omdat er in deze kamer vaak veel speelgoed en elektronische apparatuur aanwezig zijn, is er vanwege de emissies daarvan meer behoefte aan ventilatie. Kinderen zijn zich echter meestal niet bewust van het belang van ventilatie. De overwegingen die we voor slaapkamers hebben genoemd, gelden ook voor kinderkamers. Voor deze laatste kamers is het nog belangrijker dat het luchten niet wordt overgeslagen. Veel gezinnen met kinderen hebben daar echter geen tijd voor. Elektrisch bediende apparaten zijn daarom een ware uitkomst voor deze kamers.

Woon- en eetkamers

In woon- en eetkamers is er meestal meer vloeroppervlak per persoon dan in

slaapkamers. Bovendien brengen we er minder tijd door dan in de slaapkamer. Daarom is goede ventilatie in een woonkamer een stuk eenvoudiger. De ventilatie moet vaak eerder voldoen aan comfortvereisten (frisse lucht voelen) dan aan gezondheidsvereisten. De behoefte aan ventilatie in een woonkamer kan wisselen van heel weinig tot heel veel (wanneer er bijvoorbeeld veel bezoek is), en daar moet bij het ontwerpen van de ventilatie rekening mee worden gehouden. Een flexibel ventilatieontwerp omvat twee tot drie gevelramen die open kunnen, en een vergelijkbaar aantal dakramen om efficiënt te kunnen luchten wanneer daar veel behoefte aan is. Handmatig bediende ramen kunnen volstaan als ventilatiekleppen worden gecombineerd met regelmatig luchten. Met elektrisch bediende ramen hoeft u helemaal nergens meer aan te denken.

Keukens

Keukenactiviteiten brengen veel vocht, geurtjes en fijne deeltjes voort. Deze worden het meest efficiënt verwijderd door goed te ventileren tijdens de keukenactiviteiten. Een afzuigkap is belangrijk, maar die werken minder goed als ze vuil en vet zijn. Daarom is luchten tijdens het koken een goede gewoonte en een efficiënte aanvulling. Luchten is het meest efficiënt als u twee ramen op verschillende hoogtes kunt openen, bijvoorbeeld gevelramen en dakramen. Door de warmte die

ovens en fornuizen voortbrengen, is koude tocht meestal geen probleem in keukens. Omdat je in een keuken gemakkelijk voelt of ruikt of ventilatie nodig is, is het voor de gebruikers niet moeilijk op het juiste moment te luchten. Op vochtigheid reagerende, elektrisch bediende ramen kunnen extra voordelen hebben.

Badkamers

Badkameractiviteiten veroorzaken vochtigheid en luchtjes. Tijdens het baden wordt er veel vocht voortgebracht, maar badkamers worden op een dag niet veel gebruikt. In een efficiënt ventilatieontwerp is daarom een grote ventilatiecapaciteit voor korte periodes voorzien. Badkamers hebben vaak mechanische ventilatie met luchtextractie, maar goede mogelijkheden om te luchten zijn een voordeel. Luchten verloopt het meest efficiënt met ramen op twee verschillende hoogtes. Omdat je in een badkamer gemakkelijk voelt of ruikt of ventilatie nodig is, is het voor de gebruikers niet moeilijk op het juiste moment te luchten. Op vochtigheid reagerende, elektrisch bediende ramen kunnen extra voordelen hebben.

Afvoerpad met natuurlijke ventilatie

In woningen met natuurlijke ventilatie is het bij een renovatie belangrijk goed na te denken over het pad dat de luchtstroom moet volgen door het huis. Voor dit pad moet rekening worden

gehouden met de windrichting, de windsnelheid en de buitentemperatuur. Verder kan een specifiek raam zowel voor toevoer als afvoer worden gebruikt. Hooggeplaatste ramen (en trekleidingen) functioneren hoofdzakelijk als afvoer. In gelijkvloerse woningen functioneren dakramen in de keuken en badkamer vaak als afvoer. Zij zorgen ervoor dat de lucht via de slaapkamers en woonkamer het huis in komt en wordt afgevoerd via de natte vertrekken.

In woningen met een bovenverdieping functioneren de ramen op de eerste verdieping vaak als afvoer. Als de slaapkamers zich op de bovenverdieping bevinden, is het belangrijk dat de slaapkamerramen niet worden gebruikt als afvoer. Dat kan leiden tot oververhitting en er is een grotere kans dat de lucht die de slaapkamer binnenkomt, afkomstig is uit andere kamers en dus minder fris is. Een efficiënte oplossing is het plaatsen van een dakraam boven trap op de bovenverdieping. Dat raam functioneert dan meestal als afvoer voor de begane grond.

2.5.2 Nieuwbouwwoningen

De keuze van een ventilatiesysteem voor een nieuwbouwwoning hangt vaak in sterke mate af van de energie-wetgeving en de door de toekomstige huiseigenaar gewenste energieprestaties. In Noord-Europa is mechanische ventilatie met warmteterugwinning de feitelijke standaard geworden omdat daarmee de vraag naar verwarming 's winters kleiner is.

Natuurlijke ventilatie blijft 's zomers het meest energie-efficiënte ventilatiesysteem in alle Europese landen omdat er geen warmteverlies is en geen vraag naar elektriciteit voor ventilatoren.

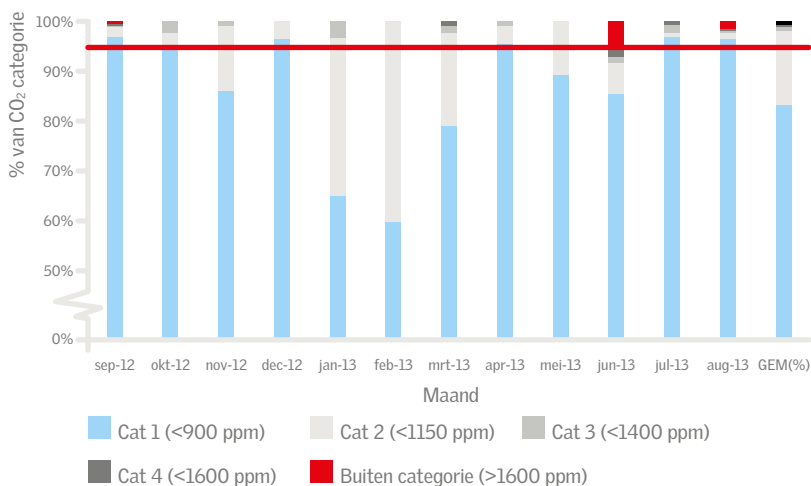
In nieuwbouwwoningen kan zowel met mechanische als natuurlijke ventilatie worden voldaan aan de wettelijke eisen. Natuurlijke ventilatie kan de belangrijkste vorm van ventilatie zijn of worden gebruikt als aanvulling op mechanische ventilatie. In situaties waarin mechanische ventilatie wordt gekozen als de belangrijkste vorm van ventilatie, is het belangrijk te beseffen dat natuurlijke ventilatie een goede aanvulling kan zijn. Het opnemen van natuurlijke ventilatie in het ventilatieontwerp van een nieuwbouwwoning heeft een paar specifieke voordelen:

- Geen elektriciteitsverbruik tijdens de warme maanden (energie-neutrale ventilatie)
- Betere binnenluchtkwaliteit tijdens de warme maanden omdat de luchtverversingscapaciteit 's zomers zonder extra kosten kan worden verhoogd
- Maakt efficiënt luchten mogelijk wanneer de situatie om meer ventilatie vraagt (bijv. tijdens baden of koken)
- Schept een band met de buitenwereld en een gevoel van frisse lucht (zie paragraaf 2.3) ➡
- Is een efficiënte manier om oververhitting te voorkomen met koeling door ventilatie (zie het hoofdstuk Thermisch comfort)

Veel van de punten om rekening mee te houden tijdens de renovatie van bestaande woningen (zoals besproken in paragraaf 2.5.1), gelden ook voor nieuwbouwwoningen.

MH2020 voorbeeld van slaapkamers

De binnenluchtkwaliteit in de slaapkamers van het Maison air et Lumière is alleen 's nachts geëvalueerd in het hierna weergegeven geval, waarin de CO₂-niveaus 's zomers meestal lager zijn dan 's winters. Categorie 2 wordt in de meeste maanden gehaald, hoewel juni hoge CO₂-niveaus heeft. Uit de algehele resultaten blijkt dat met vraaggestuurde natuurlijke ventilatie met VELUX INTEGRA®-dakramen een bevredigende binnenluchtkwaliteit in slaapkamers tijdens de nacht mogelijk is (Plesner et al., 2014).



Afbeelding 2.19 Maandelijke CO₂-niveaus voor slaapkamer B (begane grond) in MAL

2.5.3 Scholen en kleuterscholen

Kenmerkend voor scholen en kleuterscholen is dat er relatief weinig vierkante meters per persoon en zalen voor activiteiten zijn. Verder is het gebruik van de zalen voorspelbaar op grond van vooraf vastgelegde roosters. Scholen en kleuterscholen zijn bovendien vaak openbare gebouwen met een beperkt budget voor het bouwen van nieuwe gebouwen of het renoveren van bestaande. Er kunnen wettelijke vereisten zijn voor een minimale ventilatiecapaciteit of een maximaal CO₂-gehalte.

Om een goed werkend natuurlijk ventilatiesysteem in een klaslokaal te garanderen, is de grootte van de raamopening in verhouding tot het aantal leerlingen de belangrijkste ontwerpparameter. Er moet voor een zo groot mogelijke raamopening worden gezorgd. Enkelzijdige ventilatie via gevelramen alleen kan een uitdaging zijn. Een veel betere ventilatie wordt bereikt in combinatie met dakramen. De prestaties kunnen worden gecontroleerd door een simulatie te doen met de VELUX energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC) en daarmee de CO₂-gehalten te bepalen.

Houd rekening met de volgende factoren om het ontwerp te optimaliseren:

- Natuurlijke ventilatie is gewoonlijk een kostenefficiënte oplossing
- Tijdens de pauzes tussen lessen kan worden gelucht. De ramen moeten dan

zo ver mogelijk worden opengezet om het CO₂-gehalte zoveel mogelijk te verlagen voordat de volgende les begint.

- Tijdens de lessen kunnen de ventilatiekleppen en -roosters worden gebruikt. Leerlingen kunnen gevoelig zijn voor thermisch ongemak en tocht kan het gebruik ervan beperken als het buiten koud is.
- Visuele indicatoren van het CO₂-gehalte (bijv. in de vorm van een rood-oranje-groen 'stoplicht') kunnen leerlingen en docenten ertoe aanzetten de ramen vaker te openen en de luchtkwaliteit te verbeteren (Wargocki et al., 2012)
- Met automatisch geregelde natuurlijke ventilatie worden alle mogelijkheden van natuurlijke ventilatie volledig benut. Dit is wat voor scholen wordt aangeraden. Als het lesrooster en de pauzes maar zelden veranderen, kan ventilatie op grond van het lesrooster en de pauzes volstaan. Aanvullende apparatuur met een CO₂-sensor is de optimale oplossing en garandeert vaak een goede luchtkwaliteit (Dhaluin et al., 2012)

- Hybride ventilatie kan in koude klimaten een goede oplossing zijn om tocht en energieverbruik te verminderen (Steiger et al, 2012).

VELUX-dakramen zijn goed geschikt voor scholen. Voor grote zalen zijn VELUX Modular Skylights erg geschikt.

2.5.4 Bedrijfspanden

Voor grote bedrijfspanden (zoals kantoorgebouwen) gelden meer complexe eisen om de luchtkwaliteit te regelen dan voor woningen. De interne belasting (aantallen personen, computers en apparatuur) is groter dan in woningen. De gebruikers van het gebouw brengen meer tijd door op een vaste plaats (achter een bureau of in vergaderzalen) en de kleding is formeler dan in woningen. De ventilatiecapaciteit hangt vaker af van de behoefte aan koeling dan van de behoefte aan frisse lucht voor de gebruikers. Arbodiensten kunnen aan de binnenluchtkwaliteit eisen stellen die anders zijn dan voor woningen.

Kantoorgebouwen kunnen zijn ontworpen met natuurlijke, mechanische of hybride ventilatie. Als er natuurlijke of hybride ventilatie wordt gebruikt, wordt deze meestal automatisch geregeld met een centraal (BMS) systeem dat via sensoren alle services in het gebouw controleert.

In kantoorgebouwen is het belangrijk te voorkomen dat gevelramen niet zo nu en dan (door de windsnelheid en -richting) als afvoer gaan dienen. Een gangbaar ontwerp met natuurlijke of hybride ventilatie is een gebouw met een groot atrium in het midden en kantoren, vergaderzalen enzovoort langs de gevels. Gevelramen zijn bedoeld voor de luchttoevoer. Het dak van het atrium heeft een groot oppervlak met ramen die open kunnen en functioneren als afvoer.

VELUX Modular Skylights zijn ontworpen voor gebruik in dit soort gebouwen en presteren goed als afvoeropeningen in het dak van een atrium.

2.6 Middelen en berekeningsmethoden

De kwaliteit van binnenlucht hangt af van de toegevoerde hoeveelheid vervuilende stoffen, hun chemische interactie, de verdunning van deze stoffen door ventilatie en de resulterende effecten op de IAQ (de menselijke gezondheid of waargenomen luchtkwaliteit). IAQ staat voor 'Indoor Air Quality', ofwel binnenluchtkwaliteit. Wat deze effecten zijn is in grote mate onduidelijk of onbekend. De IAQ wordt meestal gedefinieerd aan de hand van een specifieke luchtstroomcapaciteit of IAQ-indicatoren

(zie paragraaf 2.2.2). De meeste hulpmiddelen om de IAQ te bepalen, zijn daarom gebaseerd op de ventilatiecapaciteit. De luchtstroomcapaciteit kan worden omgezet in IAQ-indicatoren zoals CO₂-gehalten door een veronderstelde toevoercapaciteit van bijvoorbeeld CO₂ en de verdunning door ventilatie met elkaar te combineren.

De algemene berekeningsmethodes voor natuurlijke ventilatie zijn gedetailleerd en berusten op gegevens over de locatie en plaats/grootte van de raamopeningen, de lokale windsnelheid, de lokale windrichting en de indeling en het interieur van het gebouw. Omringende gebouwen en het lokale landschap beïnvloeden de windsnelheid en -richting. Op grond van deze gegevens worden de drukverschillen tussen elke raamopening bere-

kend en kan de resulterende luchtstroom tussen elke opening en door het hele gebouw worden bepaald. Eenvoudige voorbeelden van de algemene berekeningsmethodes zijn beschikbaar voor specifieke bouwontwerpen, zoals raamopeningen die alleen aan twee tegenovergestelde zijden van een gebouw zijn aangebracht.

De algemene methodes worden beschreven in verschillende richtlijnen (AIVC, 1996; SBI 202; CIBSE AM 10, 2005). Ze worden ook gebruikt in een aantal gedetailleerde simulatiehulpmiddelen voor gebouwen, zoals IDA-ICE, de VELUX-energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC), TRNSYS, EnergyPlus, IES VE, etc. De VELUX EIC Visualizer is gebaseerd op de meest geavanceerde methodes om de ventilatiestroom door ramen te evalueren en illustreren en kan ook door leken worden gebruikt.

De vereenvoudigde methodes voor de berekening van natuurlijke ventilatie waren oorspronkelijk erg behoudend en hielden maar in beperkte mate rekening met het volledige potentieel van natuurlijke ventilatie. Er wordt gewoonlijk een 'worst-case'-scenario gehanteerd waarin wordt uitgegaan van alleen enkelzijdige ventilatie, wat leidt tot een zware onderschatting van de werkelijke ventilatiecapaciteit. Het Franse instituut CSTB heeft echter een vereenvoudigde berekeningsmethode ontwikkeld om koeling met natuurlijke ventilatie te

$\Delta T=0$	Luchtverversingscapaciteit per uur						
Windsnelheid [m/s]	0	1	2	2,9	5	6	10
EN 15242 ($\Delta T=0$)	1,2	1,3	1,5	1,7	2,3	2,6	4,1
RT 2012+ ($\Delta T=0$)	0	1,2	2,4	3,4	5,9	7,1	12
RT 2012+, Uniform gebied ($\Delta T=0$)	0	3,2	6,4	9,4	16	19	32
BS 5925:91 ($\Delta T=0$)	0	1,6	3,1	4,5	7,8	9,4	16
Metingen ($\Delta T=0$)				11			

Afbeelding 2.20 Gemeten en berekende ACH voor specifieke situaties in MAL.

evalueren. De methode is in 2014 geïmplementeerd in de Franse bouwverordening voor zomercomfort.

Zoals blijkt uit de volgende tabel, zijn er enorme verschillen afhankelijk van de gebruikte berekeningsmethode.

2.6.1 VELUX energie- en binnenklimaatvisualisatie (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC)

EIC Visualizer is gebaseerd op het IDA ICE simulatiemodel. In dit model worden de luchtstroom en thermische simulaties aan elkaar gekoppeld. Dit is belangrijk voor evaluaties van de effecten van raamopeningen, natuurlijke ventilatie en zonnewering. Het IDA ICE-model is gevalideerd tegen de belangrijkste Europese validatieprotocollen.

Ventilatiesystemen in EIC Visualizer kunnen natuurlijk, mechanisch of een combinatie van beide (hybride) zijn. Warmteterugwinning kan worden gebruikt met mechanische en hybride ventilatie. Het hulpmiddel voert een berekening uit van natuurlijke luchtstromen, waarbij rekening wordt gehouden met infiltratie via de bouwconstructie en gecontroleerde natuurlijke ventilatie via de ramen. De luchtstroom van het mechanische systeem wordt inbegrepen in de totale ventilatiecapaciteit van het gebouw. Het mechanische systeem kan alleen een afvoer- of gebalanceerd systeem zijn, met of zonder warmteterugwinning.

De ventilatie kan worden geregeld op grond van een van de volgende twee algemene strategieën: handmatige

regeling of regeling op grond van behoefte. Het systeem kan op grond van de buitentemperatuur automatisch tussen beide modi overschakelen, wat garandeert dat altijd de meest energie-efficiënte ventilatiemodus wordt gebruikt. De handmatige regelaars voor natuurlijke ventilatie bootsen het gewone gebruik van ramen als bron van natuurlijke ventilatie na. Vraag-gestuurde ventilatie is gebaseerd op CO₂ als indicator van luchtkwaliteit. Er wordt gebruik gemaakt van de categorieën en bijbehorende

CO₂-gehalten die zijn vastgelegd in EN 15251 (cat. I: 750 ppm, cat. II: 900 ppm, cat. III: 1200 ppm).

Het gebruik van zonneschermen wordt geregeld op grond van de binnentemperatuur en heeft als doel oververhitting te voorkomen. De VELUX-energiebalans- en VELUX ACTIVE-regelsystemen kunnen direct in het hulpmiddel worden gebruikt. Ga voor meer informatie naar eic.velux.com (Foldbjerg, Asmussen, Roy et al., 2012).

2.7 Bouwverordeningen en -standaarden

Bouwverordeningen

In de meeste landen zijn in de bouwverordeningen de vereisten van de IAQ opgenomen in de vorm van een minimaal vereiste buitenluchtstroom door een gebouw. Deze vereisten kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt, bijv. als:

- Luchtverversing per uur (ACH)
- Luchtstroom per eenheid vloeroppervlak ($\text{l/s} \cdot \text{m}^2$)
- Luchtstroom per persoon ($\text{l/s} \cdot \text{pers}$)

De reglementaire vereisten voor ventilatiecapaciteit in woningen zijn meestal gebaseerd op de vochtbalans van het gebouw. Alle vochtigheid die binnen het gebouw wordt voortgebracht, moet worden afgevoerd door de ventilatie om beschadiging van de constructie door rotten of schimmelvorming en nadelige gevolgen daarvan voor de gezondheid te voorkomen. In veel landen wordt in de bouwverordening voor woningen een ventilatiecapaciteit van circa 0,5 ACH geëist.

Een vaste luchtstroomcapaciteit is met natuurlijke ventilatie moeilijk te garanderen omdat deze afhankelijk is van de weersomstandigheden buiten. Om te komen tot een eenvoudige manier om

natuurlijke ventilatie in gebouwen op te nemen, wordt de vereiste voor een specifieke luchtverversingscapaciteit in Denemarken uitgedrukt als een specifiek openingsoppervlak naar buiten. Het vereiste oppervlak hangt af van het gebruik en de grootte van de vertrekken. De openingen in woonkamers, slaapkamers enz. voeren frisse lucht naar het gebouw aan, terwijl natuurlijke afvoeleidingen de 'gebruikte lucht' naar buiten afvoeren uit natte ruimtes zoals toiletten, badkamers en keukens.

IAQ-indicatoren zijn een andere manier om met (geautomatiseerde) natuurlijke ventilatie een bepaald IAQ-niveau te bereiken. Helaas zijn bijna alle bouwreglementen voor woningen gebaseerd op een vaste minimale luchtstroomcapaciteit, waarbij IAQ-indicatoren alleen kunnen worden gebruikt voor een grotere ventilatiecapaciteit.

Normen:

In nationale normen en richtlijnen worden diverse criteria en IAQ-niveaus en verschillende berekeningswijzen voor natuurlijke ventilatie beschreven.

Criteria voor de beoordeling van het binnenmilieu, het ontwerp en de energieprestaties worden beschreven in EN 15251. Deze standaard bevat criteria voor de thermische omgeving, de binnenluchtkwaliteit, de verlichting en de akoestiek.

Er zijn verschillende manieren opgenomen om de IAQ-criteria te beschrijven via de luchtstroomcapaciteit of IAQ-indicatorniveaus op grond van het gewenste gebruik en comfort. De criteria zijn onderverdeeld in vier klassen. Klasse I stelt zeer hoge prestatie-eisen en is bedoeld voor personen met speciale behoeften. Klasse IV stelt de laagste prestatie-eisen en is alleen acceptabel voor korte periodes. Er zijn een paar uitgangspunten om de juiste luchtstroomcapaciteit te bepalen:

- Op grond van gezondheid via criteria gebaseerd op de impact van ventilatie op onze gezondheid
- Op grond van waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen (personen die een bezet vertrek van buiten binnenkomen)
- Op grond van waargenomen luchtkwaliteit voor aangepaste personen (personen die langere tijd in hetzelfde vertrek blijven)

- Op ervaring gebaseerde vereisten waarvan wordt gedacht dat deze zorgen voor een acceptabel vochtigheidsniveau bij normaal gebruik van het huis

De vereiste luchtstroomcapaciteit is voor aangepaste personen heel anders dan voor niet-aangepaste. Er is ook een groot verschil tussen de op gezondheid gebaseerde benadering en de waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen. Het gebruik van de criteria voor waargenomen luchtkwaliteit voor niet-aangepaste personen leidt tot de grootste ventilatiecapaciteit: bijna twee keer zo groot als voor aangepaste personen. EN 15251 bevat voorbeelden van de luchtstroomcapaciteit voor aangepaste en niet-aangepaste personen.

Voor woningen is het redelijk aan te nemen dat de mensen zijn aangepast aan de binnenlucht en dat de luchtstroomcapaciteit op die grond kan worden bepaald (of volgens de aanpak die op gezondheid is gebaseerd).

	Normen, richtlijnen
Vereenvoudigde berekeningsmethoden	EN 15242:2009, prEN 15242:2015, DIN 1946-6
Gedetailleerde berekeningsmethoden	BS 5925:1991, AIVC, CIBSE AM 10, SBI 202

Voor kantoorgebouwen, restaurants winkels enz., waarin mensen voortdurend ruimtes binnenkomen en verlaten, is het redelijk aan te nemen dat de mensen niet-aangepast zijn.

De criteria voor IAQ in EN 15251 zijn hoofdzakelijk gebaseerd op onderzoeken naar waargenomen luchtkwaliteit in kantoren. De IAQ in woningen is echter veel minder onderzocht. De reglementaire vereisten voor ventilatiecapaciteit in woningen zijn dus meestal gebaseerd op een vochtbalans van het gebouw.

De effecten die ventilatie op de gezondheid heeft, zijn alleen in beperkte mate onderzocht. Er zijn echter een paar aanwijzingen dat een minimale totale luchtstroomcapaciteit van 4 l/s om gezondheidsredenen altijd moet worden gerespecteerd. Deze waarde wordt in EN 15251 aanbevolen als de minimale ventilatiecapaciteit.

Voor vereenvoudigde berekeningsmethodes is enkelzijdige natuurlijke ventilatie opgenomen in EN 15242:2009. De gereviseerde versie van deze standaard (gepland voor 2015) zal naar verwachting alle soorten natuurlijke ventilatie betreffen. Voor gedetailleerde berekeningsmethoden worden alle soorten natuurlijke ventilatie behandeld in de beschreven documenten.

A photograph of a modern, white-framed skylight window installed in a white ceiling. The window is partially open, revealing a view of green foliage outside. In the foreground, on a white ledge, there is a small potted aloe vera plant, a white cylindrical container, and a clear glass bottle with a silver pump dispenser. The text "Thermisch comfort" is overlaid on the left side of the image.

Thermisch
comfort

Thermisch comfort

Onbewust proberen we elke dag thermisch comfort te vinden. Een van de hoofddoelen van een gebouw is om ons te beschermen tegen extreme omstandigheden van buiten. Voor de meeste mensen is thermisch comfort vanzelfsprekend. Er is echter energie voor nodig om dit te verkrijgen, bijvoorbeeld door verwarming of koeling. Bij het ontwerpen van een gebouw is het belangrijk om na te denken over thermisch comfort: een ontwerp dient een goede thermische omgeving te bieden op basis van energie-efficiënte technologieën, zoals natuurlijke ventilatie, zonwering en een intelligent bouwontwerp.

3.1 Het bereiken van thermisch comfort

Thermisch comfort kan worden beschreven als 'de geestestoestand die tevredenheid toont met de thermische omgeving' (CEN, 2005).

Thermisch comfort is meer dan een aangename omgeving: het is onderdeel van een cruciaal overlevingsgedrag. Wanneer mensen het te warm of te koud hebben, wordt het waarschuwingssysteem geactiveerd door het oerinstinct van het lichaam. Het menselijk lichaam is een bijzonder efficiënte machine en is in staat de kerntemperatuur heel dicht bij 37°C te houden. Sommige handelingen zijn onbewust, zoals het bloed uit niet-centrale gebieden, zoals handen en voeten, omleiden om belangrijke organen warm te houden in koude omstandigheden, of beginnen te zweten in warme omstandigheden. Bewuste handelingen zijn onder andere het verwijderen van kleding of juist het aantrekken van extra kleding en het aanpassen van

ons activiteitsniveau. Maar hoe je er ook naar kijkt, de juiste thermische omstandigheden zijn noodzakelijk om te overleven (Baker, 2009). En als de thermische omgeving niet aan de verwachtingen voldoet, zullen de personen in het gebouw de thermische omgeving gaan proberen te beïnvloeden door plaatselijke elektrische verwarmings- of koeleenheden te installeren, apparaten die extra energie gebruiken wat voorkomen had kunnen worden als het gebouw om te beginnen al was ontworpen met het oog op thermisch comfort.

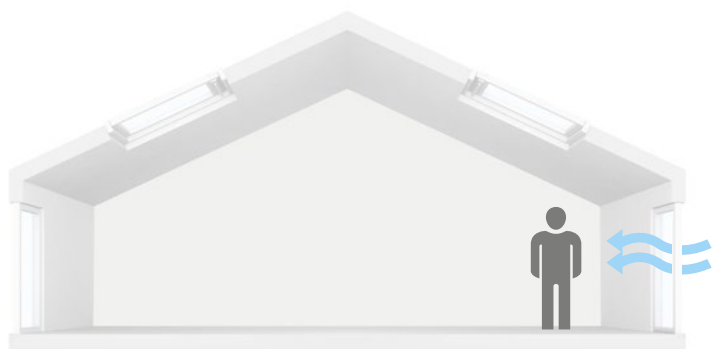
Veel mensen associëren thermisch comfort direct met de luchttemperatuur, maar dit is niet helemaal waar, aangezien de temperatuur die subjectief in een ruimte wordt ervaren een combinatie is van verschillende factoren. De belangrijkste factoren vormen zonder twijfel de verschillende verwachtingen van mensen met betrekking tot thermisch comfort. Het kan dus alleen berekend worden voor de gemiddelde persoon, en de individuele ervaring is cruciaal.

❗ Vergeet niet

Thermisch comfort is afhankelijk van meer factoren dan alleen luchttemperatuur, zoals activiteit, kleding en individuele voorkeuren van de personen in het gebouw.

3.1.1 Thermisch ongemak

Thermisch ongemak treedt op als de thermische omgeving niet voldoet aan wat de menselijke geest of het menselijk lichaam nodig heeft. In een koude omgeving hebben we het koud en gaat de temperatuur van onze handen en voeten omlaag: we krijgen kippenvel en beginnen zelfs te rillen. In extreme gevallen leidt dit zelfs tot onderkoeling. En in het andere uiterste geval, beginnen we in een warme omgeving te zweten, wat in extreme gevallen leidt tot oververhitting. Al deze reacties zijn het antwoord op een oncomfortabele omgeving. Hieronder staan enkele voorbeelden van concrete gevallen van ongemak.



Figuur 3.1 Persoon blootgesteld aan onaangename luchtstroom.

Tocht

Het gevoel van tochten is afhankelijk van de luchttemperatuur, luchtstroming en luchtcirculatie. Het menselijk lichaam is niet in staat om de echte luchtstromingen te voelen op lage snelheid, maar het voelt wel hoe de huid steeds verder afkoelt, wat veroorzaakt wordt door de luchtstromingen.

Als de VELUX-dakramen niet goed worden onderhouden, kan dit een bron van tocht worden. Oudere dakramen waarvan de afdichting beschadigd is, kunnen tochtig zijn en 's winters koude lucht in de ruimte laten. Regelmatig onderhoud is dus nodig om te zorgen dat het raam goed blijft. Oude en grote vensters kunnen koudeval bij de ramen veroorzaken, waarbij een koude binnentemperatuur van het venster ertoe leidt dat de lucht afkoelt en zo een neerwaartse luchtbeweging ontstaat. Met nieuwe, energiezuinige vensters is het risico op tocht minimaal.

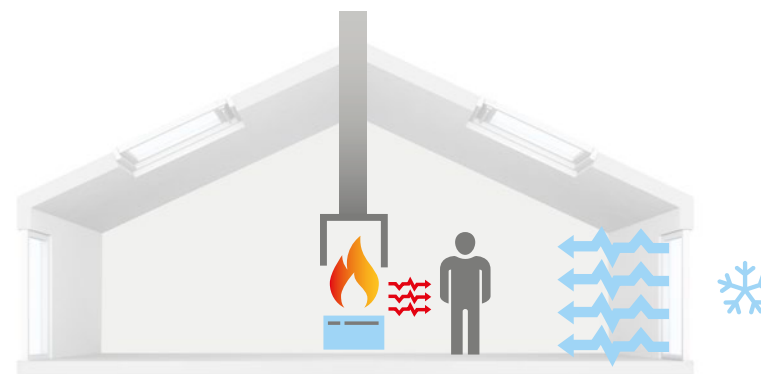
Asymmetrische stralingstemperatuur

Dit verschijnsel kan het best vergeleken worden met een persoon die tijdens een koude nacht voor een haardvuur zit. De ene kant van de persoon is warm en de andere kant is koud, terwijl de luchttemperatuur hetzelfde is. Het verschil in thermische waarneming wordt veroorzaakt door het verschil in stralingstemperatuur tussen het haardvuur en de koude omgeving.

Asymmetrische stralingstemperatuur kan op twee manieren voorkomen bij VELUX-producten:

In de winter, wanneer de binnenkant van het venster erg koud is vanwege het hogere warmteverlies ten opzichte van de muren. Maar, net zoals bij tocht, veroorzaken nieuwe ramen hiermee zelden problemen. Een luik of kap aan de binnen- of buitenkant kan het risico verlagen of zelfs uitsluiten.

En in de zomer, als de personen in het gebouw blootgesteld worden aan direct zonlicht, kan zonwering worden gebruikt om directe zonnestraling te blokkeren en thermisch ongemak te voorkomen.



Figuur 3.2 Persoon blootgesteld aan een koud en een warm oppervlak.

❗ Vergeet niet

In de meeste gevallen kan thermisch ongemak verminderd worden door het gedrag van de gebruiker, zoals door een raam dicht te doen, ergens anders in de ruimte te gaan zitten of meer kleren aan te trekken.

3.1.2 Factoren die van invloed zijn op thermisch comfort

Er zijn veel experimenten gedaan om er achter te komen wat van invloed is op ons gevoel in de thermische omgeving (Fanger, 1970). Het resultaat van deze experimenten is de basis voor de ISO 7730 (ISO 2005)-standaard. Ergonomie van de thermische omgeving (CEN 2005).

Er zijn zes factoren in het bijzonder van invloed op het gevoel van thermisch comfort:

- De activiteit van een persoon, over het algemeen aangeduid met metabolisme of stofwisseling [met].
- Hoeveel kleding een persoon draagt, over het algemeen aangeduid met de kledingindex [clo, van clothing index].
- De luchtstroming (luchtsnelheid)[m/s].
- De gemiddelde stralingstemperatuur [°C], wat een gewogen gemiddelde is van de verschillende oppervlaktetemperaturen (muren, plafond, vloer en ramen) in een ruimte vanuit de positie van de persoon in die ruimte.

- De luchttemperatuur [°C] in de ruimte.
- De luchtvochtigheid in de ruimte.

Van deze zes factoren worden vier beïnvloed door ramen en hun toebehoren, en daarmee door VELUX-producten. De luchtsnelheid en luchtvochtigheid worden beïnvloed door het gebruik van ramen voor ventilatie. Zowel de ventilatieklep als de gewone opening spelen een rol. Luchttemperatuur en stralingstemperatuur worden beïnvloed door de warmteoverdracht en het zonlicht dat door de ramen komt en door het gebruik van toebehoren als rolgordijnen en jaloezieën.

Er is echter een zevende factor die ook van belang is: de menselijke geest. Het is aangetoond dat individuele verwachtingen van invloed zijn op het aanvaarden van thermisch comfort. In een warm klimaat in het bijzonder is aangetoond dat de verwachting van de personen in het gebouw van invloed waren op het comfortbereik.

Vergeet niet

Mensen zijn allemaal verschillend en willen een allemaal een andere thermische omgeving.

3.1.3 Voorkeuren voor verschillende temperaturen

NEN-EN ISO 7730 (ISO, 2005) is gebaseerd op onderzoeken in klimaatkamers. Deze laten zien dat mensen in principe dezelfde thermische voorkeur hebben, ongeacht waar ze op aarde wonen (de Dear et al., 1997). Deze filosofie voor het beoordelen van thermisch comfort is gebaseerd op de aanname dat neutraal de optimale staat is van thermisch comfort. Een constante temperatuur die door de dag heen niet varieert hoeft echter niet de voorkeur van mensen te hebben. Onderzoeken tonen aan dat we de voorkeur geven aan variatie in temperatuur, en dat veranderingen in en rondom de neutrale temperatuur als aangenaam worden ervaren. (de Dear, 2006).

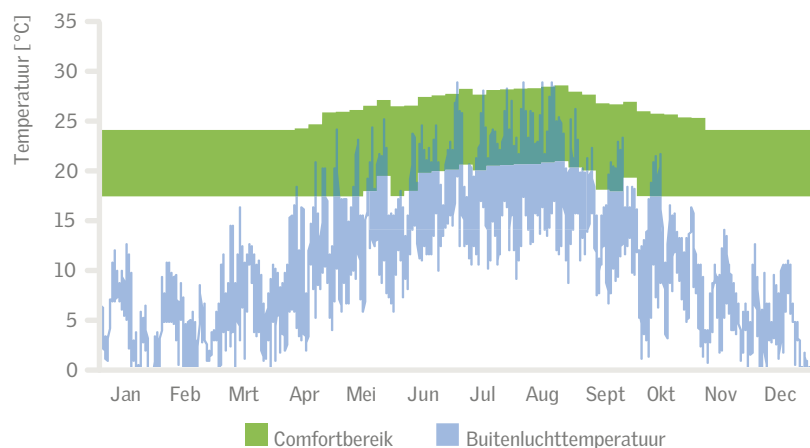
Als mensen willen we in feite juist variatie in onze thermische omgeving. We hebben behoefte aan fysieke en zintuiglijke stimulans. Een manier om dit te bereiken is door de binnentemperatuur te variëren om 'thermische verveeling' tegen te gaan (McIntyre, 1980; Kwok, 2000). Heschong (Heschong, 1979), pleit voor een omgeving met fysieke variatie in plaats van een statische omgeving, en omschrijft comfort als de relatie tussen thermische tevredenheid en de menselijke verbeelding. Als mensen zijn we in staat tot het herkennen en onthouden van, en onszelf aanpassen aan de meeste thermische ervaringen.

3.1.4 Aanpassen aan een warm klimaat

Tegelijkertijd tonen veldonderzoeken ook aan dat personen die in een natuurlijk geventileerd kantoorgebouw werken in een warm klimaat hogere temperaturen acceptabel vinden (de Dear and Brager, 1998). De NEN-EN 15251 (CEN, 2007)-standaard legt beperkingen op aan de acceptabele binnentemperatuur voor natuurlijk geventileerde gebouwen. Met deze temperatuurniveaus wordt ervan uitgegaan dat personen zelf hun kleding kunnen aanpassen en de ramen kunnen bedienen. Aanvaardbare binnentemperaturen, op basis van het 'voortschrijdend gemiddelde' van de buitentemperatuur in de voorafgaande week, staan in figuur 3.3. Een voortschrijdend gemiddelde is een gewogen gemiddelde over een bepaalde tijd, waarin de laatste tijdsperiodes het zwaarste wegen.

Wat woonhuizen betreft kan worden aangenomen dat bewoners hun kleding zullen aanpassen voor meer comfort, en in gebouwen met VELUX-dakramen zullen ze het raam bedienen. Deze aannames werden gebruikt voor de aanpassingsmethode.

Het gevolg van het aanpassen is dat thermisch comfort bereikt kan worden in warme klimaten, zonder airconditioning, door gebruik van natuurlijke ventilatie, zonwering en een intelligent gebouwonwerp. Dit zorgt voor aanzienlijk minder energieverbruik (zie paragraaf 5.4.4). 



Figuur 3.3 De figuur geeft het comfortbereik in Denemarken weer. De berekening is gebaseerd op de aanpassingsprincipes van NEN-EN 15251 (CEN 2007).

3.2 De invloed van de thermische omgeving op de gezondheid

In de vorige paragraaf werd besproken hoe de thermische omgeving van invloed is op het comfort van de personen in een gebouw. En het effect op comfort is de grootste invloed die de thermische omgeving heeft op personen in een gebouw. De thermische omgeving heeft echter ook gevolgen voor de gezondheid. Dit wordt besproken in de volgende paragraaf.

3.2.1 Hittetoeval

Een hittetoeval is de meest ernstige aandoening die veroorzaakt wordt door warmte. Dit komt voor wanneer het lichaam niet meer in staat is om de eigen temperatuur te reguleren: de lichaamstemperatuur schiet naar boven 40°C, het zweetmechanisme werkt niet meer en het lichaam is niet in staat om zichzelf af te koelen. Binnen 10 tot 15 minuten kan de lichaamstemperatuur zelfs nog verder stijgen, waarbij een groot aantal belangrijke lichaamsfuncties uitvallen. Een hittetoeval kan dodelijk zijn of leiden tot blijvende handicap als er geen eerste hulp wordt verleend. (Jonge) kinderen en ouderen zijn vatbaarder voor hittegerelateerde ziekten dan andere leeftijdscategorieën.

3.2.2 Effect van gelijkmatige binnentemperatuur

Veel tijd binnen in een redelijk constante temperatuur doorbrengen kan een negatief effect hebben op de gezondheid. Tijd binnen doorbrengen in een koelere temperatuur (bijv. onder de 20°C) kan de lichaamsprocessen stimuleren die helpen zwaarlijvigheid te voorkomen (van Marken Lichtenbelt et al., 2009; Bluysen, 2013).

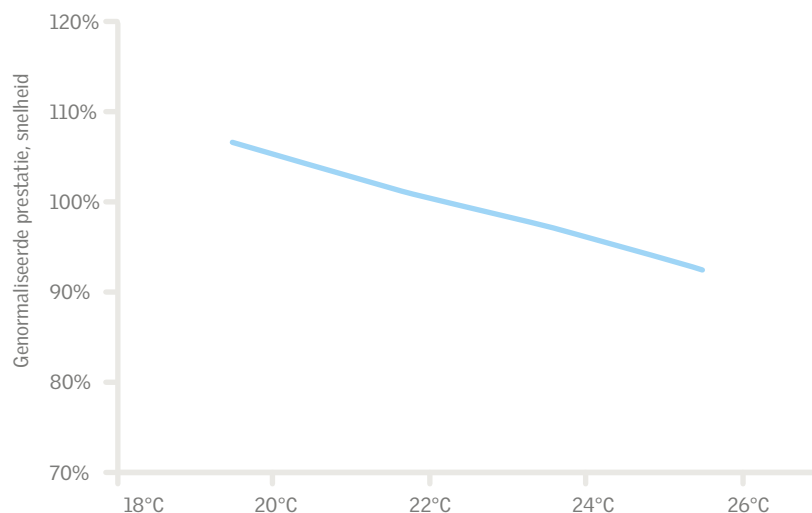
3.2.3 Slaapkwaliteit

De temperatuur in de slaapkamer heeft effect op de slaapkwaliteit. Er zijn veel verschillende persoonlijke en cultuurgebonden voorkeuren. Sommigen hebben het liefst altijd hun slaapkamerraam open en de verwarming uit, zelfs in hartje winter, terwijl anderen graag willen dat de temperatuur in de slaapkamer hetzelfde is als in de rest van het huis. Sommigen geven de voorkeur aan dunne lakens of dekens, terwijl anderen juist een dik dekbed willen. Verrassend genoeg zijn er maar weinig onderzoeken die een wetenschappelijk antwoord geven op deze discussie. Er is geen duidelijke richtlijn welke temperatuur en welk beddengoed zorgen voor de beste slaapkwaliteit. Wat wel bekend is, is dat een te warme kamer leidt tot een slechtere slaapkwaliteit. De slaapkamer dient niet te warm te zijn, en het is vooral belangrijk dat het niet te warm is op het moment dat u in slaap valt. Volgens CIBSE Guide A kan een effectieve temperatuur van meer dan 24°C de slaap verstoren (Laverge et al., 2011; CIBSE, 2006).

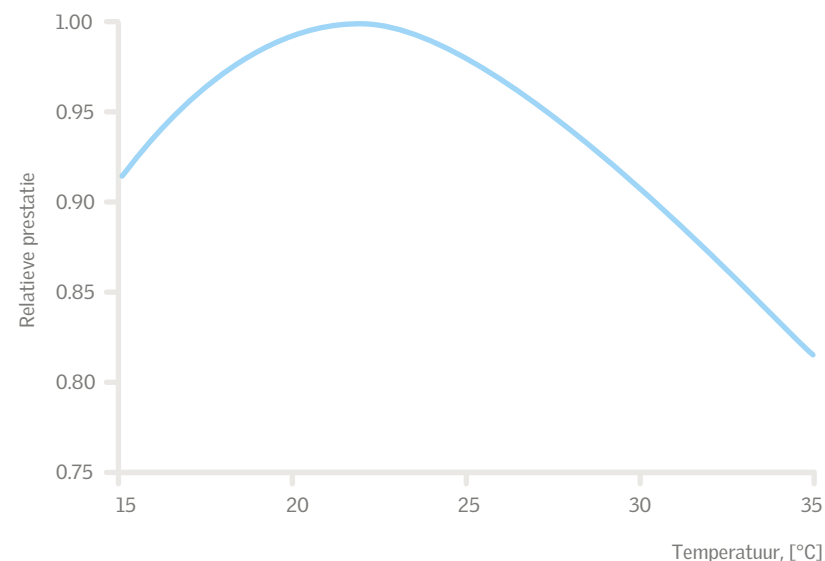
3.3 Productiviteit en leren

De meeste onderzoeken naar het effect van temperatuur zijn uitgevoerd in klimaatkamers. Deze tonen aan dat de mogelijkheid om te leren en taken uit te voeren wordt beïnvloed door de thermische omgeving. De temperatuur is niet van invloed op het relatieve aantal gemaakte fouten in zowel school- als kantoorwerk, terwijl de relatieve snelheid van het leren en werken afneemt. Voor zowel kantoor-

en schoolwerk geldt dat het effect te zien is door een zeer hoge temperatuur te vergelijken met een meer gangbare temperatuur: de relatieve prestatie wordt over het algemeen met 10% verbeterd. (Wargocki en Wyon, 2006; Wargocki et al., 2007). Het is niet bekend of een verhoogde temperatuur leidt tot verminderde prestaties in natuurlijk geventileerde gebouwen waar de personen in het gebouw zich hebben aangepast aan de temperatuur.



Figuur 3.4 Het effect van temperatuur op de relatieve prestaties in schoolwerk (Wargocki, 2006).



Figuur 3.5 Het effect van temperatuur op de relatieve prestaties in kantoorwerk (Wargocki, 2006).

Psychologische mechanismen kunnen het effect op de prestaties beïnvloeden: zowel kantoorpersoneel als schoolkinderen kunnen zich bewust zijn van het aantal gemaakte fouten in een taak, en hun snelheid aanpassen op het aantal fouten op een acceptabel niveau te houden.

3.4 Thermisch comfort met dakramen en zonwering

De combinatie van ramen en een warmtebron (zoals een open haard) is een van de oudste manieren om tijdens koude periodes thermisch comfort te bereiken in een gebouw. Vandaag de dag is het installeren van een systeem dat factoren kan aanpassen de eenvoudigste manier om thermisch comfort te bereiken. De meeste huizen hebben een geïnstalleerd verwarmings-systeem en in warme klimaten mogelijk ook een koelsysteem. Ramen kunnen op een warme zomerdag echter ook voor verkoeling zorgen in een gebouw.

Ramen kunnen tocht en asymmetrische temperatuur veroorzaken, zoals eerder werd beschreven. Het kan lastig zijn om te bepalen of het gevoel van kou wordt veroorzaakt door tocht uit een raam of door koude straling. Een tochtig raam kan worden gerepareerd door de afdichting en/of de beglazing, of zelfs het hele raam te vervangen. Koude straling kan tot op zekere hoogte worden beperkt door een scherm aan de binnenkant dat de temperatuur van het binnenoppervlak kan verhogen.

3.4.1 Rolgordijnen en jaloezieën

Rolgordijnen en jaloezieën blokkeren de zonnestraling en beperken zo de hoeveelheid warmte die een kamer binnenkomt. In de zomer kan het gebruik van de juiste zonwering vaker of zelfs helemaal voorkomen dat het te warm wordt. 's Winters kan dit ook de thermische isolatie van ramen verbeteren. Het kan thermisch ongemak door koude straling en asymmetrische temperatuur verminderen. En nog beter: als dit 's nachts wordt toegepast kan deze extra isolatie ervoor zorgen dat er minder verwarming nodig is. Met betrekking tot energie dient zonwering in de winter alleen 's nachts gebruikt te worden, omdat de zonne-opbrengst vaak belangrijker is dan het warmteverlies. [\(zie paragraaf 5.4.3\).](#)

Voorbeeld: zonwering verlaagt de gevoelstemperatuur onder sterke zonnestraling met verschillende beglazing en toebehoren.

De gemeten waarden zijn het resultaat van een klein experiment. De operationele temperatuur werd gemeten achter een glazen eenheid met verschillende zonweringstoebereidingen om het effect aan te tonen van verschillende soorten zonwering.

Beglazing (V21)	Toebehoren	Operatieve temperatuur [°C]
59 Energie-besparend		34,0
76G Energie-besparend, zonwerend		29,3
59 Energie-besparend	RFL Rolgordijn	29,0
59 Energie-besparend	MHL Zonneschermb	28,7
59 Energie-besparend	MHL + RFL Zonneschermb + rolgordijn	26,6
	Jaloezieën	26,2

❗ Vergeet niet

De verwachting van de thermische omgeving in natuurlijk geventileerde gebouwen is afhankelijk van de buitentemperatuur.

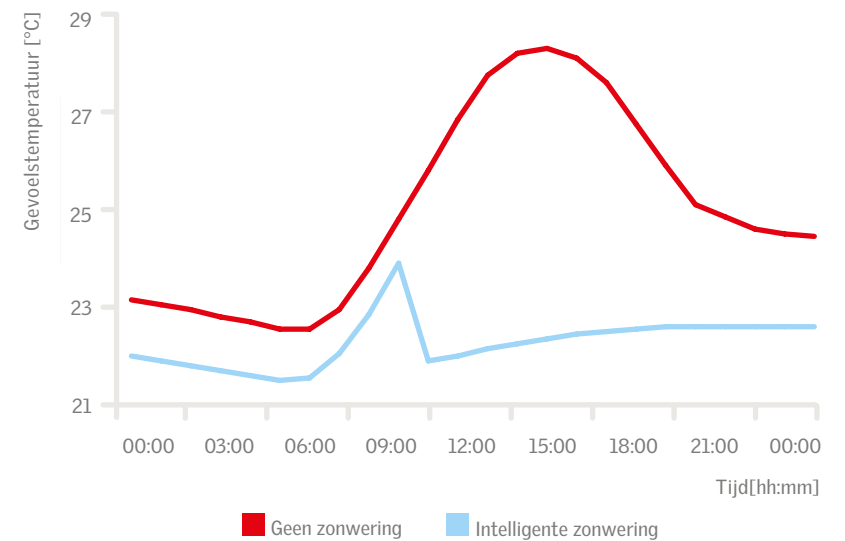


Rolgordijn.

Voorbeeld: Zonwering als koeling

Bij een onderzoek van het CTSB in Frankrijk in een zolderkamer werd gekeken hoe zonwering kon worden gebruikt om een mechanisch koelsysteem te ondersteunen of te vervangen. Er werden simulaties gemaakt voor Hamburg, München en Stuttgart in Duitsland, en Parijs, Lyon en Marseille in Frankrijk (Couillard, 2010).

De conclusie op locaties in Duitsland zowel als Frankrijk was dat de gevoelstemperatuur met 7°C verlaagd kon worden door een zonweringsapparaat te gebruiken. Energie voor koeling was op alle locaties niet meer nodig, behalve in Marseille, waar 90% minder energie nodig was. De figuur geeft de gevoelstemperatuur weer op een normale warme en zonnige dag in Parijs, met en zonder zonwering.



Figuur 3.6 Gevoelstemperatuur weer op een normale warme en zonnige dag in Parijs, Frankrijk (Couillard, 2010).

3.4.2 Ventilatiekoeling

Ventilatiekoeling verwijst naar het gebruik van natuurlijke of mechanische ventilatiestrategieën om binnenruimtes af te laten koelen. Het gebruik van buitenlucht verlaagt het energieverbruik van koelsystemen terwijl het thermisch comfort behouden blijft. De meest gebruikte techniek is het gebruik van een verhoogde luchtstroomsnelheid en nachtelijke ventilatie. Ventilatiekoeling kan worden toegepast in een groot aantal gebouwen en kan cruciaal zijn in het behalen van doelen met betrekking tot energiebesparing in verbouwde of nieuwe nulenergiewoningen (venticool.eu).

Natuurlijke ventilatiekoeling door het openen van een raam is een directe en zeer snelle methode om de thermische omgeving te beïnvloeden. Een open raam zorgt voor meer luchtstroom en als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur, zal de binnentemperatuur dalen. Zelfs als de buitentemperatuur iets hoger is dan de binnentemperatuur, zorgt de verhoogde

luchtsnelheid dankzij de luchtstroom er toch voor dat het lichaam afkoelt en het thermische gevoel afneemt. Ventilatiekoeling kan verdeeld worden in twee strategieën wat betreft natuurlijke ventilatie: ventilatie overdag en ventilatie 's nachts.

- Ventilatie overdag haalt de overmatige warmte uit het gebouw via luchtstromingen door natuurlijke ventilatie.
- Ventilatie 's nachts (ook wel nachtkoeling genoemd) zorgt ervoor dat de thermische massa van een gebouw afkoelt door gebruik van de koele buitenlucht. De volgende dag is er minder (of geen) koelenergie nodig in het gebouw, omdat de thermische massa al is afgekoeld. Gebouwen met een hoge thermische massa nemen gedurende de dag meer warmte op die afgevoerd moet worden. Dit zijn een ideale omstandigheden voor een nachtkoelingsstrategie (zie figuur 2).



Figuur 3.7 Passieve koeling in de nacht (nachtkoeling).

Nachtkoeling is een onderdeel van ventilatiekoeling. [zie paragraaf 3.4.3.](#)

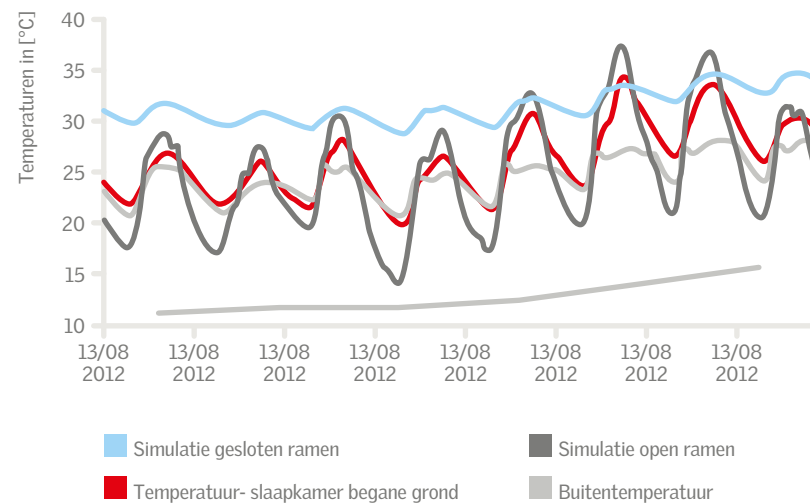
Voorbeeld van MH 2020

In het modelhuis in Frankrijk, Maison Air et Lumière (MAL) werden gedurende de zomer van 2012 de ventilatiesnelheid en het bijbehorende temperatuurresultaat onderzocht. Met een combinatie van metingen en gedetailleerde simulaties werd het effect van ventilatiekoeling op de binnentemperatuur bepaald door het Institute Armines (Favre, 2013). De eerste stap was het nagaan of het simulatiemodel klopte met de gemeten waarden op basis van de geselecteerde bediening van het gebouw. Vervolgens werden varianten op die bediening gesimuleerd met reële weergegevens. Hierdoor was het mogelijk om het effect van bijvoorbeeld ventilatiekoeling (open ramen) te bepalen ten opzichte van gesloten ramen.

Wanneer ventilatiekoeling werd gebruikt zoals het bedoeld was, was de binnentemperatuur vaak 5-8°C lager dan wanneer deze niet gebruikt zou zijn. Het was zelfs mogelijk om de binnentemperatuur gedurende de dag lager te houden dan de buitentemperatuur (vooral als het bedieningssysteem in MAL werd gebruikt), door alleen ramen te openen wanneer het netto-effect op het thermisch comfort positief was.



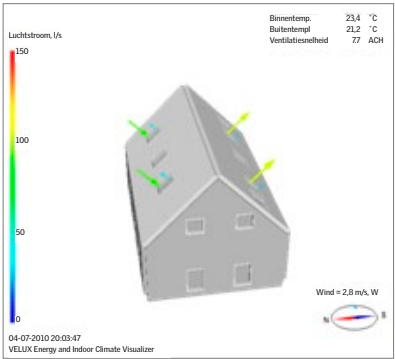
Maison Air et Lumière.



Figuur 3.8 Slaapkamer op de begane grond in MAL De blauwe grafiek geeft de gesimuleerde binnentemperatuur weer wanneer de ramen continu gesloten zijn. De donkergrijze grafiek geeft de gesimuleerde binnentemperatuur weer wanneer de ramen continu geopend zijn. De rode grafiek geeft de gemeten binnentemperatuur weer wanneer de ramen bediend worden door het MAL-bedieningssysteem. De lichtgrijze grafiek geeft de buitentemperatuur weer.

Voorbeeld: Ventilatiekoeling in noord-Europa

De VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer wordt gebruikt om het effect van ventilatiekoeling te onderzoeken in een huis in Stockholm. De behaalde ventilatiestroom per raam zijn binnen het bereik van 40-70 l/s wanneer de ramen worden gebruikt om een aangename temperatuur te behouden, en de ventilatiesnelheid in het huis is binnen het bereik van 5-8 ACH als er 15 ramen geopend zijn.



	Bezettijd per jaar met temperaturen buiten het comfortbereik
Zonder ventilatie in de zomer	3% (304 uur)
Met ventilatie in de zomer	0% (0 uur)

Het resultaat in de tabel laat zien dat, zonder ventilatiekoeling, het gedurende 3% van de bezette uren per jaar te warm is en dat met ventilatiekoeling het probleem geheel verholpen is. Het gebruik van natuurlijke ventilatie verbetert de thermische omgeving in de zomer.

Vergeet niet:

Het openen van een raam is een effectief middel tegen de warmte.

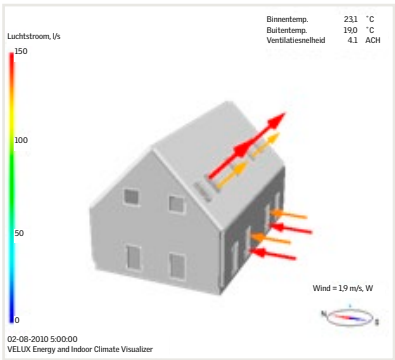
3.4.3 Nachtkoeling

Bij nachtkoeling wordt gebruik gemaakt van het feit dat de buitentemperatuur 's nachts lager is dan overdag. Als er 's nachts ramen open zijn, is de temperatuur in huis 's ochtends

afgenomen tot bijvoorbeeld 21°C. De binnentemperatuur loopt gedurende de dag weer op, maar is 's middags lager dan wanneer nachtkoeling niet was toegepast. Meestal kan de binnentemperatuur onder de buitentemperatuur gehouden worden.

Voorbeeld: nachtkoeling in zuid-Europa.

De VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer wordt gebruikt om het effect van nachtkoeling te onderzoeken in een huis in Rome. De behaalde ventilatiestromen per raam zijn binnen het bereik van 50-100 l/s wanneer 8 ramen worden gebruikt voor nachtkoeling, en de ventilatiesnelheid in het huis is binnen het bereik van 4-6 ACH.



	Bezettijd per jaar met temperaturen buiten het comfortbereik
Zonder nachtkoeling	12% (1043 uur)
Met nachtkoeling	9% (757 uur)

Het resultaat in de tabel laat zien dat, zonder nachtkoeling, het gedurende 12% van de bezette uren per jaar te warm is en dat met nachtkoeling het probleem teruggebracht is naar 9%, wat nog verder verminderd kan worden met zonwering. Het gebruik van natuurlijke ventilatie voor nachtkoeling verbetert daarom de thermische omgeving in het huis.

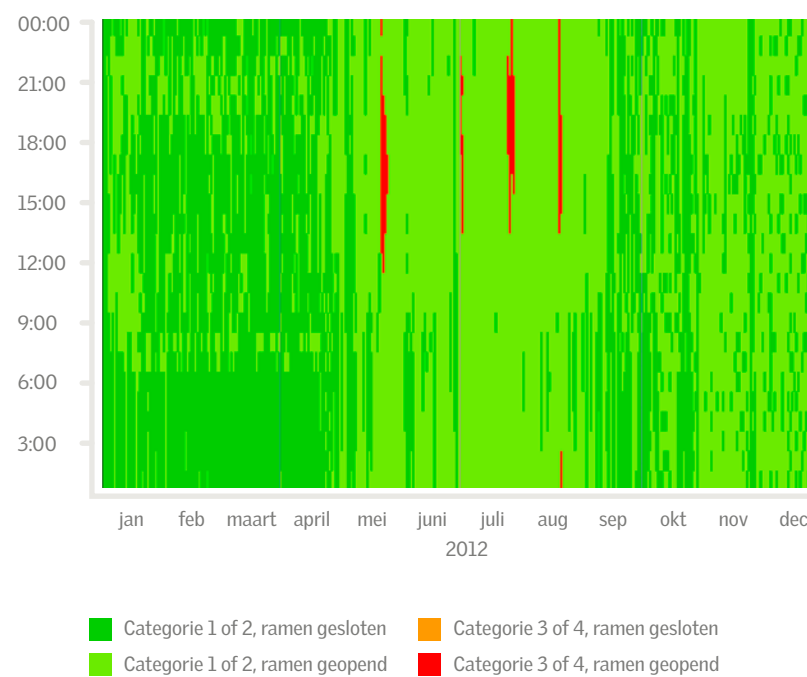


LichtAktiv Haus.

Voorbeeld: nachtkoeling in ModelHome 2020, het LichtAktiv Haus-project

Het gebruik van ramen voor ventilatiekoeling en in het bijzonder nachtkoeling is onderzocht in de Modelhome 2020-projecten van VELUX. Het openen van ramen gebeurde automatisch om een binnentemperatuur te behouden die in categorie 1 of 2 viel. Figuur 3.9 vanuit de keuken en woonkamer geeft weer wanneer dit werd bereikt en hoe de ramen werden gebruikt. Het algemene resultaat was dat bijna het hele jaar categorie 1 of 2 werd bereikt, met uitzondering van ongeveer 10 middagen; een bijzonder goede prestatie. Donkergroen staat voor gesloten ramen, lichtgroen staat voor geopende ramen. Het is duidelijk dat de ramen gedurende de herfst en lente overdag afwisselend open en dicht waren, en in de zomer bijna continu geopend waren. Het is ook te zien dat in de zomer de ramen 's nachts ook geopend waren, wat betekent dat nachtkoeling onderdeel was van het bereiken van de goede thermische omgeving (Foldbjerg et al., 2014).

LichtAktiv Haus



Figuur 3.9 Tijdmap van de keuken en woonkamer in het LichtAktiv Haus die de combinatie tussen open of gesloten ramen en de thermisch comfort-categorie volgens de Active House-specificatie weergeeft.

3.4.4 Automatische bediening

Bij een automatisch bedieningssysteem voor thermisch comfort horen natuurlijk de dynamische elementen die van invloed zijn op de thermische omgeving: elektrische raamopeningen, externe zonwering en/of interne rolgordijnen. De meest betrouwbare oplossing is een bediening met sensor. Een tijd klok kan ook goede prestaties leveren.

Het voordeel van een automatisch bedieningssysteem is de mogelijkheid tot het aanpassen van het raam en toebehoren om tegemoet te komen aan de eigenlijke behoeften van de personen in het gebouw. Als de zonneopbrengst ertoe leidt dat het te warm wordt, wordt de externe zonwering gebruikt. Als het met betrekking tot energie en comfort mogelijk is, wordt de zonwering weer uitgezet.

VELUX ACTIVE Climate Control en Energy Balance zijn goede voorbeelden van automatische bedieningssystemen. Energy Balance is een tijdgestuurde functie die beschikbaar is voor alle VELUX Integra- en Solar-producten met io-homecontrol. VELUX ACTIVE Climate Control is een bedieningssysteem met sensoren dat ook gebruikt kan worden met alle elektrische VELUX-producten die compatibel zijn met io-homecontrol®.

Het algoritme van VELUX ACTIVE Climate Control is gevalideerd door het Franse instituut voor onderzoek naar bouwconstructies CTSB voor locaties in zowel Duitsland als Frankrijk (Couillard, 2010). Uit de resultaten blijkt dat dynamische zonwering de waargenomen temperatuur in de zomer met wel 7°C kan verlagen, en in de meeste gevallen kan voorkomen dat het te warm wordt (of de benodigde koeling kan terugbrengen met wel 90%).

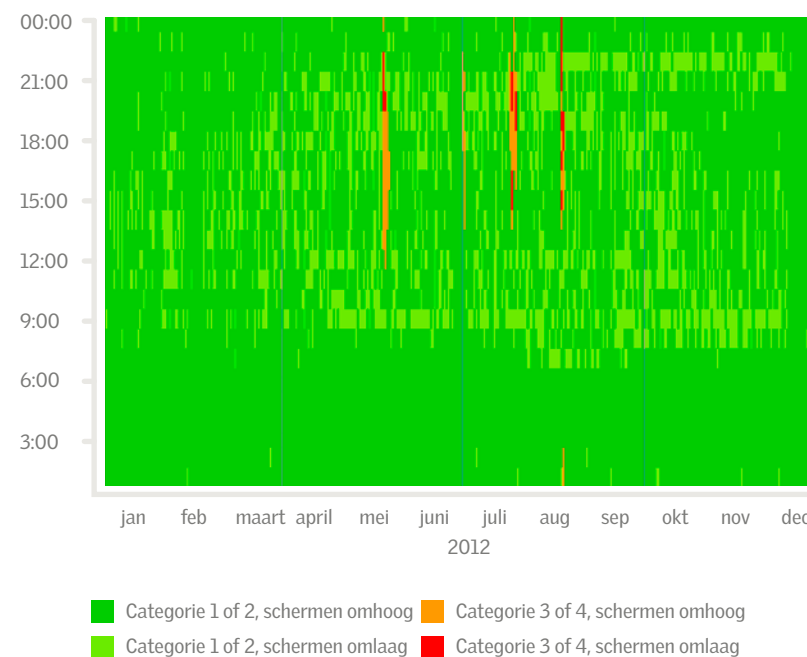
ⓘ Vergeet niet

Automatische bediening van ramen en zonwering kan voorkomen dat het te warm wordt en de behoefte aan mechanische koeling tegengaat.

Voorbeeld: Gebruik van externe zonwering in het ModelHome 2020-project Sunlighthouse

Het ModelHome 2020-project Sunlighthouse van VELUX wordt gebruikt als voorbeeld hoe externe dynamische zonwering (zonnenschermen) wordt gebruikt om te voorkomen dat het te warm wordt. De zonwering werd automatisch bediend, op basis van externe zonnestraling en binnentemperatuur. Figuur 3.10 van de woonkamer in het Sunlighthouse laat zien wanneer zonwering wordt gebruikt en wat de thermisch comfort-categorie is. Het algemene resultaat was dat vrijwel het hele jaar categorie 1 of 2 werd bereikt, een bijzonder goede prestatie. Donkergroen staat voor zonwering die uitgeschakeld is; lichtgroen staat voor ingeschakelde zonwering. In hartje zomer werd de zonwering intensief gebruikt, en daarnaast ook regelmatig in het voor- en najaar. Zonwering speelde een belangrijke rol in het behouden van het thermisch comfort (Foldbjerg and Asmussen, 2013B).

LichtAktiv Haus



Figuur 3.10 Tijdmap van de woonkamer in het Sunlighthouse die de combinatie tussen ingeschakelde of uitgeschakelde zonwering (zonnenschermen) en de thermisch comfort-categorie volgens de Active House-specificatie weergeeft.



Sunlighthouse.

3.5 Soorten bouw en klimaat

Veel van de overwegingen met betrekking bouwsoorten en klimaat in het hoofdstuk Ventilatie zijn ook van toepassing op thermisch comfort. De paragraaf in dit hoofdstuk biedt achtergrondinformatie die specifiek van toepassing is op thermisch comfort.

3.5.1 Verbouwen van woonhuizen

Veel huiseigenaren hebben interesse in het verbeteren van de energieprestaties als onderdeel van een verbouwing. Dit levert over het algemeen een beter thermisch comfort op in de winter, omdat de temperatuur van de binnenoppervlakken omhoog gaat: zo is het makkelijker om de gewenste temperatuur te behouden, en is tocht minder waarschijnlijk. Een verbouwing kan er echter ook toe leiden dat het regelmatig te warm wordt. In veel gevallen moeten warmtemaatregelen worden genomen die voor de verbouwing niet werden gebruikt: anders is de kans groot dat het vaker te warm wordt (Orme, 2003; Carmichael, 2011).

Ventilatiekoeling door natuurlijke ventilatie, in combinatie met dynamische externe zonwering, is bewezen effectief (Foldbjerg et al., 2013C).

Zonwerende beglazing is een voordelig alternatief voor externe zonwering dat

efficiënt kan zijn in het voorkomen dat het te warm wordt, maar tegelijk de energieprestaties van het raam en de daglichttransmissie vermindert. Het is vooral belangrijk om te voorkomen dat de slaapkamer te warm wordt, omdat dit een negatief effect heeft op de slaapkwaliteit.

(zie paragraaf 3.2.3.)

3.5.2 Nieuwbouwhuizen

In nieuwbouwhuizen is de kans dat het te warm wordt nog groter dan in verbouwde huizen. In nieuwbouwprojecten is het echter veel makkelijker om de juiste maatregelen al in de ontwerpfase op te nemen, in plaats van een gebrekkig ontwerp aan te passen als het gebouw al af is.

Het is belangrijk om de prestatie op het gebied van thermisch comfort te beoordelen met betrouwbare simulatietools, zoals de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer.

3.5.3 Energiezuinige huizen

In de meeste woonhuizen en kantoorgebouwen kan het te warm worden als er niet van het begin af aan een ventilatie- en zonweringsstrategie in is opgenomen. In veel gebouwen wordt de warmte tegengegaan met airconditioning, maar natuurlijke ventilatie (passieve koeling) is een goed alternatief, aangezien dit ten opzichte van airconditioning minder energie kost.

In de afgelopen paar jaar is het een aantal energiezuinige huizen, waar het belangrijkste doel een laag verwarmingsverbruik is, regelmatig te warm geworden. Hierbij wordt vaak niet optimaal gebruik gemaakt van passieve technologieën, zoals zonwering en natuurlijke ventilatie (Larsen et al., 2011). De les die hieruit getrokken is, is dat het beter is om natuurlijke ventilatie en ramen die open kunnen in het ontwerp van het gebouw op te nemen, in plaats van mechanische koelsystemen te installeren. In gebouwen met het 'Active House' principe ligt de focus ten eerste op het welzijn van de gebruiker, door een goed binnenklimaat te creëren. In het ontwerp van Active Houses wordt met zonwering en natuurlijke ventilatie optimaal gebruik gemaakt van passieve koeling.

3.5.4 (Kleuter)scholen

Er kunnen wettelijke vereisten zijn aan de maximale temperatuur in (kleuter) scholen. De volgende maatregelen kunnen worden gebruikt om warmte tegen te gaan:

- In de zomer heeft het openen van een raam een positief effect op zowel het thermisch comfort als de binnenluchtkwaliteit. Dit dient dan ook vaak te gebeuren.
- Dynamische externe zonwering vermindert de zonneopbrengst effectief.

- Automatisch geregelde natuurlijke ventilatie zorgt ervoor dat zonwering en natuurlijke ventilatie optimaal gebruikt worden, en wordt aangeraden voor gebruik in scholen. Als het rooster van lessen en pauzes niet vaak wordt gewijzigd, kan een bediening op basis van het rooster voldoende zijn (Dhalluin et al., 2012).

De prestaties kunnen worden nagekeken met een simulatie in de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer (zie paragraaf 2.6.1), die de temperatuur bepaalt en daarin het effect meeneemt van zonwering, ventilatiekoeling en zonwerende beglazing.

Zie figuur 3.12 voor een voorbeeld van een meting van thermisch comfort in een kleuterschool.

In scholen doen VELUX dakramen het goed. In grotere ruimtes doen de VELUX modulaire lichtstraten het goed.

3.5.5 Commerciële gebouwen

Het wordt steeds meer een feitelijke standaard om mechanische koeling (airconditioning) op te nemen in het ontwerp van kantoorgebouwen, zelfs in gebouwen in Noord-Europa. Sommige kantoorgebouwen worden ontworpen zonder mechanische koeling, maar gebruiken in plaats daarvan natuurlijke of hybrideventilatie.

De VELUX modulaire lichtstraten zijn ontworpen voor gebruik in commerciële gebouwen en leveren goede prestaties als opening in een atriumdak. De zonwering die ingebouwd kan worden in de VELUX modulaire lichtstraten biedt zowel goede bescherming tegen de warmte als de mogelijkheid om elk tweede paneel te openen.

De bediening van zonwering en het openen van de VELUX modulaire lichtstraten wordt vaak gedaan door het GBS van het gebouw in een bedieningssysteem waar alle systemen van het gebouw in opgenomen zijn.

3.5.6 Effecten van klimaatverandering en hitte-eilanden

Het risico dat het te warm wordt in een gebouw neemt toe naarmate de buitentemperatuur stijgt als gevolg van klimaatverandering (Orme, 2007). Een ander effect dat van invloed is op het risico dat het te warm wordt, is het zogenaamde 'hitte-eilandeffect'. De temperatuur in grote en dichtbevolkte stedelijke gebieden is hoger dan die op het omliggende platteland, wat naar alle waarschijnlijkheid wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheid energie die in stedelijke gebieden wordt gebruikt. Tijdens de hittegolf in Londen in 2003 liep het temperatuurverschil tussen de stad en het omliggende platteland op tot meer dan 9°C (Carmichael et al., 2011).

Deze twee effecten tonen aan dat het belangrijk is om gebouwen niet alleen te ontwerpen om goed te presteren onder de omstandigheden van buiten van vandaag de dag, maar ook de omstandigheden in overweging te nemen die in de toekomst op de locatie van het gebouw te verwachten zijn.

Voorbeeld van het Model Home 2020-project van VELUX, Maison air et Lumière

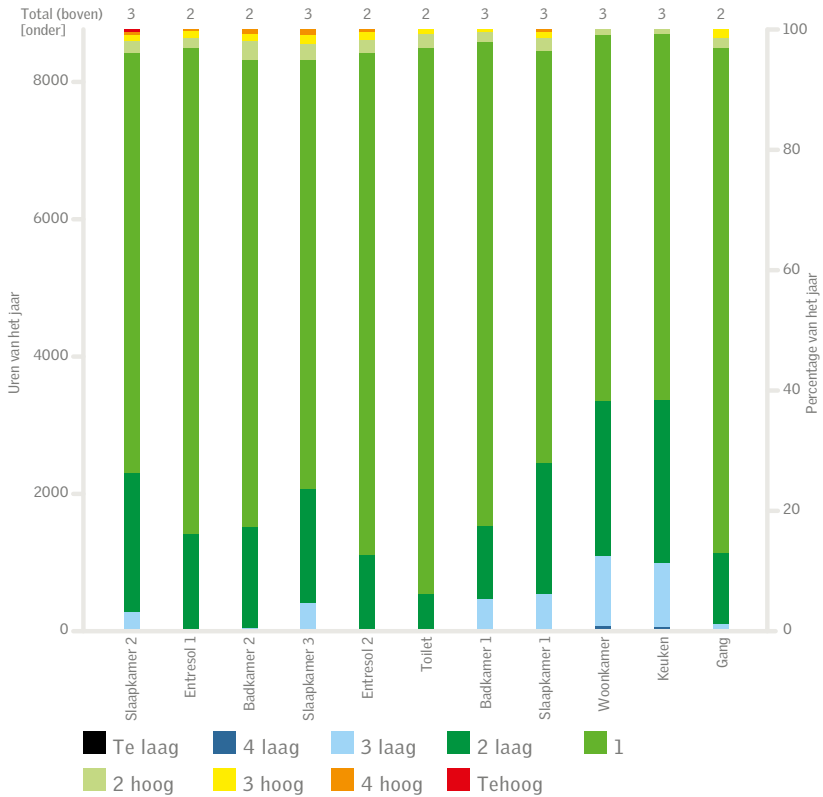
De thermische omgeving in Maison Air et Lumière is beoordeeld volgens de specificaties van Active House (zie paragraaf 3.6.4). Door het vele daglicht in het huis kan het snel te warm worden, en het voorkomen van warmte is daarom een hoge prioriteit. Dit resultaat wordt weergegeven in figuur 3.11. Het huis bereikt categorie 1 (wat overeenkomt met NEN-EN 15251 categorie I (CEN 2007)). Deze uitstekende prestatie wordt bereikt door het huis zo te ontwerpen dat het maximaal profiteert van natuurlijke ventilatie, en door zonwering en open ramen optimaal te gebruiken (Foldbjerg and Knudsen, 2014).



De thermische omgeving in Maison Air et Lumière is beoordeeld volgens de specificaties van Active House. (zie paragraaf 3.6.4.) Door het vele daglicht in het huis kan het snel te warm worden, en het voorkomen van warmte is daarom een hoge prioriteit. Dit resultaat wordt weergegeven in figuur 3.11.

Het huis bereikt categorie 1 (wat overeenkomt met NEN-EN 15251 categorie I (CEN 2007)). Deze uitstekende prestatie wordt bereikt door het huis zo te ontwerpen dat het maximaal profiteert van natuurlijke ventilatie, en door zonwering en open ramen optimaal te gebruiken (Foldbjerg and Knudsen, 2014).

Active House-categorie



Van 1 sep 2012 tot 3 aug 2013 Thermisch comfort in het Maison air et Lumière Categorieën zijn gebaseerd op de Active House Specificaties 2.0

Figuur 3.11 Thermisch comfort in elke kamer in Maison Air et Lumière zoals beoordeeld volgens de specificaties van Active House (gebaseerd op de aanpassingsmethode van NEN-EN 15251 (CEN 2007)). De criteria worden onderscheiden op basis van hoge en lage temperaturen.

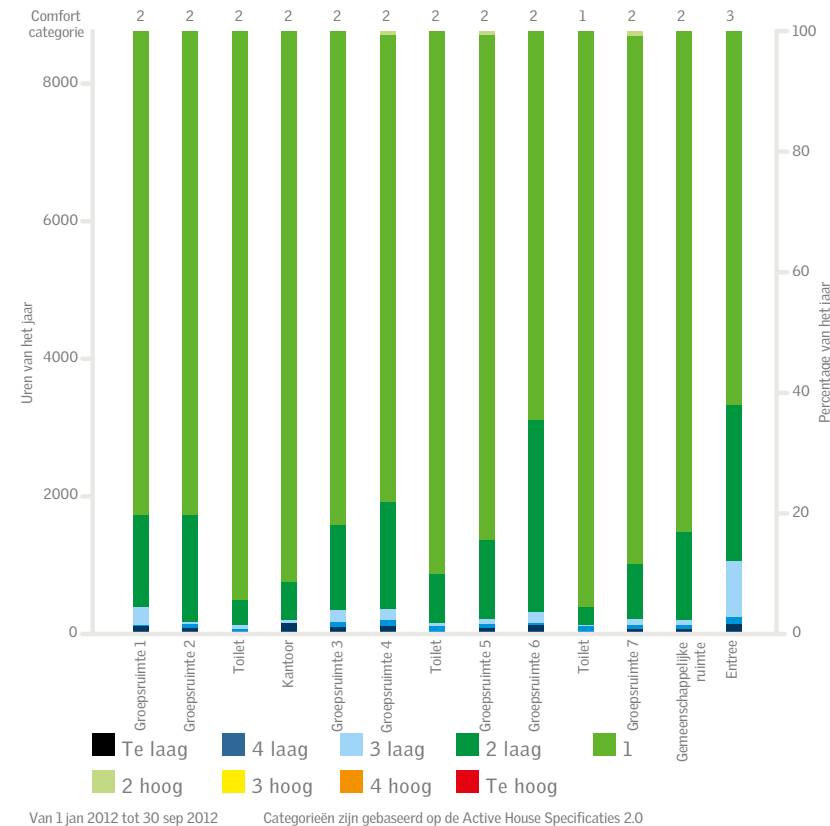
Voorbeeld van het Active House-project: Solhuset.

De kleuterschool Solhuset in Denemarken is gebouwd op basis van Active House-principes. De daglichtinval is goed, en daarom is het voorkomen dat het te warm wordt een prioriteit. Externe zonwering (zonnenschermen) en natuurlijke ventilatie worden toegepast met een automatisch bedieningssysteem.

De thermisch comfort-categorieën zijn te zien in figuur 3.12. Het is duidelijk dat het vrijwel nooit te warm is (geen rode of oranje kleuren aan de rechterkant van de gekleurde balken). Dit is op effectieve manier voorkomen. Het resultaat toont aan dat passieve maatregelen (zonwering en ventilatiekoeling) ook kunnen worden toegepast in een kleuterschool om te effectief te voorkomen dat het te warm wordt (Foldbjerg et al, 2014B).



Active House-categorie



Figuur 3.12 Thermisch comfort in elke ruimte in Solhuset zoals beoordeeld volgens de specificaties van Active House.

3.6 Beoordelingsmethoden

3.6.1 Parameters

Operatieve temperatuur

Met de operatieve temperatuur wordt geprobeerd de temperatuur die door het lichaam beleefd wordt in een getal uit te drukken. De operatieve temperatuur bestaat uit de luchttemperatuur, asymmetrische stralingstemperatuur en luchtsnelheid in een getal, dat overeenkomt met de temperatuur die een persoon zou beleven in een ruimte met uniforme lucht- en oppervlaktemperatuur en zonder luchtstroming. De operatieve temperatuur is een intuïtieve weergave van de temperatuur zoals die in een ruimte beleefd wordt. Deze geeft echter geen indicatie hoe de thermische omgeving beleefd wordt, aangezien activiteiten, kleding en verwachtingen niet in de waarde meegenomen worden.

Predicted Mean Vote (PMV)

PMV wordt algemeen gebruikt in wetenschappelijke literatuur en wordt beschreven in ISO 7730. Bij het bepalen van de PMV worden de zes factoren uit [paragraaf 3.1.2](#) meegenomen (metabolisme, kledingindex, luchtsnelheid, stralingstemperatuur, luchttemperatuur en luchtvochtigheid). PMV is een schaal met zeven punten, van koud (-3) tot heet (+3), waarbij 0 staat voor neutraal. De PMV-waarde is mogelijk een betere indicatie voor de beleving van de

thermische omgeving dan alleen de operatieve temperatuur, maar is voor veel mensen een meer abstracte term. Uit de PMV-index is het mogelijk om het percentage te berekenen van mensen die ontevreden zouden zijn met een bepaalde thermische omgeving (de Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD).

Gevoelstemperatuur

PMV is een zeer technische term, en kan lastig zijn om uit te leggen. In plaats daarvan kan een fictieve temperatuur worden berekend met de PMV, namelijk de gevoelstemperatuur. Dit kan worden gedaan om het effect van veranderingen in de PMV uit te leggen, bijvoorbeeld hogere of lagere luchtsnelheid, luchtvochtigheid of stralingstemperatuur. Bij de gevoels-temperatuur kan ook het effect van directe zonnestraling horen. Dit is vaak van belang bij het beoordelen van het effect van ramen in combinatie met zonwering.

Aanpassingscomfort

Het grootste deel van de achtergrond van de PMV-index is gebaseerd op onderzoeken in klimaatkamers, die erg kunnen verschillen van een normale kantoor- of thuisomgeving. Als alternatieve aanpak zijn duizenden personen in gebouwen betrokken geweest bij veldonderzoeken in echte gebouwen, waar met metingen en enquêtes de temperatuur en thermische beleving

van de personen met elkaar in verband werden gebracht.

Uit de resultaten blijkt dat, in gebouwen met natuurlijke ventilatie, de temperatuur die we aanvaardbaar vinden binnen wordt beïnvloedt door de buitentemperatuur van de voorafgaande week: hoe hoger de buitentemperatuur, hoe hoger de binnentemperatuur die we aanvaardbaar vinden. Voor aanpassing is toegang nodig tot een raam dat open kan, en de vrijheid van een persoon in het gebouw om meer of minder kleding aan te trekken. Een deel van het aanpassen kan worden uitgelegd door het psychologische proces dat erbij betrokken is.

[Zie paragraaf 3.6.4](#) voor meer uitleg over hoe de aanpassingsmethode wordt gebruikt voor het classificeren van thermisch comfort.

3.6.2 Beoordeling van bestaand gebouw

Gemeten resultaten

De thermische omgeving kan worden beoordeeld door vier van de zes factoren te meten: luchttemperatuur, luchtvochtigheid, stralingstemperatuur en luchtsnelheid. De laatste twee factoren moeten worden geschat uit een tabel, bijvoorbeeld in (CEN, 2005). Met de gemeten gegevens kan het effect van veranderingen in de factoren worden geïllustreerd. Deze kunnen echter niet altijd worden gebruikt om de thermische omgeving te beoordelen, aangezien ze

alleen op de situatie van toepassing zijn op het moment van de meting zelf.

Andere factoren kunnen ook van invloed zijn op de thermische beleving van de personen in het gebouw. Het humeur kan bijvoorbeeld een positief of negatief effect hebben op de verwachting.

Enquêtes voor personen in het gebouw

Enquêtes die ingevuld zijn door personen in het gebouw kunnen bijdragen aan het identificeren van mogelijke problemen met de thermische omgeving. Naast metingen, kunnen vragen als: 'Heeft u het warm/koud?' of 'Zou u willen dat het warmer of kouder was?' nuttig zijn bij het bepalen van gebruikersvoorkeuren. Een nadeel is dat de thermische beleving subjectief is, en gebaseerd op verwachting. Ook hierbij speelt de psychologische toestand van de personen in het gebouw een grote rol. Andere gezinnen zijn het mogelijk niet eens met een enquête die gehouden is in een huis waar een gezin in woont en dat is aangepast aan hun voorkeur op basis van enquêtes.

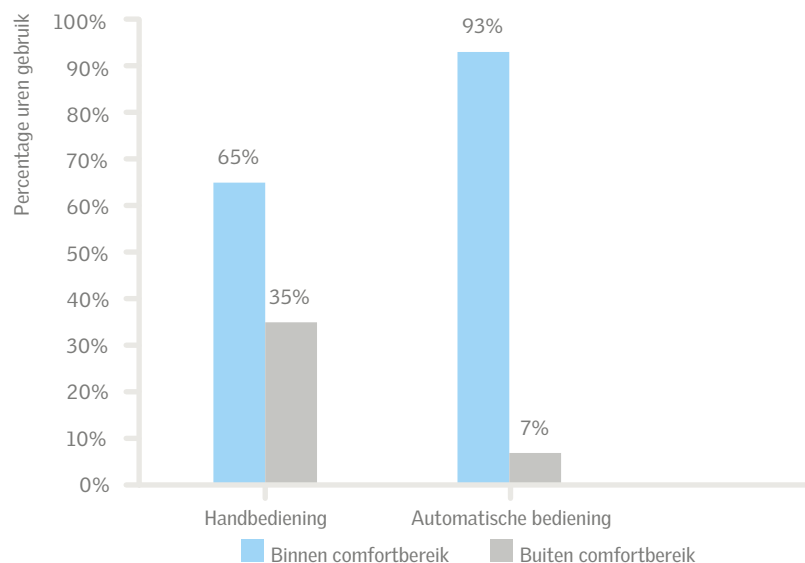
3.6.3 Middelen en berekeningsmethoden voor beoordeling in de ontwerpfase

Dynamische simulaties

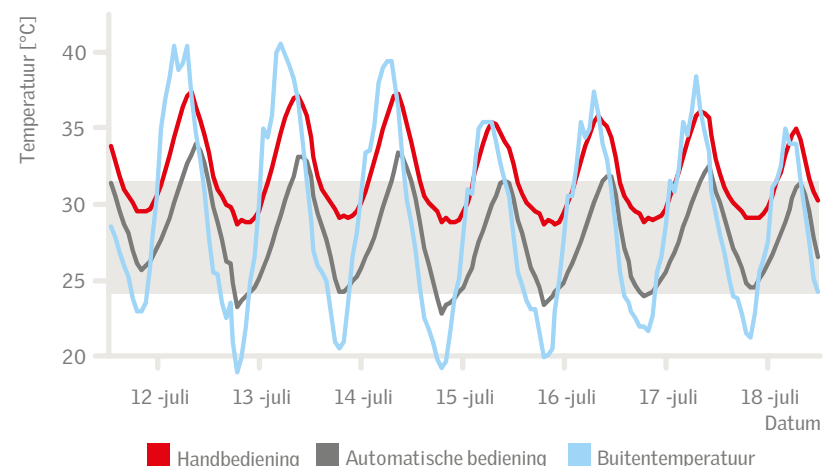
Een dynamische simulatie kan worden gebruikt om het risico dat het te warm wordt in een gebouw te voorspellen. De simulatie berekent de warmtebalans

Voorbeeld: passieve koeling in warme klimaten

Een onderzoek naar passieve koelingsmethoden in warme klimaten is een voorbeeld van het gebruik van de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer voor het beoordelen van thermisch comfort. Uit simulaties voor Malaga, Spanje, blijkt dat door passieve maatregelen zoals luchten en het gebruik van zonwering het bijna niet meer nodig is om een koelsysteem te gebruiken (Asmussen and Foldbjerg, 2010). De figuur geeft weer hoe de operatieve temperatuur binnen het comfortbereik (de grijze balk) wordt gehouden door passieve koelingsmethoden, terwijl niet ingrijpen ertoe leidde dat het veel te warm werd. De resultaten geven ook het gedeelte van het jaar weer met goed en slecht thermisch comfort, en ook hierbij is weer een grote verbetering te zien in het thermisch comfort.



Figuur 3.13 De binnen- en buitentemperatuur met verschillende controlemethoden in Malaga, Spanje (Asmussen and Foldbjerg, 2010).



Figuur 3.14 Het gedeelte van het jaar binnen en buiten het comfortbereik met verschillende controlemethoden in Malaga, Spanje (Asmussen and Foldbjerg, 2010).

van het gebouw achtereenvolgens voor elke tijdstap. Het resultaat laat het energieverbruik van het gebouw zien, maar ook de temperatuur. Het aantal uren buiten het thermisch comfortbereik is de gangbare methode voor het beoordelen van de dynamische resultaten. De te tellen uren zijn de bezette uren; 5% daarvan mag buiten het bereik zijn, op basis van NEN-EN 15251 (CEN, 2007). Bij het maken van een dynamische simulatie worden de criteria gehaald uit diverse standaarden of wetgeving en deze zijn van toepassing op de gemiddelde bevolking. Voor dergelijke evaluaties kan de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer gebruikt worden. Zie voor een beschrijving

paragraaf 2.6.1. ➔

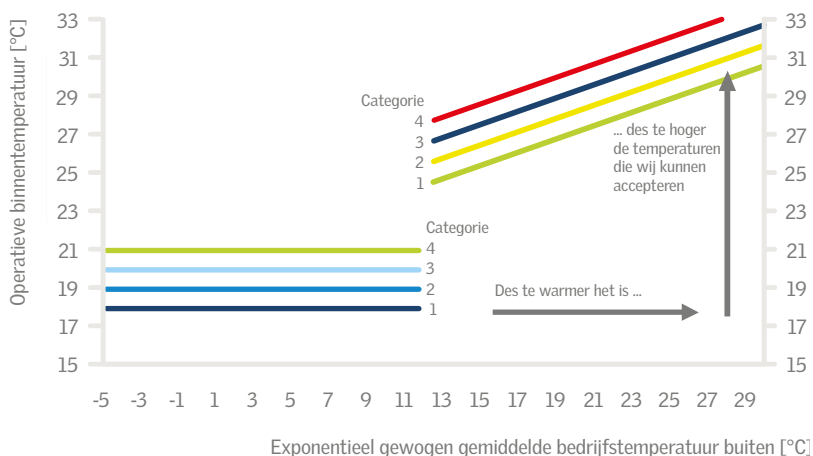
3.6.4 Voorschriften en standaarden voor thermisch comfort

Bouwverordeningen hebben altijd de focus gelegd op de minimale temperatuur in de winter om te zorgen voor een goed verwarmd binnenmilieu. Met de verschuiving naar meer energie-efficiënte gebouwen, en het bijbehorende risico dat het te warm wordt (zoals eerder werd besproken), heeft een aantal landen vereisten ingesteld voor thermisch comfort in de zomer. Dit kan worden gebaseerd op eenvoudige indicatoren, zoals een maximumtemperatuur van 26°C, die 100 uur per jaar overschreden mag worden.

In de meeste standaarden wordt een classificatie van de thermische omgeving bepaald. In NEN-EN 15251 (CEN, 2007) worden drie categorieën (I, II, en III) bepaald. Elke klasse staat voor een temperatuurbereik rondom een 'optimale' temperatuur, bijvoorbeeld tussen 21°C en 26°C. Als de binnen-temperatuur binnen dit bereik blijft, bevindt de ruimte zich in categorie I. Bij natuurlijk geventileerde gebouwen wordt de aanpassingsmethode gebruikt, waardoor er geen vaste bovengrens is. Zie figuur 3.15. ►

In sommige situaties moet meer energie worden verbruikt om een hogere categorie te bereiken: in de winter is namelijk meer verwarming nodig. Daarom is het belangrijk om de behoeften van de persoon in het gebouw te overwegen bij het besluiten van een doelcategorie van het ontwerp. Voor de meeste personen is categorie II voldoende.

De Active House-specificatie 2.0 maakt gebruik van de aanpassingsmethode zoals vastgelegd in NEN-EN 15251 (CEN 2007).



Figuur 3.15 Het aanpassingscomfortprincipe zoals gebruikt wordt in de Active House-specificatie, op basis van NEN-EN15251.

Akoestisch
comfort



Akoestisch comfort

Een belangrijke functie van de gebouwschil is het beschermen van het interieur tegen ongewenst lawaai van buiten. Geluidsisolatie is een belangrijke factor in bouwcomponenten, omdat lawaai van buiten de gezondheid, het humeur en de leerprestaties negatief kan beïnvloeden.

4.1 Geluid of lawaai

Menselijke waarneming speelt een grote rol in het bepalen of wat we horen geluid of lawaai is. Onze oren zijn altijd aan het luisteren en kunnen niet uitgeschakeld worden. Ons onderbewustzijn beoordeelt continu of een geluid bekend of onbekend is, of het

aangenaam of vervelend is, en of het gevaar betekent. Als we een gevaar herkennen, zijn we onmiddellijk alert en klaar om weg te rennen of onszelf te verdedigen.

Geluid is iets wat u als mens kunt horen; lawaai is ongewenst geluid, zelfs op normaal of laag volume.



Figuur 4.1 Geluid of lawaai? Wat we in de ene situatie lawaai vinden (bijv. muziek in de kamer naast de slaapkamer), kunnen we in een andere situatie omschrijven als geluid.

Een goede akoestische omgeving is belangrijk voor de activiteit die er plaatsvindt, zoals slapen, tv-kijken of een gesprek voeren. Wat we in de ene situatie lawaai vinden, kan in een andere omgeving geluid zijn. Gezang van vogels in de vroege ochtenduren kan bijvoorbeeld gezien worden als lawaai en het slaapgemak verminderen. Stadsverkeer kan een negatieve invloed zijn en bestempeld worden als lawaai, maar in een andere situatie kan het juist geluid gevonden worden: het kan u in contact brengen met uw omgeving en de natuur, en zorgen dat u zich opgenomen voelt in de gemeenschap.

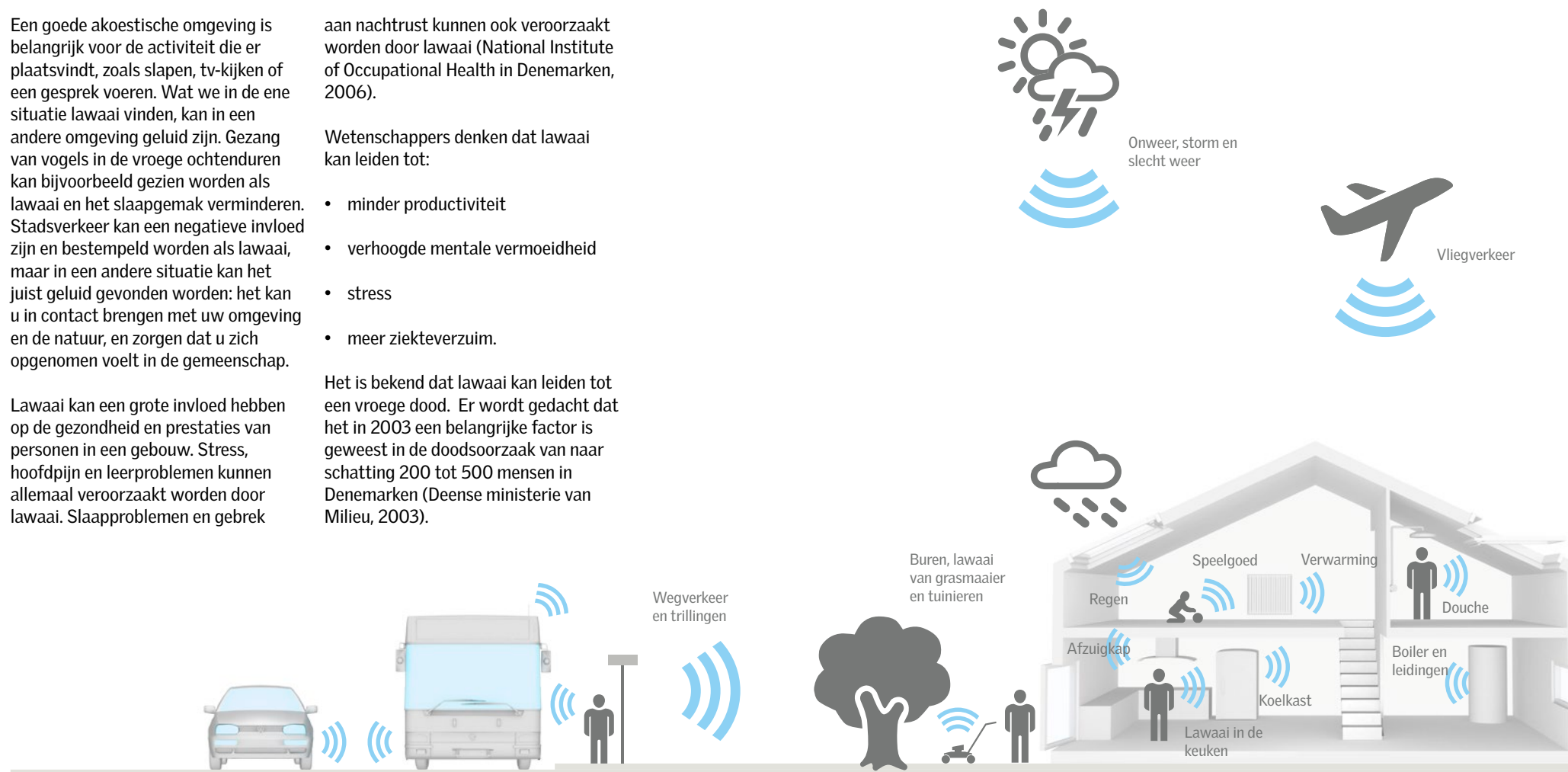
Lawaai kan een grote invloed hebben op de gezondheid en prestaties van personen in een gebouw. Stress, hoofdpijn en leerproblemen kunnen allemaal veroorzaakt worden door lawaai. Slaapproblemen en gebrek

aan nachtrust kunnen ook veroorzaakt worden door lawaai (National Institute of Occupational Health in Denemarken, 2006).

Wetenschappers denken dat lawaai kan leiden tot:

- minder productiviteit
- verhoogde mentale vermoeidheid
- stress
- meer ziekteverzuim.

Het is bekend dat lawaai kan leiden tot een vroege dood. Er wordt gedacht dat het in 2003 een belangrijke factor is geweest in de doodsoorzaak van naar schatting 200 tot 500 mensen in Denemarken (Deense ministerie van Milieu, 2003).



Figuur 4.2 De complexe akoestische omgeving in gebouwen.

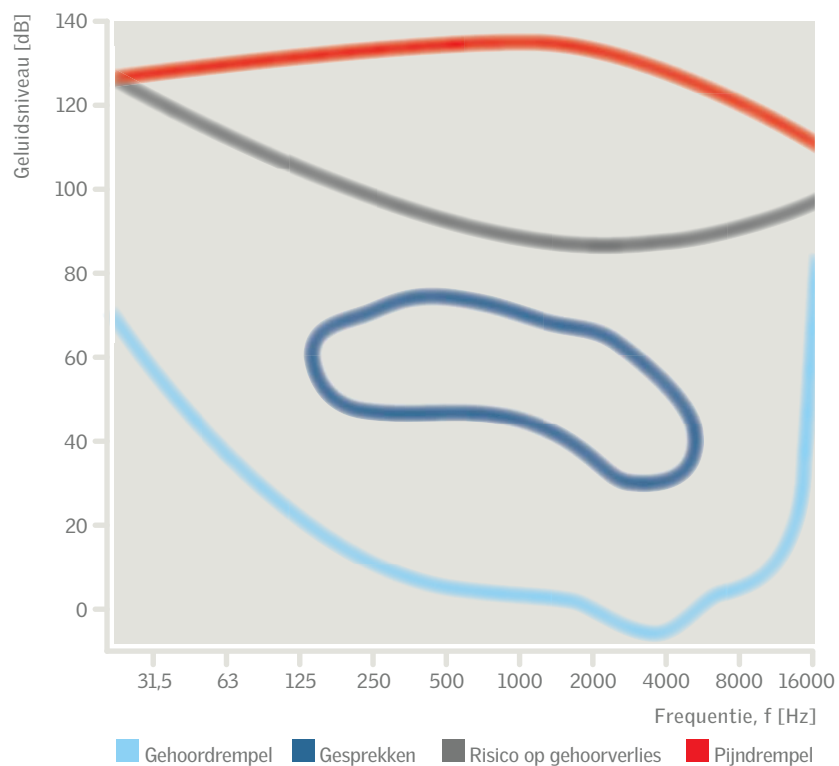
ⓘ **Vergeet niet:**

Lawaai kan stress, hoofdpijn en leerproblemen veroorzaken.

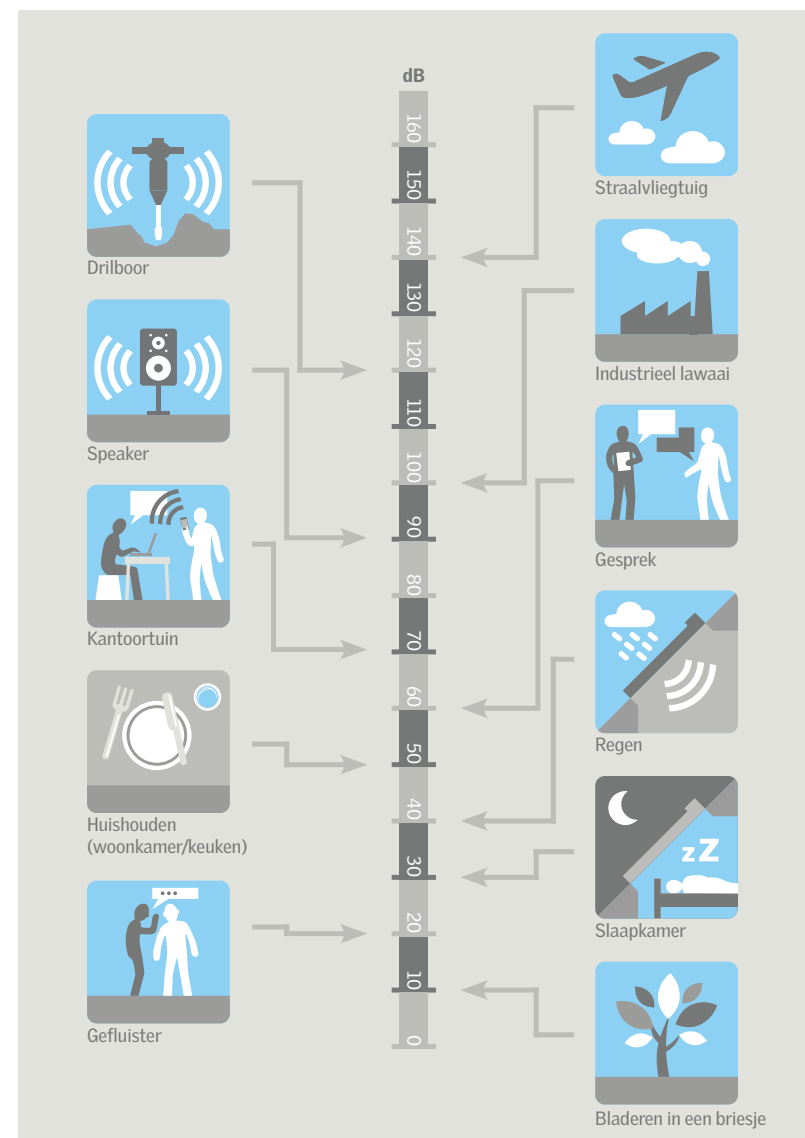
4.1.1 Technische omschrijving van lawaai of geluid

De natuurkundige beschrijving van geluid is trillingen (longitudinale golven) in de lucht met een voor mensen hoorbare frequentie (in Hz). De eenheid die gebruikt wordt om geluid mee te meten is de decibel (dB). Het is een logaritmische eenheid die een verhouding aangeeft. Soms wordt decibel

aangeduid met dB(A) in plaats van dB. De (A) betekent dat het gemeten geluid een totaal geluidsniveau is (dat bestaat uit veel verschillende frequenties) dat gemeten is met een 'A-weging' en daardoor overeenkomt met de menselijke subjectieve perceptie van geluid. In de figuur hieronder worden veelvoorkomende geluidsniveaus en geluidsdruk weergegeven (CEN, 2007; WHO, 2009; SBI, 2014b).



Figuur 4.3 Geluidsdruk niveau voor gesprekken en drempelwaarden.



Figuur 4.4 Gangbare geluidsniveaus.

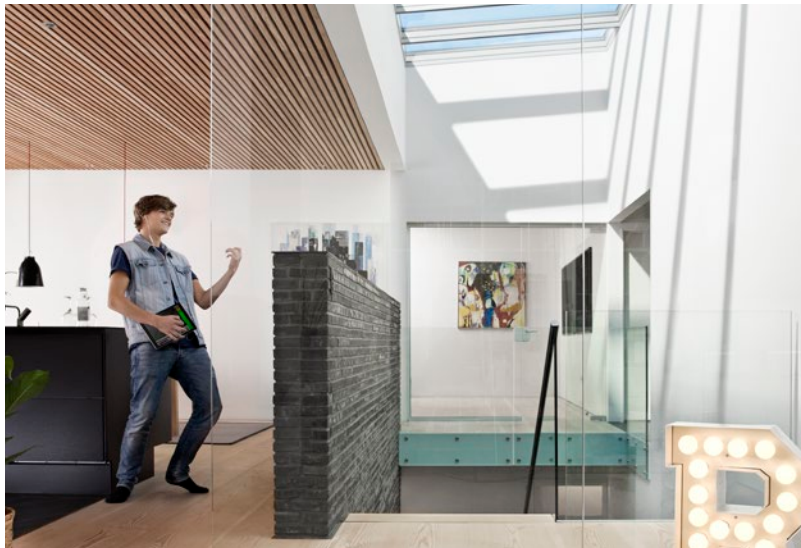
4.2 Goede akoestische omgeving

Het omschrijven of bepalen van een goede akoestische omgeving is een complexe en multidisciplinaire taak. Hieronder worden verschillende aspecten bekeken, maar deze zijn verre van alomvattend.

Net zoals andere factoren in een gebouw moet een goede akoestische

omgeving voldoen aan basisvereisten, zoals:

- zorgen dat personen in een gebouw kunnen leven volgens de dagelijkse en seizoenscycli van de buiten-omgeving;
- personen in een gebouw in staat stellen om zich aan te passen aan veranderende omstandigheden (dagelijks of per seizoen) en behoeften;
- zorgen dat de personen in een gebouw beschermd zijn tegen lawaai en het kunnen beheersen.



Ieder heeft een andere voorkeur voor geluid en lawaai

! Vergeet niet

Ons humeur beïnvloedt onze waarneming van geluid en lawaai
De keuze van interieuroppervlakken beïnvloedt de kwaliteit van de akoestische omgeving.

De akoestische omgeving is het kader van het geluidsbeeld, maar er zijn geluiden die 'verwacht' en 'gewenst' zijn, meer acceptabel en gewild; de geluiden van het leven op straat door een open raam overdag, bijvoorbeeld. En natuurgeluiden (vogels, stromend water) kunnen verlichting geven van stress.

4.3 Lawaai binnen

4.3.1 Algemeen

In principe kan geluid dat afkomstig is van binnen in een gebouw verdeeld worden in twee geleidingsbronnen: geluid dat door de lucht geleid wordt en geluid dat door het gebouw zelf geleid wordt. Geluid dat door de lucht geleid wordt, door menselijke activiteiten in een naastgelegen leefruimte of door mechanisch lawaai, gaat door de lucht, muren, vloeren en plafonds. Geluid dat door het gebouw geleid wordt, kan komen van personen in bovengelige leefruimtes, of lawaai met een lage frequentie dat door de grond en gebouwen gaat. Maatregelen voor het beheersen van lawaai en het verminderen van ongewenst geluid zijn bijvoorbeeld het verminderen van het weerkaatsen van geluid binnen, het dempen van lawaai dat van de ene ruimte naar de andere gaat en het aanpassen van de gebouwschil.

Weerkaatsingstijd is een belangrijke factor voor de akoestische ervaring in binnenruimtes. Gebouwen met 'zachte' interieuroppervlakken worden vaak hoger gewaardeerd door personen in het gebouw en bezoekers. Algemene voorbeelden van verwachte weerkaatsingstijd zijn: 3-10 seconden in een kerk; 2 seconden in een concertzaal of auditorium; 0,6-1 seconde in een klaslokaal en 0,5 seconden in een huis (SBI 2014b). Verstaanbaarheid van wat er gezegd wordt is vaak een belangrijke factor in een ruimte - en grote ruimtes met harde, parallelle oppervlakken kunnen een uitdaging zijn.

Stimulans/afwezigheid van stimulans: het stimulansniveau van omgevingsfactoren (licht, geluid, lucht, temperatuur) dient overdag hoger te zijn dan 's nachts.

Stilte/geluid: overdag zijn de aanwezigheid van geluid en contact met geluid van buiten gewenst, terwijl 's nachts juist stille ruimtes nodig zijn.

De juiste interne akoestiek kan een grote rol spelen in ons algemene welzijn.

4.3.2 Slaapkamer, woonkamer en keuken

Goede geluidsisolatie tussen ruimtes en naastgelegen woningen (buren) zijn belangrijk voor akoestische privacy. Zowel stille als luidruchtige activiteiten moeten mogelijk zijn zonder anderen te storen of juist door anderen gestoord te worden.

's Nachts is lawaai in het bijzonder vervelend, en er dient in het bijzonder aandacht geschonken te worden aan de geluidsisolatie van slaapkamers (Miljøstyrelsen, 2010).

4.3.3 Mechanische uitrusting

Het geluid van een installatie dient in belangrijke leefruimtes onder 25-30 dB (A) te blijven.

's Nachts is een nog lager geluidsniveau wenselijk. Het is belangrijk dat personen in een gebouw de instellingen van ventilatiesystemen handmatig kunnen aanpassen, om waar nodig het geluidsniveau te verlagen. Geluid van verwarmings- en koelsystemen dient ook beperkt te worden. Moderne, energie-efficiënte gebouwen zijn voorzien van steeds complexere systemen (zoals verwarmingspompen), en het lawaai hiervan is in een groot aantal gevallen een probleem.

❗ Vergeet niet:

Dakramen in een huis op het platteland hoeven minder geluiddicht te zijn dan dakramen in een huis in de stad.

4.4 Lawaai buiten

4.4.1 Algemeen

Vaak moet er een afweging worden gemaakt met betrekking tot lawaai-beheersing. Een hoger lawaainiveau kan bijvoorbeeld acceptabel zijn voor een bepaalde behoefte, maar hierbij dient de persoon in het gebouw wel het lawaai te kunnen beheersen.

Er zijn veel factoren van invloed op het lawaainiveau buiten op een bepaalde locatie. Enkele daarvan worden nu beschreven.

4.4.2 Factoren van invloed op het lawaainiveau buiten

Locatie

De omgeving van een gebouw heeft een enorme invloed op het te verwachten lawaainiveau van buiten. Het gemiddelde lawaainiveau van buiten kan bijvoorbeeld 60 dB (A) zijn in een stadscentrum en 50 dB (A) in een aan de rand van de stad gelegen woonwijk (ÖNORM, 2006).

De afstand tot de herkomst van het lawaai heeft een beslissende invloed op het waargenomen geluidsniveau. Door de afstand met de herkomst te verdubbelen, gaat het geluidsniveau met ongeveer 3-6 dB naar beneden. Ongehinderd lawaai uit een enkele bron kan beter gedempt worden dan lawaai uit een lineaire bron, zoals verkeer. De aanwezigheid van geluidsbarrières,

en weerkaatsing van en absorptie in de oppervlakken daarvan, is van invloed op het geluidsniveau op een bepaalde locatie.

De bron zelf speelt ook een rol: verkeerslawaai heeft een lage frequentie, maar vogelgeluiden hebben een hoge frequentie.

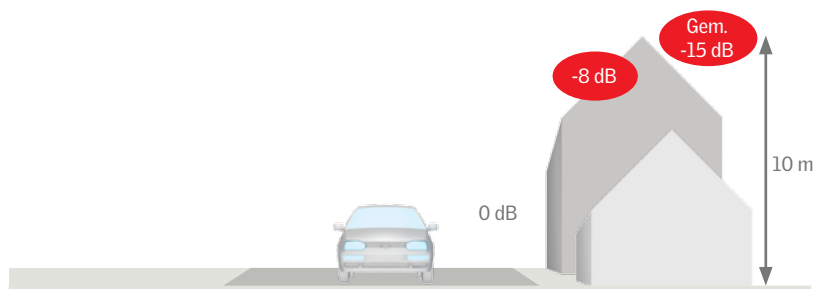
Andere factoren die het geluidsniveau beïnvloeden, en hoe het van richting kan worden veranderd, zijn een gebouw er tegenover, bomen (in zomer of winter) en de vorm van de geluidsbarrière en de absorptiekwaliteiten van het oppervlak ervan.

4.4.3 Verkeerslawaai

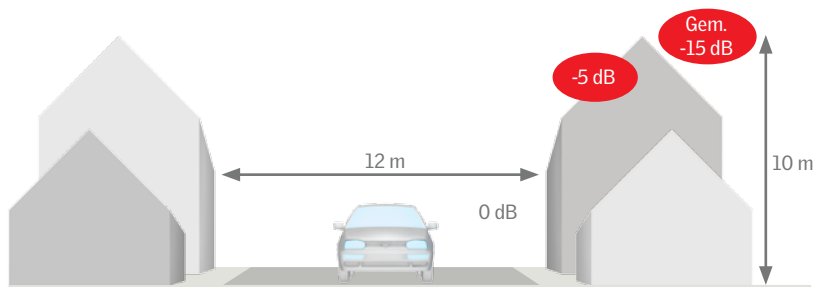
Verkeerslawaai verhoogt het stress-niveau en het risico op hart-en vaat-ziekten. Naar een voorzichtige schatting sterven elk jaar in Denemarken 200 tot 500 mensen een vroegtijdige dood door hart- en vaatziekten en hoge bloeddruk veroorzaakt door verkeerslawaai (Miljøstyrelsen, 2010).

Het eerste voorbeeld hieronder toont aan dat het lawaainiveau van een dakraam 8dB lager is dan dat van een verticaal raam in hetzelfde gebouw. Bij een dakraam dat uitkijkt op de achtertuin is het lawaainiveau zelfs 15dB lager.

Het tweede voorbeeld laat zien dat een gebouw aan de overkant een deel van het lawaai weerkaatst en ertoe leidt dat de vermindering van het lawaai-niveau door het dakraam 5dB minder is.



1) geeft de verlaging van het buitengeluidsniveau weer op de gebouwschil als er geen gebouwen aan de overkant staan.



2) geeft de verlaging van het lawaainiveau van buiten weer op de gebouwschil als er wel gebouwen aan de overkant staan.

Figuur 4.6 De voorbeelden laten zien dat de frontramen te maken hebben met een hoger lawaainiveau van buiten dan dakramen.

❗ Vergeet niet

Het lawaainiveau van buiten bij een dakraam is gewoonlijk 5 dB lager dan bij een frontraam.



65,0 - 75+ dB(A) 60,0 - 64,9+ dB(A) 55,0 - 59,9+ dB(A) 00,0 - 54,9+ dB(A)

Figuur 4.7 Weergave van lawaainiveaus in een stad.

4.4.4 Regengeluid

Het geluid/lawaai van regen op het dak wordt door iedereen anders ervaren. Sommigen vinden het een aangenaam geluid, anderen vinden het lawaai. Als ze er 's nachts wakker van worden, is het voor de meeste mensen lawaai.

Om verschillende producten te kunnen vergelijken, is de internationale test-standaard NEN-EN ISO 140-18 (CEN, 2006) ontwikkeld om de geluidsdruk van regen te kunnen meten.

Bovendien hebben Franse autoriteiten eisen gesteld om de geluidsdruk binnen van regen te beperken tot een maximale SPL van 50dB, zodat kinderen niet wakker worden van het geluid van de regen (Ministère De La Santé, 2005).

De VELUX Group heeft het eerste dakraam ontwikkeld dat lawaai door regen kan verminderen. Met een geluidsdruk van 48 dB voldoet het aan de aanbevelingen van de Franse autoriteiten voor een geluidsdruk binnen van regen van maximaal 50dB.

ⓘ Vergeet niet

De VELUX Group heeft het eerste geluidwerende dakraam ontwikkeld tegen het lawaai van regen, zodat kinderen er 's nachts niet wakker van worden.

4.4.5 Groot lawaai (vliegverkeer, treinen en vrachtwagens)

Vliegverkeer, treinen en vrachtwagens produceren een zeer hoog lawaainiveau (vliegtuigmotoren zijn meer dan 110 dB), vaak met een lage frequentie, dat niet eenvoudig te verminderen is.

13% van de Europese bevolking heeft veel last van het lawaai van wegverkeer, 5% van dat van vliegverkeer en 3% van dat van spoorwegen (WHO, 2009).

Vanwege het hoogenergetische lawaai en het lage frequentiebereik, dienen oplossingen voor de verspreiding en vermindering van lawaai te worden berekend door specialisten.



VELUX-dakramen met geluidswering tegen regengelawaai

4.5 Beoordeling en meting

4.5.1 Algemene aspecten

De meest effectieve manier voor het verminderen van lawaai is het verminderen van de 'bron': bijvoorbeeld verkeerslawaaï verminderen door het aantal auto's terug te brengen, vrachtwagens te verbieden, snelheidsbeperkingen op te leggen of geluidswallen dichtbij de weg te plaatsen. Als dit niet mogelijk is, dient de geluidwerende capaciteit van het gebouw zelf te worden beoordeeld/berekend (zie het principe hieronder), om zo een acceptabel lawaainiveau te bereiken voor de personen in het gebouw (SBI, 2014a).

4.5.2 Geluidsisolatie

Individuele gebouwcomponenten en voegen tussen de componenten dragen bij aan de algehele geluidsisolatie van het gebouw.

Als gevolg hiervan kan een gebouwschil die voldoet aan een bepaald geluidsisolatie-niveau, bestaan uit verschillende gebouwcomponenten met hoge of lage geluidsisolatie, maar die als geheel wel voldoen aan het vereiste niveau.

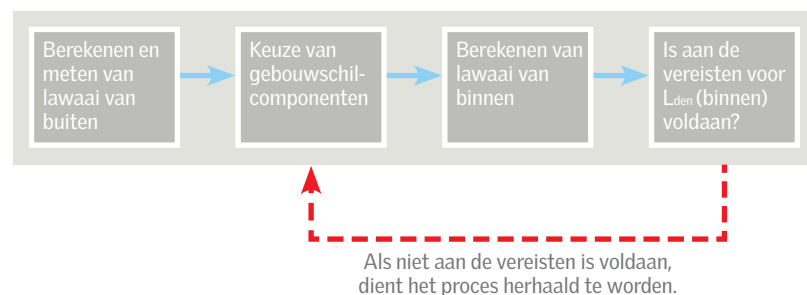
4.5.3 Meting van geluidsisolatie volgens Europese standaarden

De NEN-EN ISO 10140 reeks en NEN-EN ISO 717-1 (CEN 2010; CEN, 1997) zijn van toepassing op het testen en classificeren van de geluidsisolatie van een raam. De geluidsisolatie die uit de meting komt wordt weergegeven als $R_w(C; C_{tr})$ in dB. De R_w -waarde geeft de mogelijkheid weer om het lawaai van buiten in het gebouw te verminderen. Met de meting worden ook de twee correctiefactoren (C en C_{tr}) gevonden.

De C-factor dient te worden gebruikt als een gesprek de bron van het geluid is, C_{tr} als ritmische muziek of verkeer de bron van het geluid is.

Een normaal dakraam met een standaardconstructie van twee lagen glas van 4 mm, een tussenruimte van 16 mm en een glasplaat van 4 mm leidt tot een R_w van 32 dB.

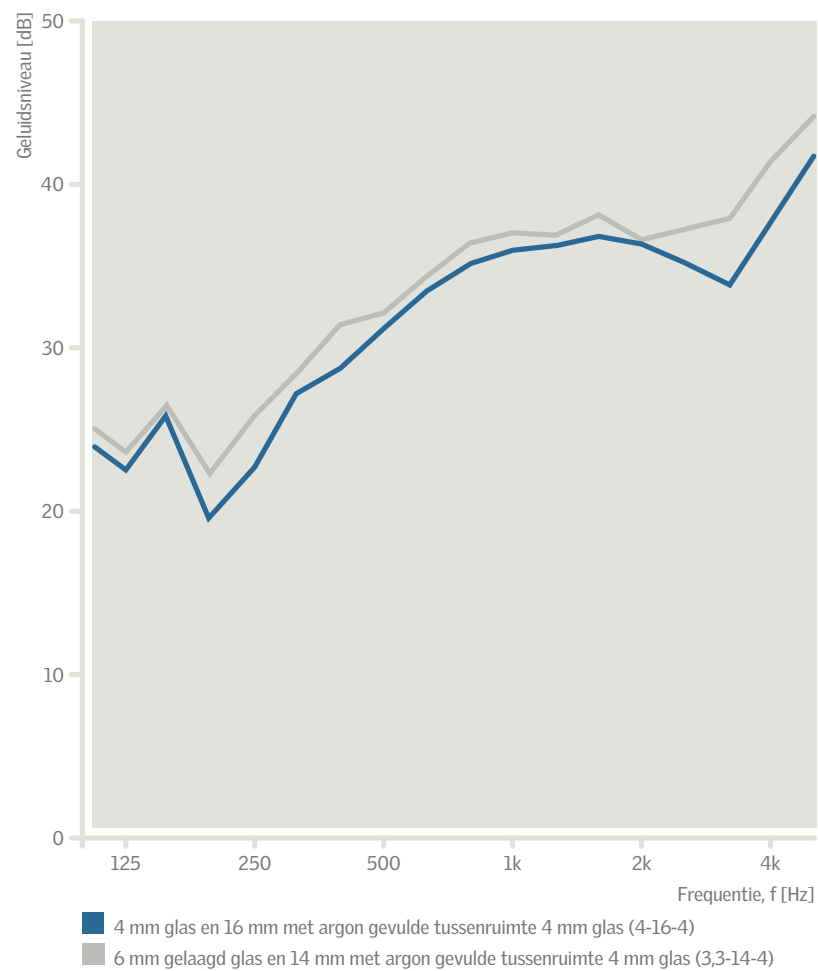
Als er meer geluidsisolatie nodig is, kan een raamconstructie van twee glasplaten van verschillende dikte (4 en 6 mm) zorgen voor een betere geluidsisolatie dan een raam met een standaard beglazing. Ramen met drie glasplaten met verschillende glasdiktes en afstanden tussen het glas doen het ook beter dan de standaardoplossing. Het gebruik van een ander gas als vulling heeft ook effect: krypton zorgt voor een betere geluidsisolatie. En ten slotte is het lamineren van ramen ook een manier om de beglazing geluiddichter te maken.



Figuur 4.9 Hoofdprincipe van het proces door het berekenen van het verkeerslawaainiveau binnen ($L_{den}(binnen)$). Het proces wordt herhaald als niet aan de vereisten voor de hoogste waarde van $L_{den}(binnen)$ is voldaan.

Voorbeeld

Dakraam met beglazing van een glasplaat van 4 mm, een met argon gevulde tussenruimte van 16 mm en een glasplaat van 4 mm (4-16-4)



Figuur 4.10 Voorbeeld van geluidsisolatie van dakraam met twee soorten beglazing.



Zorg dat in de slaapkamer weinig lawaai te horen is.

4.6 Akoestische vereisten in bouwverordeningen

De gebouwschil is een combinatie van constructie-eenheden met verschillende geluidsisolatiekwaliteiten. Een raam kan niet worden vergeleken met meer compacte delen van het gebouw, zoals een externe bakstenen muur of een dakconstructie.

De verschillende bouwcomponenten dragen bij door verschillende geluidsisolatie-niveaus. Het is daarom redelijk te noemen dat de verordeningen voor lawaai opgesteld worden voor het gebouw als geheel, en niet voor de individuele componenten.

Een locatie op het dak kan het lawaai-niveau van het wegverkeer buiten beïnvloeden, en een raam dat uitkijkt op de achtertuin hoeft niet zo geluiddicht te zijn als een frontraam dat uitkijkt op de weg. Een gangbare verandering in de geluidsdruk buiten is -5 tot -8 dB op de dakconstructies aan de weg en ongeveer -15 dB voor de dakconstructies aan de achtertuin (ÖNORM, 2006). Zie figuur 4.6.

Wetgeving dient rekening te houden met het feit dat de verschillende bouwcomponenten verschillende geluidsisolatiekwaliteiten hebben, en dat de veranderingen in geluidsdruk buiten afhangen van de locatie van het gebouw (stad/platteland) en de locatie in de gebouwschil.

Energie



Energie

In de afgelopen decennia is er steeds meer de focus gelegd op energieverbruik, en niet in de laatste plaats op het energieverbruik van gebouwen, waar het efficiënt gebruiken van energie een belangrijk onderdeel van de oplossing is. Minder afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en meer gebruik van duurzame energie is eveneens belangrijk.

5.1 Energie

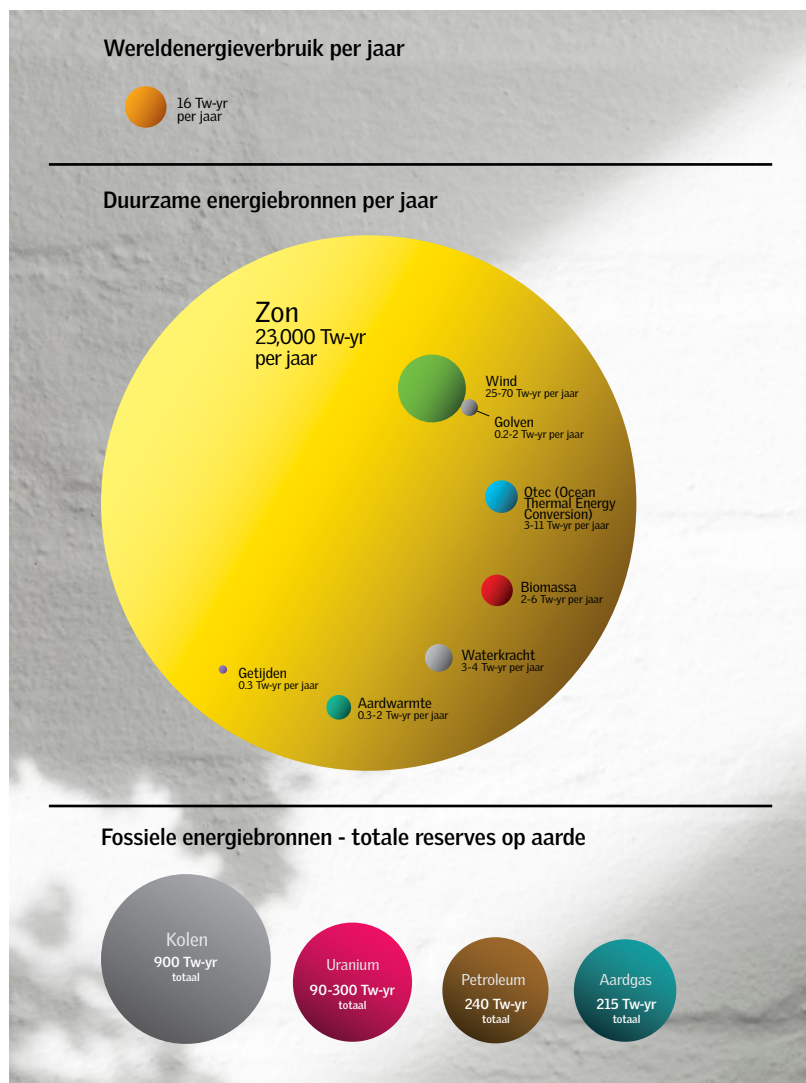
De energievraag van de wereld is de laatste 40 jaar verdubbeld (International Energy Agency, 2009) en de groeiende hoeveelheid fossiele brandstoffen die gebruikt wordt om aan deze vraag te voldoen, heeft nog steeds ernstige gevolgen voor het klimaat (IPCC, 2007). Naar schatting hebben we, afhankelijk van fossiele brandstoffen als we nu zijn, nog maar genoeg voorraad voor de komende 200 jaar (Europe's Energy Portal, 2010). Over de hele wereld maakt men zich steeds meer zorgen over deze kwesties en de meeste landen ondernemen stappen om zowel de hoeveelheid energie die we verbruiken als onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen.

In Europa komt 40% van al het energieverbruik door gebouwen (Europese Commissie, 2002). In de Europese Unie bestaat de mogelijkheid om 20-50% te besparen door bestaande gebouwen aan te passen, net zoals nieuwe gebouwen, onder strengere regelgeving (Eichhammer, 2009). Met producten als zonthermische systemen, PV-panelen en meer kostbare opties zoals kleine windmolens kunnen huiseigenaren hun eigen duurzame energie opwekken en daarmee energie uit een andere bron halen. De VELUX Group steunt het gebruik van kostenoptimale duurzame energie op locatie waarbij deze direct in gebouwen wordt gebruikt, zoals zonthermische energie voor warm water en het verwarmen van ruimtes. Duurzame energie die opgewekt en uitgewisseld wordt via een

extern energiesysteem, zoals het lichtnet, dient echter beoordeeld te worden en gebaseerd te worden op kostenoptimale niveaus en strategieën voor het energiesysteem.

5.2 Energiebronnen

Energie voor gebruik in een gebouw kan ter plaatse worden opgewekt of op een locatie verder weg. Plaatselijke productie gebeurt meestal met een ketel waarin olie, aardgas, hout etc. wordt verbrand, of het is een geothermische bron waarvan gebruik wordt gemaakt met bijvoorbeeld een verwarmingspomp. Ketels worden hoofdzakelijk gebruikt voor verwarming en warm water. Andere plaatselijke voorzieningen zijn duurzame bronnen, zoals zonnecollectoren of fotovoltaïsche panelen (PV). Het opwekken van elektriciteit op afstand gebeurt hoofdzakelijk op basis van het verbranden van fossiele brandstoffen, biomassa of afval, of met kernenergie. Ook warmte kan op een locatie op afstand worden opgewekt, in de vorm van warmtedistributie. Warmte kan worden opgewekt in combinatie met elektriciteitscentrales (warmtekrachtkoppeling, WKK), wat de methode energie-efficiënter maakt. In de afgelopen jaren zijn zonne-energiecentrales gebouwd in combinatie met warmte distributiesystemen. Over het algemeen is er veel belangstelling voor duurzame energiebronnen, maar aan het grootste deel van de energievraag van de wereld wordt nog steeds voldaan door fossiele brandstoffen.



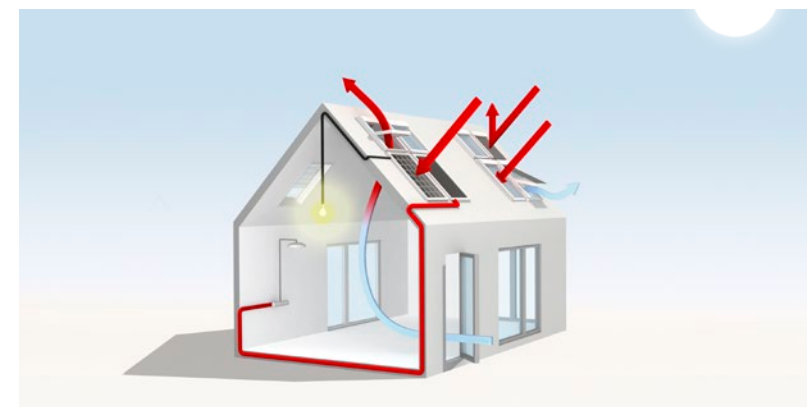
Figuur 5.1 Alle energiebronnen in vergelijking met de totale energievraag. Naar schatting raken de olie en het gas in de 21^e eeuw op en steenkool en uranium in de 22^e eeuw (Europe's Energy Portal 2010), terwijl de zon pas over miljarden jaren is opgebrand.

Bij het omzetten van fossiele brandstoffen naar warmte of elektriciteit komt CO₂ vrij. CO₂ veroorzaakt klimaatverandering (IPCC, 2007) en de voorraad is uitgeput aan het raken. Duurzame bronnen (windenergie, waterkracht, zonne-energie, etc.) worden allemaal aangedreven door de zon, een praktisch onuitputtelijke bron van energie.

5.3 Terminologie van energie

De huidige terminologie van de VELUX Group met betrekking tot energieverbruik en ramen bevat twee concepten: Energieprestatie en energiebalans (VELUX Group 2009).

De energieprestatie is de totale jaarlijkse energievraag van een gebouw, waaronder verwarming, koeling, warm water en elektrische verlichting (huishoudelijke en andere elektrische apparaten niet meegerekend). De energieprestatie wordt vaak uitgedrukt in kWh per jaar per m² verwarmde vloer (kWh/m²). Hoe lager de waarde, hoe beter. De energieprestatie kan worden gebruikt om het verschil tussen twee scenario's te zien, bijvoorbeeld het effect van meer of minder VELUX dakramen op de energieprestatie van een gebouw. De energieprestatie kan worden berekend met dynamische simulatietools, waaronder de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer.



⚠ Vergeet niet

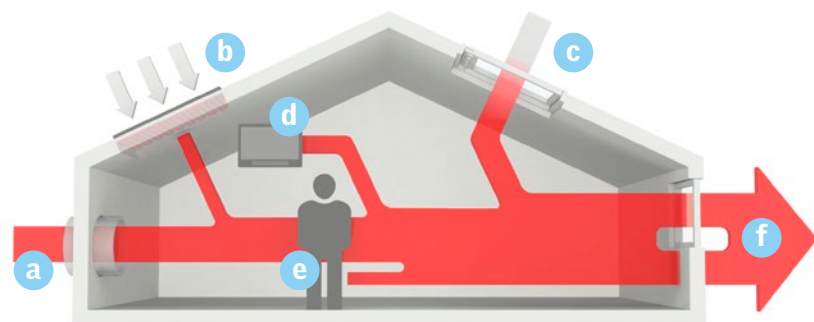
40% van het energieverbruik in de EU gaat naar gebouwen. Ramen hebben een significant effect op het energieverbruik in een gebouw en op het binnenmilieu. Het effect kan echter zowel positief als negatief uitpakken, en zorgvuldigheid is geboden om de voordelen van een raam te kunnen benutten en de nadelen te vermijden.

Zie voor meer informatie [paragraaf 2.6.1](#). De energiebalans geldt voor een enkel raam en wordt uitgedrukt in kWh/m² per jaar voor dat raam. De waarde drukt de energie-efficiëntie uit van alleen dat raam en kan worden gebruikt om verschillende ramen te vergelijken met betrekking tot type, grootte, glas en andere factoren. Zie voor meer informatie over dit onderwerp [paragraaf 5.5.3](#).

5.4 Energieverbruik in gebouwen

De meeste energie die verbruikt wordt in een gebouw wordt gebruikt om een comfortabel binnenmilieu te behouden met betrekking tot thermisch comfort (verwarming of koeling) en luchtkwaliteit (ventilatie). Verder wordt energie gebruikt voor elektrische verlichting, sanitair warm water en huishoudelijke of andere elektrische apparaten (koelkasten, computers, tv's, etc.).

Hoewel het energieverbruik voor verwarming in Denemarken in de afgelopen veertig jaar gedaald is als gevolg



- a) Externe energiebron, bijvoorbeeld uit fossiele brandstoffen.
- b) Duurzame energie uit bijvoorbeeld zonnecollectoren.
- c) Zonneopbrengst.
- d) Elektrische apparaten, bijvoorbeeld televisie of keukenapparaten.
- e) Warmte van mensen en huisdieren.
- f) Alle energie verlaat uiteindelijk het gebouw.

Figuur 5.2 Weergave van de energiestroom door een gebouw op jaarbasis. De hoeveelheid energie uit een externe bron is minder dan het totale warmteverlies van het gebouw, omdat personen in het gebouw, elektrische apparaten en in het bijzonder ramen zorgen voor 'gratis' extra energie.

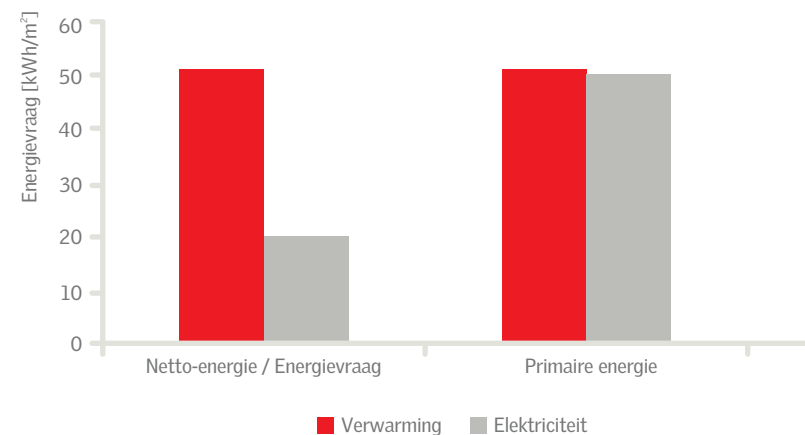
van verbeterde wetgeving, is het elektriciteitsverbruik juist gestegen (Marsh et al., 2006). Naar verwachting zijn soortgelijke patronen ook te zien in de rest van de westerse wereld. De oorzaak hiervan is de grote hoeveelheid consumentenelektronica, zoals tv's, stereo's, draagbare muziekapparaten, etc. waar, op het verbruik in standby-stand na, geen wettelijke vereisten voor zijn met betrekking tot energie-efficiëntie.

Bij het ontwerpen van een gebouw of het plannen van een verbouwing is het belangrijk om energie-efficiënte oplossingen te gebruiken, en misschien zelfs nog belangrijker om dit te doen zonder in te leveren op de kwaliteit van het binnenmilieu. Tenslotte zijn gebouwen

er voor ons comfort en onze gezondheid en om ons te beschermen tegen het weer. Een weloverwogen ontwerp kan echter de energievraag aanzienlijk laten afnemen.

5.4.1 Primaire energie versus netto-energie

Netto-energie (of eindenergie) is vaak het resultaat van het berekenen van de energieprestatie. Verschillende energiebronnen hebben verschillende benuttingsfactoren en een verschillende impact op het milieu en moeten daarom verschillend gewogen worden. Het idee van 'primaire energie' is dat voor elke energiebron een factor wordt gebruikt om deze te wegen met betrekking tot de



Figuur 5.3 Energievraag van een bestaand huis in Denemarken voor verwarming en elektriciteit (koeling, ventilatoren en verlichting) in vergelijking met de primaire energie (factor = 2,5).

impact op het milieu. Deze factor wordt vermenigvuldigd met de energievraag en kan verschillen per type energie. In Noorwegen en Zweden wordt een aanzienlijk deel van de elektriciteit opgewekt met waterkracht en dit heeft daarom geen grote impact op het milieu. De primaire energiefactor voor elektriciteit in Zweden is 2,35 (Smeds and Larsen, 2007). In Duitsland wordt elektriciteit nog hoofdzakelijk opgewekt met steenkool, wat een veel grotere impact heeft. De primaire energiefactor voor elektriciteit in Duitsland is 2,7 (Reiser, 2008). Voor sommige soorten energieverbruik kan de omrekeningsfactor minder zijn dan 1. Een voorbeeld hiervan is warmtedistributie in Dene-marken, waar de factor 0,8 is als gevolg van de groeiende hoeveelheid duurzame energie die gebruikt wordt in de warmtedistributievoorziening.

❶ Vergeet niet

Primaire energie is niet hetzelfde als netto-energie. Bij primaire energie hoort ook het effect van het 'omzetten' van bijvoorbeeld steenkool naar elektriciteit. Voor het opwekken van elektriciteit is meer brandstof (steenkool of gas) nodig dan voor verwarming. Dit is de achtergrond van de omzetfactor voor primaire energie. In de meeste Europese landen ligt deze factor tussen 2,5 en 3,0.

In het Verenigd Koninkrijk is de primaire energiefactor voor aardgas 1,02 en voor elektriciteit 2,92 (British Research Establishment, 2009). Figuur 5.3 geeft het verschil weer tussen netto-energie en primaire energie: de netto-verwarmingsvraag is aanzienlijk hoger dan de netto-elektriciteitsvraag, terwijl de primaire energievraag voor verwarming en elektriciteit ongeveer gelijk is.

5.5 Raamsystemen

5.5.1 U-waarde

De U-waarde van een bouwcomponent drukt de hoeveelheid energie uit die van de warme naar de koude kant wordt doorgelaten. Hoe lager de U-waarde, hoe minder energie wordt doorgelaten. Het doel is vaak om de U-waarde van bouwcomponenten te verlagen om het warmteverlies terug te brengen en daarmee de verwarmingsvraag van het gebouw.

De U-waarde wordt uitgedrukt in W/m^2K . In beglazingsconstructies wordt warmte door de isolatieglas-eenheid van binnen doorgelaten naar buiten door straling, convectie (warme lucht stijgt op, koude lucht zakt naar beneden) en geleiding. De U-waarden voor ramen wordt aangeduid met U_w en is een combinatie van de U_f -waarde van het raamkozijn, de U_g -waarde van de beglazing en het koudebrug-effect tussen de beglazing en het kozijn ψ . Om het convectieverlies in de ruimte tussen de beglazing te verminderen, kan deze worden gevuld met gas, zoals argon of krypton. Om het doorlaten van stralingswarmte te beperken, kan lage-emissiecoating op de glasplaat worden aangebracht aan de binnenkant van de tussenruimte. Lage-emissiecoating bestaat uit dunne lagen metaal die niet zichtbaar zijn maar de emissiewaarden terugbrengen naar bijna 0.

Een standaard glasplaat heeft een emissie van 0,84. Door interne of externe zonwering bij het raam te plaatsen kan de U-waarde ook verlaagd worden door de straling naar de hemel te verminderen en de thermische weerstand te verhogen. De optimale grootte van de tussenruimte is ongeveer 15 mm voor argon en 10 mm voor krypton. VELUX dakramen worden gewoonlijk gemaakt met argon.

U-waarde voor schuine ramen (dakramen)

De U_w -waarde voor dakramen die in schuine constructies worden geplaatst is hoger dan voor verticaal geplaatste ramen. In verticale beglazing is de convectie in het gas tussen de glasplaten minimaal. Deze wordt hoger naarmate de beglazing schuiner wordt, en bij horizontale beglazing is deze maximaal. Convectie is ook afhankelijk van het soort glas en de tussenruimte. Over het algemeen is de tussenruimte onafhankelijk van de helling als deze 10 mm of minder is.

Dit heeft invloed op de energieprestatie van een gebouw, aangezien de hogere U_w -waarde leidt tot meer warmteverlies door het dakraam. Aan de andere kant leidt deze tot een hogere zonneopbrengst en meer daglicht. Dakramen zijn ook blootgesteld aan een groter deel van de lucht dan verticale ramen en worden normaal gesproken uit de schaduw van gebouwen geplaatst, waardoor de hoeveelheid

» Dynamische raamsystemen met VELUX ACTIVE Climate Control verbeteren de energiebalans van raamsystemen zowel in de zomer als in de winter «

daglicht en de zonneopbrengst omhoog gaan. Dit is te zien in [paragraaf 1.5.3](#).

De U-waarde is altijd de enige factor geweest die gebruikt werd bij het beoordelen van de energieprestatie van ramen. Het is gangbaar om de U_w -waarde van dakramen op 90° te bepalen, dus als ware het verticale ramen.

Er mag dan meer warmte wordt doorgelaten naarmate de helling groter wordt, de passieve zonneopbrengst wordt zelfs nog groter. De verticale waarde is daarom een betere indicatie van de energieprestatie dan de hellende waarde. VELUX streeft ernaar de U-waarde van ramen te vervangen door de energiebalans (zie paragraaf 5.5.3).

5.5.2 G-waarde

De g-waarde (totale zonne-energie die doorgelaten wordt) geeft de hoeveelheid zonne-energie weer die door de beglazing wordt doorgelaten. De g-waarde is de verhouding tussen de zonneopbrengst die door de beglazing wordt doorgelaten en de zonne-opbrengst die op de beglazing valt. De g-waarde bevindt zich in het bereik 0-1 (of 0-100%).

Dynamische raamsystemen

De g-waarde van een raam met toebehoren (bijvoorbeeld zonwering) is dynamisch en kan worden gewijzigd naar aanleiding van de binnen- en

buitenomstandigheden. De zonwering kan worden bediend door de gebruiker of automatisch met VELUX ACTIVE Climate Control.

Coatings

Door het gebruik van gecoat glas wordt een deel van de zonneopbrengst geblokkeerd doordat de g-waarde wordt verlaagd. Afhankelijk van het soort coating kunnen verschillende onderdelen van het spectrum worden geblokkeerd. Het doel van coatings met zonbescherming is normaal gesproken het blokkeren van zoveel mogelijk nabij-infrarode straling en het doorlaten van zoveel mogelijk zichtbare straling. Het doel van transparante coatings is normaal gesproken het doorlaten van zoveel mogelijk zonnestraling. Zelfs transparant ongecoat glas beperkt sommige golflengtes meer dan andere. Gecoat glas heeft ook invloed op de kleuren die we binnen waarnemen.

5.5.3 Energiebalans

De term energiebalans wordt gebruikt om de energiekenmerken van een raam aan te duiden. De bedoeling is om de balans tussen zonneopbrengst en warmteverlies duidelijk te maken. De energiebalans wordt berekend door de bruikbare zonneopbrengst door het raam tijdens het verwarmingsseizoen te nemen en daar al het warmteverlies van af te trekken. De energiebalans is een meer doeltreffende manier om

» In het verwarmingsseizoen is de energiebalans van dakramen over het algemeen beter dan die van verticale ramen «

de energiekenmerken van een raam te bepalen dan alleen de U-waarde, omdat in de energiebalans zowel de U_w - als de g-waarde opgenomen zijn voor een meer volledig beeld.

Methoden

Over het algemeen wordt de energiebalans van een raam beoordeeld door de hoeveelheid bruikbare zonneopbrengst te bepalen en het totale warmteverlies door het raam daarvan af te trekken. Omdat de zonneopbrengst in het verwarmingsseizoen echter op positieve manier bijdraagt aan de verwarmingsvraag, kan dit een negatief effect hebben in een mogelijk koelseizoen.



Hoe hoger de energiebalans, hoe beter. De energiebalans wordt uitgedrukt in kWh per m² raam. De zonneopbrengst dient bepaald te worden voor zowel het verwarmings- als het koelseizoen. In het verwarmingsseizoen wordt de bruikbare zonneopbrengst bepaald door een nutsfactor te vermenigvuldigen met de zonneopbrengst die op het raam valt. Dit is erg afhankelijk van het soort gebouw en de locatie ervan. Als een gebouw goed geïsoleerd is, is de nutsfactor laag (ongeveer 70%) terwijl deze bij een slecht geïsoleerd gebouw veel hoger is (ongeveer 90%).

De zonneopbrengst die het raam bereikt, is afhankelijk van de helling van het raam en de richting ervan. Het totale warmteverlies van een raam is afhankelijk van de U_w -waarde en de luchtdoorlaatbaarheid. Het warmteverlies door een raam geldt voor zowel het verwarmings- als het koelseizoen, en wordt bepaald door het aantal graaduren per jaar dat er warmteverlies optreedt in het verwarmings- en koelseizoen. Dit is afhankelijk van het soort gebouw (het isolatieniveau) en de klimaatomstandigheden.

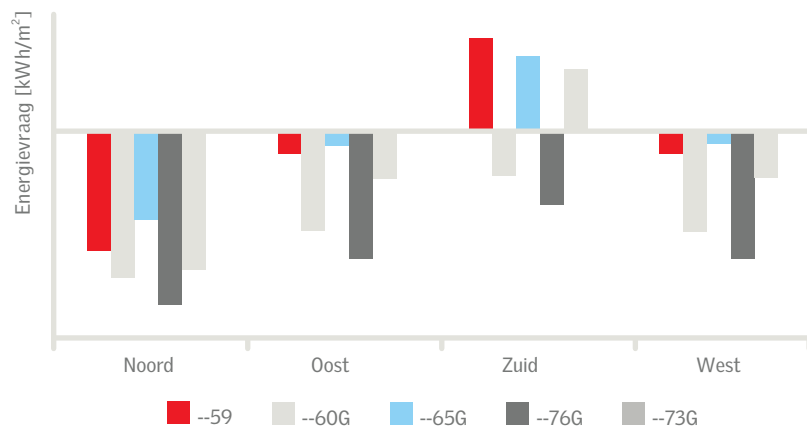
» Door de energiebalans te gebruiken, kan het beste beschikbare raamproduct worden gekozen. Hoe hoger de energiebalans, hoe beter de prestatie van het raam «

De energiebalans van ramen in het verwarmingsseizoen kan als volgt worden uitgedrukt:

$$\text{Energiebalans} = I_{\text{zon}} \times g_w - D \times (U_w, \text{helling} + L_{\text{luchtdoorlaatbaarheid}}) \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$L_{\text{luchtdoorlaatbaarheid}}$ geeft het warmteverlies door een raam weer als gevolg van luchtdoorlaatbaarheid.

In een aantal Europese landen (VK, Denemarken) bestaat al enkele jaren een vereenvoudigde definitie van de energiebalans van verticale ramen in het verwarmingsseizoen. Een belangrijke voetnoot hierbij is dat de energiebalans van dakramen in het verwarmingsseizoen over het algemeen beter is dan de energiebalans van verticale ramen. Daarom is het belangrijk om deze twee van elkaar te onderscheiden.



Figuur 5.4 Energiebalans van dakramen in het verwarmingsseizoen in elke richting, op basis van de methode voorgesteld voor de Deense bouwverordening 2010 (Danish Enterprise And Construction Authority, 2010).

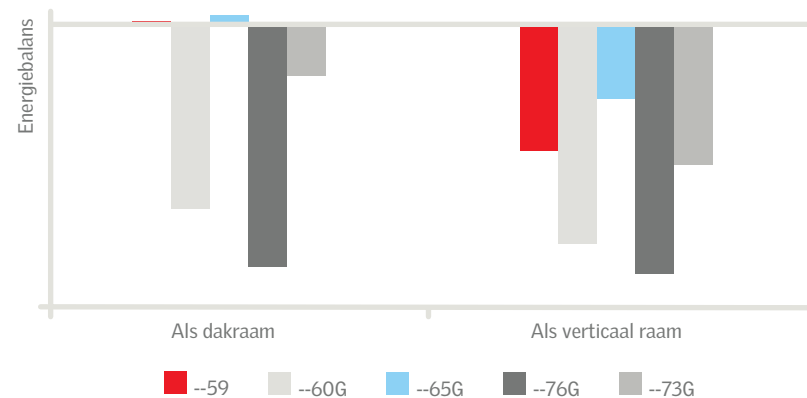
❗ **Vergeet niet**

De energiebalans wordt uitgedrukt in kWh per m² raam. Als het getal positief is, levert het raam energie aan het gebouw. ! Vergeet niet: De energiebalans van ramen op het zuiden is beter dan die van ramen in een andere richting.

» De tendens bestaat dat de g-waarde minstens zo belangrijk is als de U-waarde voor de energieprestatie van bestaande gebouwen «

De vereenvoudigde methode voor de energiebalans geldt alleen voor bestaande gebouwen met een bepaalde raamverdeling per richting. Deze methode staat in (Kragh et al., 2008). In de Deense bouwverordening 2010 (Danish Enterprise And Construction Authority, 2010) wordt de energiebalans van ramen erkend als een wettelijke vereiste voor het vervangen van ramen.

De VELUX Group is ervan overtuigd dat de energiebalans een meer correcte en stabiele meeteenheid is dan de U_w -waarde voor de prestatie van ramen, en werkt aan de acceptatie van een meer gestandaardiseerde methode om de energiebalans te bepalen (ISO, 2009).



Figuur 5.5 Energiebalans van dakramen en verticale ramen met verschillende soorten beglazing in het verwarmingsseizoen op basis van huidige concept van de Deense bouwverordening 2010 (Danish Enterprise And Construction Authority, 2010).

❗ **Vergeet niet**

De energiebalans van een raam is afhankelijk van het soort gebouw waarin het is geplaatst, de richting en helling van het raam en de geografische locatie.

5.6 Energieprestatie van verschillende soorten gebouwen

5.6.1 Energie-aspecten van daglicht

Door daglicht optimaal te benutten, is er overdag veel minder of zelfs helemaal geen elektriciteit voor verlichting nodig.

De Architectural Energy Corporation heeft gezegd dat 'daglichtinval de energie-efficiëntie van een ruimte met een doeltreffende bediening van elektrische verlichting en zonnewarmteopbrengst drastisch kan verbeteren' (Architectural Energy Corporation, 2006). In een kantoor kan het elektriciteitsverbruik voor verlichting wel 40-50% uitmaken van de totale energievraag (Walitsky, 2002). Als dit vervangen wordt door daglicht, kan daar aanzienlijk op bespaard worden. Om te kunnen berekenen hoeveel energie er bespaard wordt op elektrische verlichting, moet het aantal uren bekend zijn dat daglicht een autonome lichtbron in het interieur is. De relevante hoeveelheid licht in woonhuizen is besproken in [paragraaf 1.7.1](#).

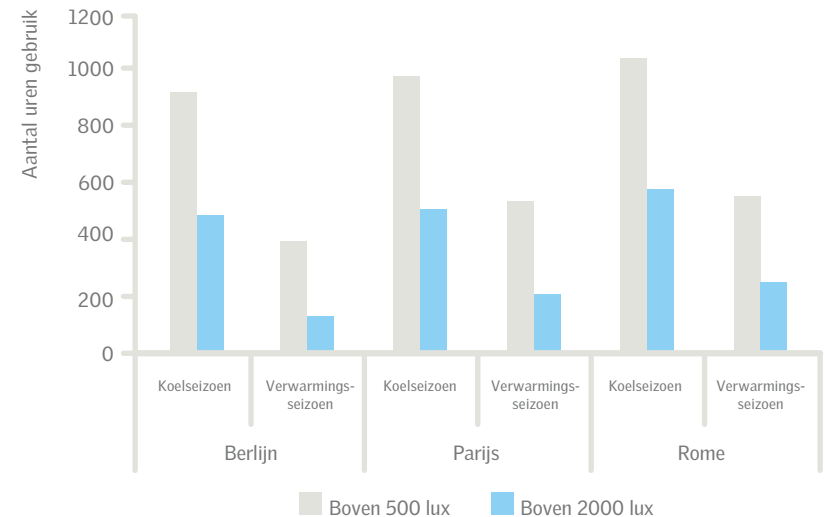
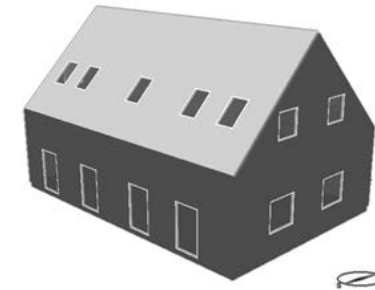
Om ramen in een gebouw optimaal te benutten voor goed daglicht en een goede energieprestatie, moeten de raamkenmerken τ_v , g (en U_w) zorgvuldig gekozen worden. Gezien de natuurwetten is de g -waarde altijd minimaal 50% van τ_v .

De beste oplossing is vaak een combinatie van ramen en zonwering. Een raam met een hoge g -waarde en een hoge τ_v -waarde geeft vaak een goed resultaat. Hoge g - en τ_v -waarden presteren goed in het jaargetijde met het minste licht. Tijdens het jaargetijde met veel licht dient zonwering te worden gebruikt. Het is belangrijk dat het ontwerp van een gebouw en de plaatsing van de ramen daarin gebeurt als een holistisch proces waarin de vereisten voor daglicht en energieprestatie continu worden beoordeeld en gebruikt als factoren in het ontwerp (Moeck, 2006).

Het volgende voorbeeld laat zien dat een grote hoeveelheid licht werd bereikt met daglicht en dat ramen een zeer efficiënte lichtbron zijn.

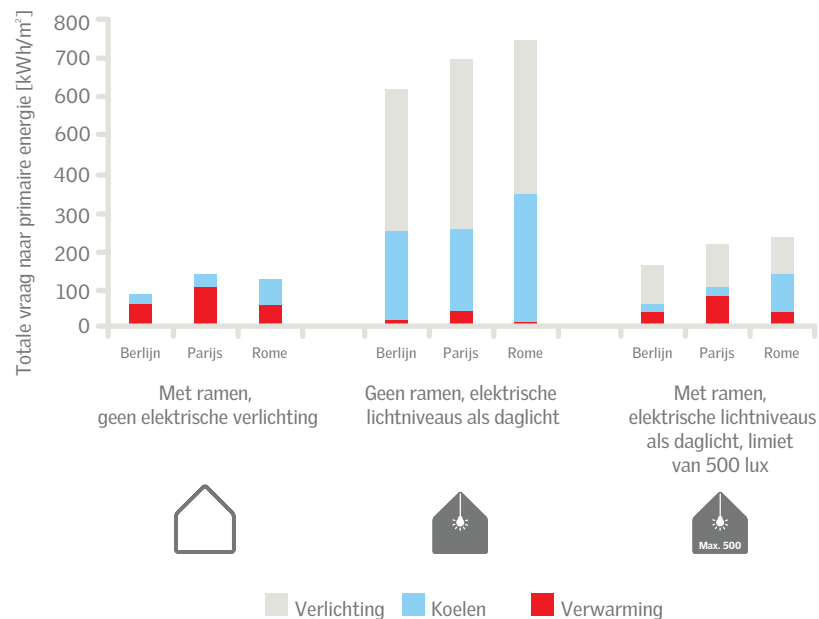
Voorbeeld: Energieprestatie van een huis zonder ramen

In een normaal huis wordt het lichtniveau dat bereikt wordt met daglicht bepaald voor elk uur van het jaar. Er worden vier locaties onderzocht: Berlijn, Parijs, Rome en Istanbul. Het hele jaar door wordt een hoog lichtniveau (boven 2000 lux) bereikt, zoals te zien in de figuur hieronder.



Wat voor effect heeft daglicht op het energieverbruik in een gebouw? Voor het antwoord op deze vraag is onderzocht wat er zou gebeuren als er zich geen ramen in het huis bevonden en het lichtniveau bereikt zou moeten worden met elektrische verlichting. Omdat de hoeveelheid elektrisch licht invloed heeft op de verwarmings- en koelingsvraag, moet het resultaat van het energieverbruik voor verlichting, koeling en verwarming in het gebouw gezamenlijk beoordeeld worden. Het resultaat van de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer staat in de figuur.

» Een raam is een energiezuinige lichtbron «



Op elke locatie werd aan de laagste totale primaire energievraag voldaan door het licht uit de ramen van het gebouw. De energievraag van het gebouw zonder ramen is ongeveer vijf keer zo hoog als die van het gebouw met ramen als we elektrische verlichting gebruiken om dezelfde hoeveelheid licht te verkrijgen. Dit bewijst nogmaals dat een raam een energiezuinige lichtbron is.

» Het gebruik van dakramen leidt tot een hogere daglichtfactor «

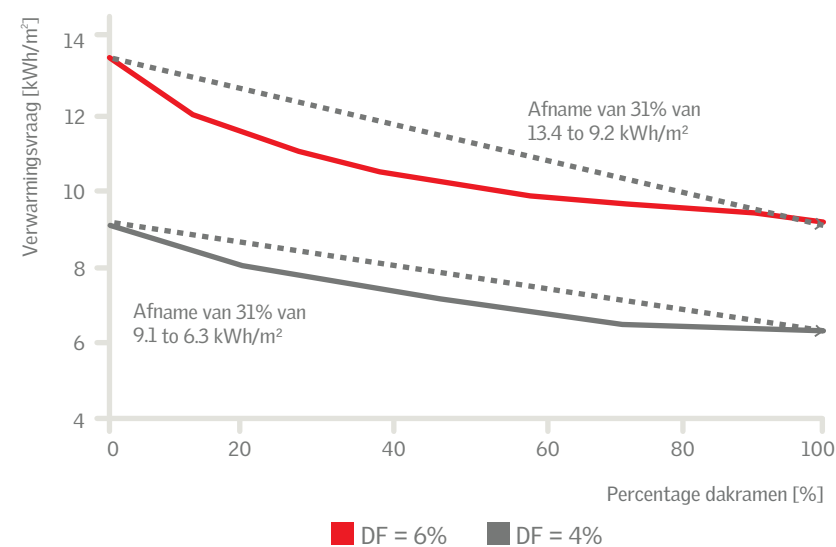
Voorbeeld: Het effect van dakramen op daglicht en energieprestatie

In het hoofdstuk Daglicht werd aangetoond dat dakramen voor meer daglicht zorgen dan verticale ramen. In een gebouw in de praktijk betekent dat dat een bepaalde daglichtfactor bereikt kan worden door minderraamoppervlak als er gebruik wordt gemaakt van dakramen.

In Berlijn werd een energiezuinig huis zonder verdieping en met een ecologische voetafdruk van 8 bij 18 m onderzocht. Met de VELUX Daylight Visualizer werd gezocht naar een combinatie van dakramen en verticale ramen die een daglichtfactor bereikte van respectievelijk 4% en 6%.

Door het percentage dakramen te vergroten, kan de daglichtfactor worden verhoogd. Een totaal raamoppervlak van 25 m² aan verticale ramen levert slechts een daglichtfactor op van 4%, terwijl een combinatie van 64% verticale ramen en 36% dakramen van 25 m² een daglichtfactor oplevert van 6%, zoals weergegeven met de stippellijnen op de figuur.

Vervolgens werd de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer gebruikt om de verwarmingsvraag te bepalen voor elke combinatie van dakramen en verticale ramen. Het resultaat staat in de figuur hieronder.



Figuur 5.6 De energieprestatie wordt verbeterd door een groter raamoppervlak. Met een DF van 4% gaat de verwarmingsvraag van 9,1 naar 6,3 kWh/m², en met een DF van 6% van 13,4 naar 9,2 kWh/m². Beide zijn een vermindering van 31%.

» Natuurlijke ventilatie in combinatie met mechanische ventilatie is energie-efficiënter dan alleen mechanische ventilatie «

5.6.2 Energie-aspecten van ventilatie

Ventilatie, en in het bijzonder natuurlijke ventilatie, is van invloed op de energievraag voor verwarming, koeling en elektriciteit voor het aandrijven van ventilatoren.

Ventilatie en verwarming

Als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur is er energie nodig voor het verwarmen van de frisse lucht tot de gewenste binnentemperatuur. De hoeveelheid energie die nodig is, hangt af van de ventilatiesnelheid en het temperatuurverschil.

Warmteterugwinning kan worden gebruikt voor het terughalen (hergebruiken) van het grootste deel van de warmte in de afgevoerde lucht om de frisse lucht van buiten op te warmen voordat deze in het gebouw terechtkomt. Warmteterugwinningssystemen zijn over het algemeen alleen beschikbaar samen met mechanische ventilatie, omdat er een fysieke eenheid voor nodig is waar zowel de toegevoerde als afgevoerde lucht mee gecirculeerd kan worden. Van de warmte kan tot 90% worden teruggewonnen.

Voor het bedienen van het mechanische ventilatiesysteem wordt elektriciteit gebruikt, maar dit is maar een kleine hoeveelheid energie in vergelijking met de hoeveelheid energie die teruggewonnen kan worden als de buitentemperatuur laag genoeg is. Mechanische ventilatie met warmteterugwinning is in de winter dus een energie-efficiënte oplossing voor nieuwe, luchtdichte gebouwen. Tochtige gebouwen hebben echter minder baat bij warmteterugwinning, zoals beschreven in [paragraaf 2.2.2](#). Voor mechanische ventilatie is ook onderhoud nodig (het filter verwisselen, schoonmaken, etc.), wat meegenomen moet worden in de overweging.

Als de buitentemperatuur tussen 14-18°C is, is er (afhankelijk van het gebouw) geen energie nodig voor het opwarmen van de toegevoerde lucht. In dit geval is natuurlijke ventilatie meer energie-efficiënt dan mechanische ventilatie, omdat er geen energie gebruikt wordt om de ventilator aan te drijven. De combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie wordt hybrideventilatie genoemd.

Zie [paragraaf 2.2.3](#) voor een voorbeeld van de energiebesparingen die hybrideventilatie kan opleveren, en [paragraaf 2.1.4](#) voor een voorbeeld van het effect van de ventilatiesnelheid op de energievraag.

ⓘ Vergeet niet

Hybrideventilatie verbruikt in de zomer geen elektriciteit voor een ventilator.

Natuurlijke ventilatie en koeling

Als de buitentemperatuur, in combinatie met de zonneopbrengst, leidt tot een stijging van de binnentemperatuur, bestaat het risico dat het te warm wordt. In sommige gebouwen wordt in dat geval airconditioning gebruikt, maar natuurlijke ventilatie is een efficiënt en energiebesparend alternatief.

Natuurlijke ventilatie kan overdag worden gebruikt (zomerventilatie) om de temperatuur onder controle te houden, zoals beschreven in [paragraaf 2.4.5](#).

Natuurlijke ventilatie kan ook 's nachts gebruikt worden (nachtkoeling) om het gebouw af te koelen, zodat er de volgende dag geen airconditioning nodig is, zoals beschreven in [paragraaf 2.4.6](#).

Nachtkoeling werkt door de constructies in het huis af te laten koelen. Het effect is groter als het een 'zwaar' gebouw is. Beton en baksteen zijn 'zware' materialen, en een gebouw met betonnen of bakstenen muren, plafonds of vloeren is een 'zwaar' gebouw.

5.6.3 Energie-aspecten van zonwering

Zonwering heeft een belangrijke invloed op de energieprestatie van een gebouw. Het gebruik van zonwering heeft invloed op zowel de g- als de U-waarde en is daarom geschikt om in zowel warme als koude klimaten de energieprestatie van een gebouw te verbeteren. En omdat zonwering dynamisch is (hij kan in- en uitgeschakeld

worden), is het een belangrijk onderdeel van het raamsysteem.

Externe zonwering is efficiënter in het voorkomen van zonnewarmteopbrengst dan interne zonwering. Externe zonwering is daarom de beste keuze als de zonwering bedoeld is om te voorkomen dat het te warm wordt en om minder elektriciteit te gebruiken voor koelen.

Interne zonwering zorgt er echter ook in zekere mate voor dat het niet te warm wordt. Interne zonwering is over het algemeen efficiënter in het verbeteren van de isolatie van het raamsysteem. Als deze correct gebruikt wordt, is er daarom minder verwarming nodig in het gebouw. Met interne zonwering kan ook het daglicht geregeld worden. VELUX ACTIVE Climate Control is een voorbeeld van een dynamisch raamsysteem waarin het gebruik van zonwering automatisch geoptimaliseerd is, zonder tussenkomst van de gebruiker. Hierdoor is er minder verwarming en koeling nodig, en is het binnencomfort toch sterk verbeterd (Philipson, 2010).

5.6.4 Energieprestatie van gebouwen in een koud klimaat

In een koud klimaat is een belangrijk doel van het ontwerp dat er zo weinig mogelijk verwarming en elektriciteit voor verlichting nodig is. Daarnaast dient er zo weinig mogelijk elektriciteit voor het aandrijven van ventilatoren (etc.) nodig te zijn, en dient het gebouw zo te worden ontworpen dat er geen koeling nodig is. Dit laatste blijkt steeds

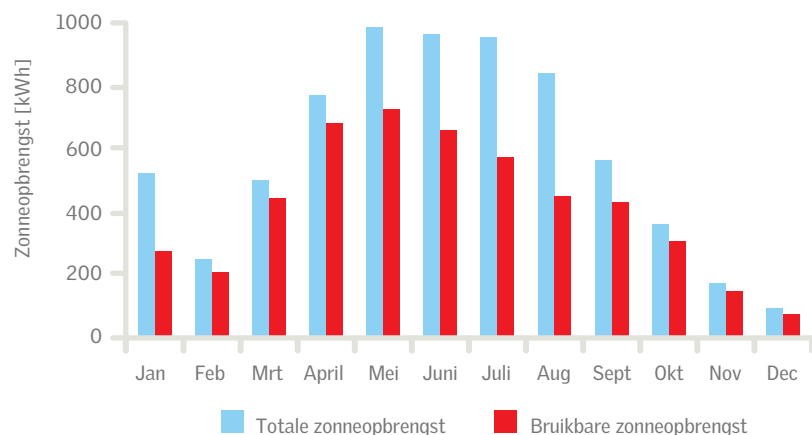
belangrijker te worden: in veel energiezuinige gebouwen is niet op het probleem gerekend dat het te warm zou kunnen worden.

Ramen leveren elke maand van het jaar een bruikbare zonneopbrengst, ook in de zomermaanden. Zonneopbrengst is echter een tweesnijdend zwaard en kan ertoe leiden dat het te warm wordt. De energiebeoordeling dient daarom gebaseerd te worden op jaarlijkse berekeningen, waarvoor tools als de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer kunnen worden gebruikt. Het voorbeeld in Figuur 5.7 laat zien dat de bruikbare zonneopbrengst van mei tot augustus in Denemarken aanzienlijk is. Ook al kunnen er ook in de zomer koude dagen

en nachten voorkomen, er is daardoor in de warme maanden normaal gesproken toch geen verwarming nodig. Het belang van de zonneopbrengst in de zomer wordt geïllustreerd met het volgende voorbeeld.

5.6.5 Energieprestatie van gebouwen in een warm klimaat

In een warm klimaat is thermisch comfort in het warme jaargetijde het hoofddoel. Het andere doel is dat er in het koude jaargetijde minimaal verwarming nodig is. Zoals beschreven in de vorige paragraafs, kan er veel minder of zelfs helemaal geen koeling nodig zijn door natuurlijke koeltechnieken te gebruiken.



Figuur 5.7 Voorbeeld van bruikbare zonneopbrengst in een bestaand gebouw in Denemarken.

❗ Vergeet niet

De zonneopbrengst van ramen is er het hele jaar door - niet alleen in de winter. Dankzij de zonnewarmteopbrengst van ramen kunnen we in de zomer vaak de verwarming uitdoen, zelfs in een koud klimaat.

» De energieprestatie van een bestaand huis kan verslechteren als de ramen worden verwijderd «

Voorbeeld: Energieprestatie van een huis zonder ramen

De verwarmingsenergieprestatie van een gebouw met ramen in vergelijking met een gebouw zonder ramen. Het gebouw staat in Berlijn. In de tabel hieronder staan de resultaten van huizen uit vier verschillende bouwperiodes. De berekeningen zijn uitgevoerd met BSIm.

	GGL 59	GGL 65G	Zonder ramen
Energiezuinig gebouw (2020)	25 kWh/m ²	20 kWh/m ²	20 kWh/m ²
Nieuw gebouw (2005)	61 kWh/m ²	56 kWh/m ²	61 kWh/m ²
Bestaand gebouw (1980)	87 kWh/m ²	82 kWh/m ²	93 kWh/m ²
Bestaand gebouw (1940)	146 kWh/m ²	143 kWh/m ²	162 kWh/m ²

Bij een nieuw of toekomstig gebouw is de energieprestatie van een huis zonder ramen net zo groot als die van het huis met ramen, wat betekent dat de zonneopbrengst van de ramen net zo groot is als het bijkomende warmteverlies.

Bij bestaande gebouwen presteert het huis met ramen beter dan het huis zonder ramen.

Dergelijke technieken zijn onder andere ventilatiekoeling en zonwering. In combinatie met een intelligent bouwontwerp, waarin rekening wordt gehouden met de vorm, thermische massa en richting van het gebouw, kan de piekbelasting voor koeling laag worden gehouden, of zelfs helemaal verdwijnen. Met automatische bediening kan natuurlijke koeling optimaal benut worden.

Zoals te zien in [paragraaf 3.3](#) kan thermisch comfort bereikt worden in een natuurlijk geventileerd gebouw waar de binnentemperatuur hoger is dan 26°C, doordat personen zich aan kunnen passen.

Het hoofddoel dient daarom een ontwerp van een gebouw te zijn zonder koelsysteem en in de plaats daarvan zonwering en natuurlijke ventilatie om onnodig energieverbruik te voorkomen.

5.6.6 Gevolgen van toekomstige vereisten voor betere energieprestatie

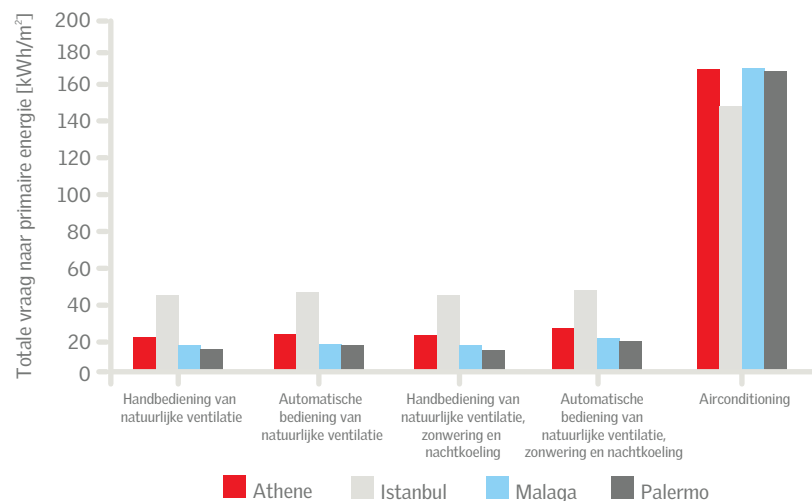
Huidige patronen in Europa en nationale wetgeving wijzen op een blijvende focus op energie in bouwverordeningen. Dit betekent dat de minimale vereisten voor de energieprestatie van zowel nieuwe gebouwen als verbouwingen zullen worden aangescherpt.

Koud klimaat

Zoals beschreven in paragraaf 5.4.3, is de energiebalans van een raam afhankelijk van het gebouw waarin het is geplaatst. In paragraaf 5.6.4 stond een voorbeeld hoe de jaarlijkse zonneopbrengst benut kan worden in een bestaand gebouw in noord-Europa. In een gebouw met een hoge energieprestatie is het warmteverlies laag, dus kan er minder zonneopbrengst worden gebruikt.

Voorbeeld: zonwering en natuurlijke ventilatie zorgen voor een goede energieprestatie en thermisch comfort in een warm klimaat.

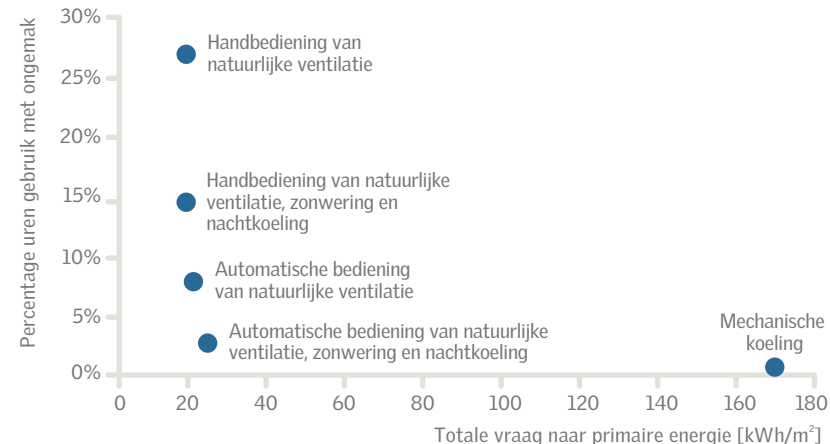
Er werd onderzoek gedaan naar de prestatie van een normaal gebouw in vier steden in een warm klimaat met de VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer. Verschillende combinaties van zonwering en natuurlijke ventilatie werden onderzocht en vergeleken met een huis met airconditioning. De steden die onderzocht werden waren Athene, Istanbul, Malaga en Palermo (Asmussen, 2010). De energieprestatie van het gebouw met airconditioning lag in het bereik van 150 - 160 kWh/m², wat 3 tot 10 keer lager is dan de prestatie van de gebouwen zonder airconditioning.



In een gebouw met een hoge energieprestatie ligt de focus eerder op een lage U_w-waarde dan op een hoge g-waarde.

Het voorbeeld laat zien dat de relatieve besparing door het gebruik van driedubbele beglazing het grootst is in energiezuinige gebouwen, terwijl in bestaande gebouwen de besparing maar gering is.

In de huizen zonder airconditioning was het thermisch comfort ook acceptabel. De grafiek hieronder geeft de resultaten uit Athene weer, en laat zien dat thermisch comfort 98-99% van de tijd wordt bereikt



Figuur 5.8 De figuur geeft zowel de energieprestatie als het thermisch comfort van het gebouw in Athene weer en laat zien dat het thermisch comfort dat met een automatisch controle-mechanisme wordt bereikt net zo goed is als wanneer mechanische koeling wordt gebruikt.

Voorbeeld: belang van driedubbele beglazing in gebouwen met een hoge energieprestatie

Het voorafgaande voorbeeld liet het effect zien van dubbel glas versus driedubbel glas in een normaal huis in Berlijn uit vier verschillende bouwperiodes. In de tabel hieronder wordt de relatieve verminderingen weergegeven als gevolg van het gebruik van driedubbel glas in vergelijking met dubbel glas.

	Energiezuinig gebouw (2020)	Nieuw gebouw (2005)	Bestaand gebouw (1980)	Bestaand gebouw (1940)
Relatieve vermindering van verwarmingsvraag	17%	7%	6%	2%

Vergeet niet

In gebouwen met een hoge energieprestatie wordt de U-waarde van een raam steeds belangrijker ten opzichte van de g-waarde, omdat in energiezuinige gebouwen minder zonneopbrengst kan worden benut.

5.7 Duurzame zonne-energievoorziening

In de vorige paragraafs over energie werd beschreven hoe de verwarmings- en koelingsvraag voor ruimtes van gebouwen kan worden teruggebracht door de optimale combinatie van ramen en toebehoren. In deze paragraaf wordt de focus gelegd op de mogelijkheid om duurzame zonne-energie te gebruiken om te voldoen aan een deel van de resterende energievraag van een gebouw.

Naast daglicht en passieve zonne-opbrengst, kan zonne-energie benut worden voor twee hoofdtoepassingen in het gebouw:

- Zonthermisch systeem, dat voorziet in warm water.
- Fotovoltaïsch systeem (PV), dat voorziet in elektriciteit.

De twee systemen gebruiken allebei panelen om de zonne-energie te verzamelen. Deze panelen worden meestal op het dak van het gebouw geplaatst, maar de twee systemen zijn echter gebaseerd op heel verschillende

technologieën. Hoeveel zonnepanelen nodig zijn voor een bepaald huis hangt af van de zonne-intensiteit op de locatie van dat huis. De jaarlijkse energieopbrengst van de zon in zuid-Europa is ongeveer 40% hoger dan die in noord-Europa.

Zonnepanelen presteren het beste wanneer ze geïnstalleerd zijn op een dak op het zuiden met een helling van 42-60°, afhankelijk van de locatie in Europa. Panelen die geïnstalleerd zijn op een dak met een andere hellingsgraad of richting presteren echter nog steeds bijna optimaal. Een zonthermische collector op het zuiden presteert voor 91% als deze bijna horizontaal of verticaal geïnstalleerd wordt, zoals uitgelegd in de tabel hieronder. De optimale helling voor zonthermische collectoren en zonnecelmodules (PV) verschilt van elkaar, vanwege het gebruik van de opgewekte energie.



Figuur 5.9 Zonne-energieopbrengst is afhankelijk van de richting en helling van de panelen.

	Zuiden		ZO of ZW		Oost of west	
Helling 15°	91%	97%	89%	95%	82%	89%
Helling 30°	96%	100%	92%	96%	82%	86%
Helling 45°	100%	98%	95%	95%	81%	82%
Helling 60°	101%	93%	96%	89%	79%	76%
Helling 75°	98%	84%	93%	81%	75%	67%
Helling 90°	91%	71%	85%	69%	69%	58%

De tabel geeft bij benadering de relatieve prestatie weer van de zonthermische collectoren en zonnecelmodules in Denemarken, afhankelijk van helling en richting.

5.7.1 Zonthermisch systeem

Een zonthermisch systeem wekt alleen energie op als er daglicht is. De meeste zonthermische systemen zijn ontworpen voor het voorzien in sanitair warm water (SWW) zoals hieronder wordt uitgelegd.

Met zonne-energie wordt een mengsel van glycol en water opgewarmd in de panelen op het dak (de collectoren). De warmte daarvan wordt vervolgens overgebracht naar een opslagtank met behulp van een pomp en een controlemechanisme. Het meest gangbare type collector is de vlakkeplaatcollector, die

ofwel op het dak geplaatst kan worden, ofwel in het dakmateriaal geïntegreerd kan worden. De vacuümbuiscollector is minder gangbaar, en kan alleen op het dak geïnstalleerd worden. Vacuümbuiscollectoren zijn meer geschikt voor toepassingen met hoge temperaturen, zoals industriële en koeltoepassingen, terwijl vlakkeplaatcollectoren gebruikt worden voor lagere temperaturen in commerciële en privétoepassingen.

De warmte wordt opgeslagen in een watertank, waarin voor een huis genoeg sanitair warm water past voor 1-2 dagen - voor een normaal gezin is dit ongeveer 200-300 liter. De optimale

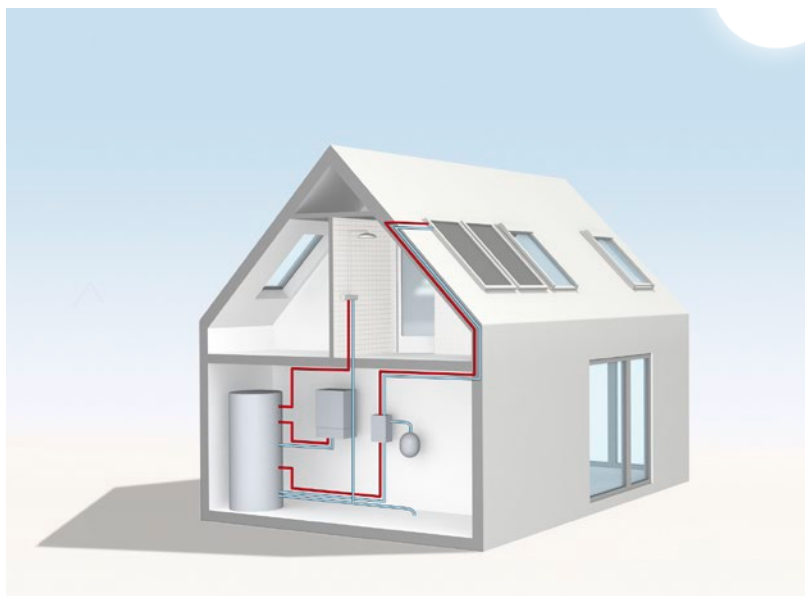
oppervlakte voor zonnecollectoren op een gebouw voorziet in de sanitair warmwaterbehoefte van een huis in de zomermaanden. In minder zonnige jaargetijden wekt het zonthermisch systeem ook energie op, maar heeft dan aanvullende verwarming nodig.

warm waterbehoefte van het huis. Dit getal wordt de zonnefractie genoemd en geeft weer in hoeverre het zonthermisch systeem voorziet in de sanitair warmwaterbehoefte. De systemen zijn ontworpen voor een zonnefractie tussen 60% en 75%.

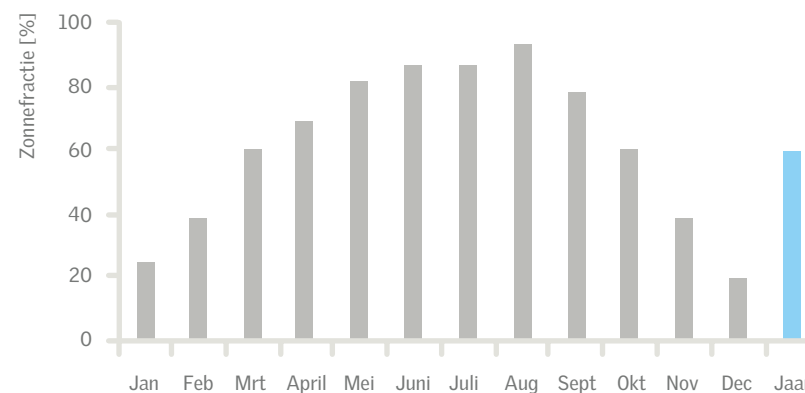
Zonnefractie

De warmte die in een jaar door het zonthermisch systeem wordt geproduceerd wordt gedeeld door de sanitair

De enige lopende kosten die een zonthermisch systeem met zich meebrengt is elektriciteit voor de pomp en het controlemechanisme. Dit is jaarlijks ongeveer 80 kWh.



Figuur 5.10 Diagram van een zonthermisch systeem voor de sanitair warm watervoorziening.



Figuur 5.11 Voorbeeld van de maandelijkse zonnefractie in Londen, VK. De zonnefractie is bijna 90% in de zomer en 60% op jaarbasis.

! Vergeet niet

Zonnecollectoren kunnen voorzien in 75% van de energievraag voor sanitair warm water.

5.7.2 Fotovoltaïsch systeem (PV)

Een fotovoltaïsch systeem bestaat uit zonnecellen, gerangschikt in modules, die bij daglicht elektrische energie opwekken. De zonnecelmodules (of array) kan op het dak worden geplaatst of geïntegreerd worden in het dakmateriaal (BIPV). Door de zonnestraling wordt elektriciteit opgewekt in de zonnecellen. De elektrische stroom die zo wordt opgewekt, wordt dan normaal gesproken naar een wisselrichter geleid, die de gelijkstroom omzet in wisselspanning. De wisselrichter staat in verbinding

met de energiemeter van het huis. Daarvandaan kan de stroom door elk elektrisch apparaat in het huis worden gebruikt, of naar het lichtnet worden geëxporteerd.

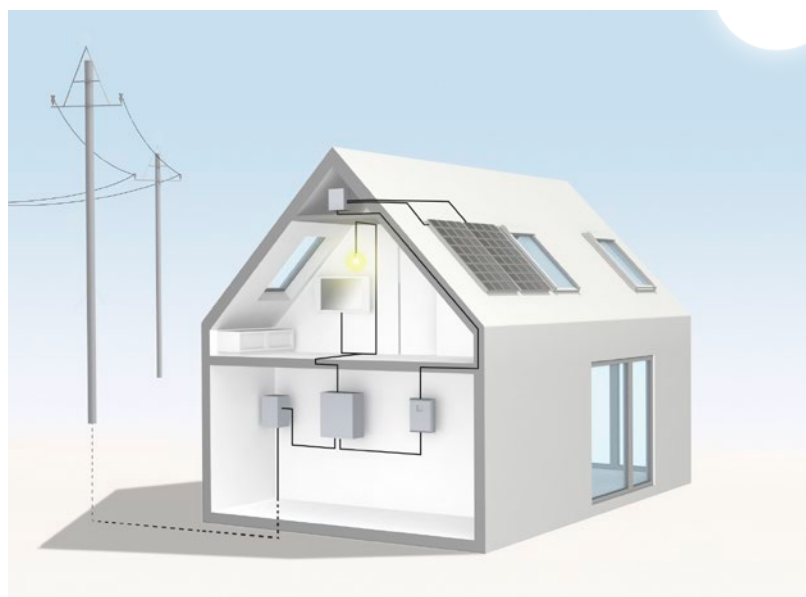
Prestaties van zonnecelsystemen (PV-systemen)

De opbrengst van een zonnecelsysteem is van veel factoren afhankelijk, maar vooral van het materiaal van de zonnecellen: voornamelijk monokristallijne of polykristallijne siliconencellen (zeer efficiënt) of dunne-filmcellen (minder

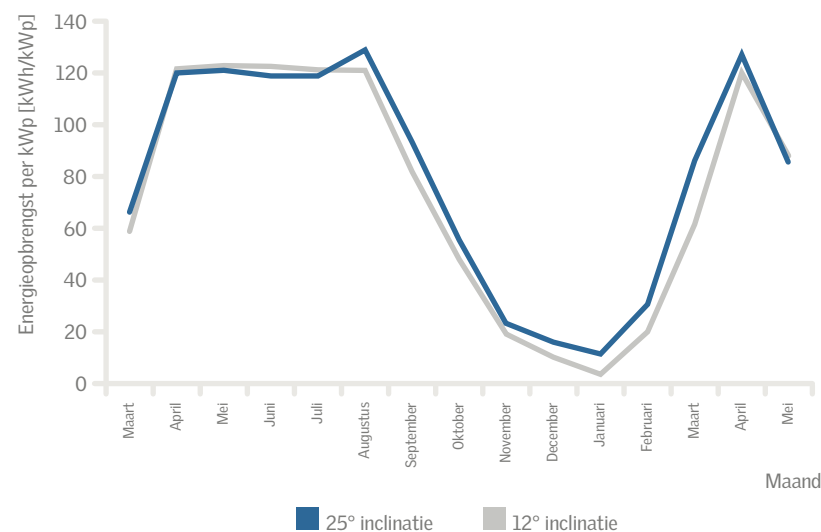
efficiënt). De cellen zijn met elkaar verbonden in een module, in serie en/of parallel, zodat de efficiëntie en andere technische factoren gebaseerd dienen te worden op de gegevens van de module/array of het systeem. De prestaties zijn echter ook afhankelijk van dezelfde zonnefactoren die werden beschreven in de paragraaf over daglicht (zonnestraling, richting en helling van de module). De invloed van de richting en helling is te zien in de tabel onder figuur 5.9.

De temperatuur van de cellen is ook van grote invloed op de efficiëntie. Deze invloed is groter op de kristallijne cellen en minder op de dunne-filmcellen. Ventilatie rondom de modules is daarom erg belangrijk.

Omdat de efficiëntie per vierkante meter over het algemeen lager is dan die van een zonthermische collector, heeft een PV-systeem op een dak veel meer ruimte nodig dan een zonthermisch systeem om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken.



Figuur 5.12 Diagram van een zonnecel voor privé-toepassing in een woonhuis.



Figuur 5.13 Voorbeeld van de PV-opbrengstgrafiek van twee modules met een helling van 12° en 25°.

Gebouw-geïntegreerde PV (BIPV)

Gebouw-geïntegreerde fotovoltaïsche systemen (BIPV) worden om esthetische redenen steeds populairder. De modules worden in het dak geïntegreerd, op min of meer dezelfde hoogte als het dakmateriaal. Het is echter belangrijk om de ventilatie van de modules in het dak niet te vergeten, omdat een stijging van de temperatuur in de modules leidt tot verslechterde prestaties van het systeem.

Het BIPV-systeem biedt echter meer mogelijkheden om de modules samen te integreren met een of meerdere dakramen.

VELUX A/S biedt twee oplossingen om bepaalde types PV-modules samen met een VELUX dakraam te integreren.

Easy Roof-oplossing

Het Easy Roof-bevestigingssysteem bestaat uit kozijnen die net zo groot zijn als de PV-modules van verschillende leveranciers en die direct op het dakwerk geplaatst kunnen worden. Met speciaal ontworpen kozijnen voor VELUX dakramen in de maten MK06 en MK08 is een volledige BIPV-oplossing mogelijk.

InDax-oplossing

Een andere BIPV-oplossing is het Indax-bevestigingssysteem: PV-modules van Monier, geïntegreerd met een VELUX dakraam met EDO-slabben.

❗ Vergeet niet

Het gebruik van zonne-energie heeft nog steeds voordelen, ook als de helling niet optimaal is en de panelen niet recht op het zuiden staan.



Figuur 5.14 Weergave van pakketoplossingen, met een foto van VELUX slabben voor BIPV.

5.8 Index

1) Vlakkeplaatcollector:

Een vlakkeplaatcollector bestaat uit een absorptieplaat, die aan de bovenkant bedekt is met een vlakke glasplaat en aan de onderkant en zijanten geïsoleerd is met isolatiemateriaal

2) Vacuümbuiscollector

Een vacuümbuiscollector bestaat uit een aantal vacuüm buizen die samen in een rek worden geplaatst. In elke glazen buis wordt een absorptiestrook geplaatst, die geïsoleerd wordt door het omringende vacuüm.

Milieu



Milieu

De basis voor de meeste milieu-analyses, milieuwetgeving en particuliere regelingen is nadenken over de levenscyclus en levenscyclusanalyses (UNEP, 2009).

In dit hoofdstuk maakt u kennis met levenscyclusanalyses, de methodologie voor het beoordelen van de duurzaamheid van gebouwen en de beoordeling van gebouwen en bouwproducten.

Het geeft ook een overzicht van de belangrijkste milieuwetgeving in de EU, waarbij de nadruk ligt op chemicaliën.

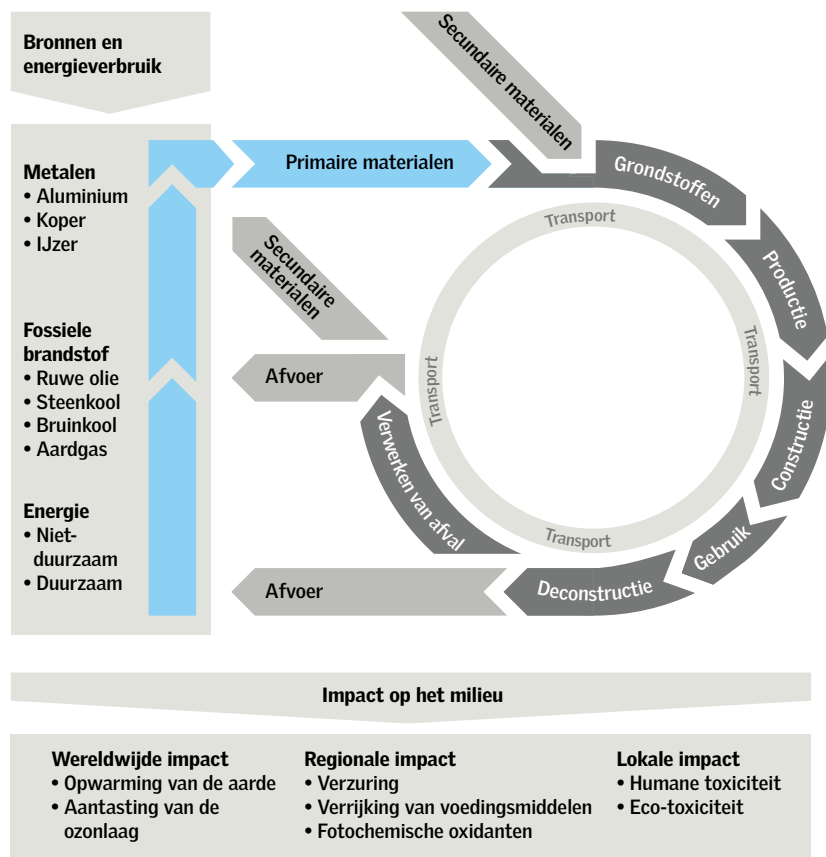
6.1 Levenscyclusanalyses

Een levenscyclusanalyse (LCA) is een analyse van de impact die een bepaald product wereldwijd, regionaal en lokaal op het milieu heeft en hoeveel bronnen het verbruikt gedurende de hele levensduur.

6.1.1 LCA

Een LCA bestaat uit verschillende stadia, zoals te zien is op figuur 6.1.

- De winning en productie van **grondstoffen**.
- Het **vervaardigen** van het product.
- Het **gebruik** van het product (bijv. de verbruikte energie als de klant het product gebruikt).
- De **End-of-Life (EOL)** van het product. Het kan als afval gestort worden, gebruikt worden voor het terugwinnen van energie of worden gerecycled.
- Tussen al die stadia is er ook het **transport** van de grondstoffen, van het product zelf, en van het gebruikte product op weg naar de EOL.



Figuur 6.1 Levenscyclusanalyse (LCA)

Figuur 6.1 laat de levenscyclus van een product zien, vanaf de winning van de grondstoffen, tot de vervaardiging van het product, de gebruiksfase en de EOL, die is verdeeld in storten als afval, recycling en terugwinnen van energie. Het transport is in alle fasen van de levenscyclus opgenomen.

Impact op het milieu is verdeeld in wereldwijde (effecten op wereldwijde schaal), regionale (effecten op regionale schaal),

en lokale impact (effecten op lokale schaal) en het verbruik van bronnen en energie. In dit boek zal niet verder worden ingegaan op de lokale impact.

Wereldwijde impact op het milieu

Wereldwijde impact op het milieu bestaat uit twee factoren:

- Opwarming van de aarde (uitstoot – bijv. CO₂)
- Aantasting van de ozonlaag (uitstoot van CFK-gassen)

Regionale impact op het milieu

Regionale impact op het milieu bestaat uit drie factoren:

- Verzuurde meren, zure regen (verzuring van bodem en water)
- Algengroei (eutrofiëring)
- Zomersmog (vorming van fotochemische ozon)

Verbruik van bronnen en energie

Bij een LCA worden twee soorten verbruik geanalyseerd: het gebruik van abiotische bronnen zoals metalen (materialen) en het gebruik van fossiele energie.

- Verbruik van primaire grondstoffen (verdwijning van abiotische grondstoffen – elementen)
- Verbruik van fossiele brandstoffen (verdwijning van abiotische grondstoffen – fossiele brandstoffen)

6.1.2 Overige factoren van levenscyclusanalyses

Ecologische voetafdruk

Een ecologische voetafdruk is een onderdeel van een volledige LCA, waarbij alleen de uitstoot van broeikasgassen (bijv. CO₂) wordt geëvalueerd.

Van wieg tot uitgang

Van wieg tot uitgang is een analyse van een bepaald product waarin alleen de winning van grondstoffen (wieg), het transport en de productie zijn meegenomen.

Van wieg tot graf

Een van wieg tot graf-analyse bestaat uit een volledige levenscyclusanalyse. Hierbij wordt dus gekeken naar de winning van grondstoffen, het vervaardigen van het product, het gebruik van het product en de EOL.

Van wieg tot wieg

Van wieg tot wieg is bijna hetzelfde als van wieg naar graf, maar met een andere benadering van EOL. De aanpak is dat alle materialen altijd gerecycled moeten worden tot nieuwe producten. Chemicaliën moet dus met de grootste zorg behandeld worden, om te voorkomen dat ze in het milieu terechtkomen. Bij van wieg tot wieg wordt er geen rekening gehouden met het verbruik van energie, omdat wordt aangenomen dat alle energie duurzaam is (ECO-platform, 2014).

6.2 De Europese metho-
dologie voor het bepalen
van duurzaamheid van
gebouwen

6.2.1 Kader

De EU heeft de Europese standaardise-
ringsorganisatie CEN gevraagd om een
algemene Europese methodologie te
ontwikkelen voor het analyseren van
de duurzaamheid van bouwwerken.

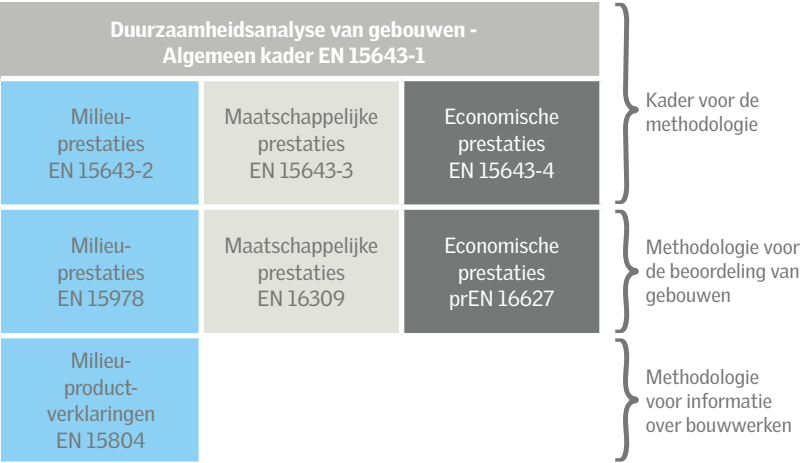
Op dit moment bestaat de serie uit tien
Europese standaards en technische

rapporten (CEN, 2012) en dit worden er
waarschijnlijk nog meer. De standaards
zijn niet verplicht, maar aangezien ze
zijn gebaseerd op een mandaat dat
door de Commissie is gegeven, is de
verwachting dat ze toch verplicht
zullen worden.

De standaards voldoen aan de algemene
principes voor LCA (zie 6.1) en duur-
zaamheid, zoals beschreven in de
internationale ISO 14040 en ISO 14044
standaard (CEN, 2006a; ISO, 2006b)
en door UNEP en SETAC (UNEP, 2009;
EPEA, 2014)

EN 15643-1 tot 4 beschrijven het kader van de methodologie, wat een modulair systeem is.

Een volledige duurzaamheidsanalyse van een gebouw vereist onderzoek naar de prestaties op
het gebied van milieu en economie en van de maatschappelijke prestaties, in elke fase van de
levenscyclus. De fasen van de levenscyclus zijn verdeeld in 'voor gebruik' en 'EOL'.



Figuur 6.2 Duurzaamheidsanalyse voor gebouwen - standaard overzicht.

Informatie over de levenscyclus van gebouwen			
Fase voor gebruik		Gebruiksfase Module B1 – B7	End of life-fase Module C1 – C4
Productfase Module A1 – A3	Constructiefase Module A4 – A5		

Figuur 6.3 Modulair systeem voor de levenscyclus van gebouwen volgens de TC 350-standaard.

Deze twee principes (figuur 2 en 3) vormen samen een modulair systeem waarin de methodologie
kan worden beschreven en de analyse kan worden uitgevoerd. Voor elk van de modules
A1 tot C4 is er in principe een beschrijving beschikbaar van hoe de milieuprestaties, de maat-
schappelijke prestaties en de economische prestaties van dat betreffende aspect van het gebouw
moeten worden geanalyseerd volgens de methodologiestandaard.

Alle grote private bedrijven hebben
aangegeven dat ze de principes van deze
standaards zullen volgen of dat ze in
elk geval kennis zullen nemen van de
gegevens die voortkomen uit het toepas-
sen van de methodologie (EPEA, 2014)

systemen, maar de bekendste internatio-
nale systemen zijn het Britse BREEAM
en het Amerikaanse LEED. Twee nieuwe
systemen zijn het Franse HQE en het
Duitse DGNB.

6.3 Beoordelen van gebouwen

Er zijn veel verschillende schema's
voor het beoordelen van gebouwen.
De meerderheid bestaat uit particuliere
programma's, die soms wel, soms
niet worden erkend door de nationale
autoriteiten. Het is altijd verstandig om
de achtergrond en reputatie van een
schema te controleren.

Het doel van het certificeren van duur-
zame gebouwen is om een kwaliteits-
niveau voor duurzaamheid te bepalen.
Op basis van prestatiecriteria kunnen
verschillende gebouwen vergeleken en
gebenchmarkt worden. Het aantal
wereldwijde certificeringssystemen
neemt toe. Er zijn veel nationale

6.3.1 Active House

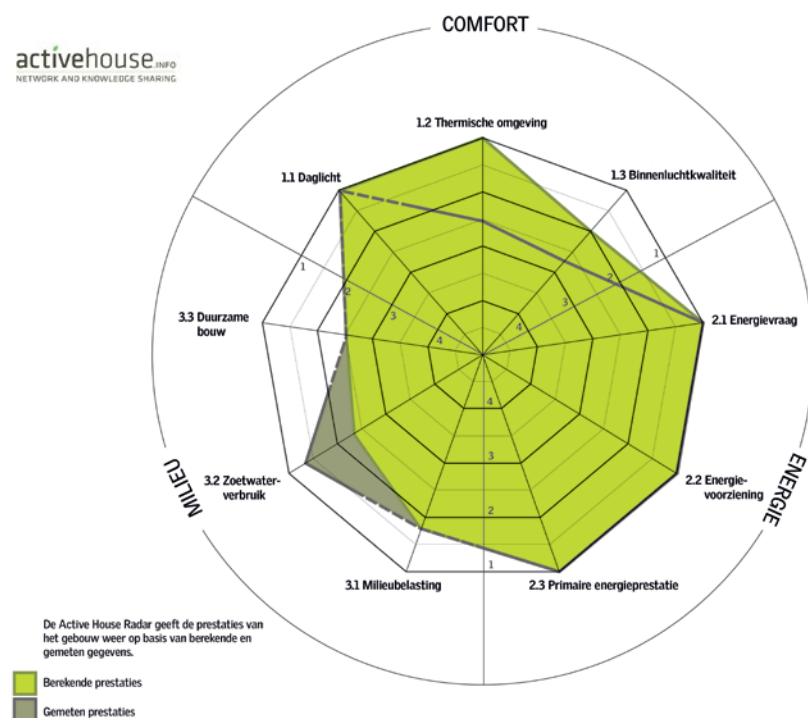
Active House-principes worden gebruikt
om gebouwen te ontwerpen en de
renoveren die op een positieve manier
bijdragen aan de gezondheid en het
welzijn van mensen, door de nadruk te
leggen op de omstandigheden binnen
en buiten en op het gebruik van duur-
zame energie. Een Active House wordt
geëvalueerd op basis van de interactie
tussen energieverbruik, het klimaat in
het gebouw en de impact op het milieu.
Een Active House is energie-efficiënt,
doordat voor alle energie-eisen gebruik
wordt gemaakt van duurzame energie-
bronnen, hetzij geïntegreerd in het
gebouw of via een lokaal gemeenschap-
pelijk energiesysteem en elektriciteits-
net, waardoor het CO₂ neutraal wordt.

Een Active House creëert binnen een gezonde en comfortabele situatie voor de mensen in het gebouw en zorgt dat er veel daglicht en frisse lucht binnenkomt. Een Active House heeft een positieve wis-

selwerking met de omgeving, door een optimale relatie met de lokale context, een geconcentreerd gebruik van bronnen en door zijn algehele impact op het milieu, gedurende zijn hele levenscyclus.

Het idee achter een Active House is *het creëren van gebouwen die meer teruggeven dan dat ze kosten*.

De Active House Specificaties 2.0 zijn openbaar en bevatten een zelf-analyse, die aantrekkelijk is voor ontwerpers, huiseigenaren en iedereen die geïnteresseerd is, www.activehouse.info. Om de geëvalueerde factoren inzichtelijk te maken, wordt een radar gebruikt. Hieronder staat een voorbeeld van de Franse modelwoning, Maison Air et Lumière (MAL).



Figuur 6.4 Active House radar voor de berekende prestaties van de Franse modelwoning Maison Air et Lumière (MAL).

6.3.2 BREEAM



De BRE Environmental Assessment Method (BREEAM) is in 1990 in het Verenigd Koninkrijk ontwikkeld door het Building Research Establishment (BRE). Deze methode beoordeelt prestatiecriteria voor duurzaamheid in tien categorieën. Projecten met een BREEAM-certificering krijgen de beoordeling Voldoende, Goed, Zeer Goed, Voortreffelijk of Uitmuntend. BREEAM wordt gebruikt door de Green Building Councils in het Verenigd Koninkrijk, Nederland, Spanje, Noorwegen en Zweden. <http://www.breeam.org/>

6.3.3 Duitse Raad voor duurzaam bouwen (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB))



De DGNB-methode werd ontwikkeld door de Duitse Raad voor Duurzaam Bouwen (DGNB) en de Duitse overheid. Er zijn 49 criteria in 6 categorieën. De certificering wordt aangeduid met brons, zilver of goud. DGNB is erg nauw verbonden met de Europese standards en wordt momenteel gebruikt in Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland, Bulgarije en Denemarken. Per land zijn ze aangepast aan de nationale standards. <http://www.dgnb.de>.

6.3.4 Franse hoge milieukwaliteit (Haute Qualité Environnementale (HQE))



HQE is het Franse systeem voor het certificeren van duurzame gebouwen. De aanpak is om duurzame gebouwen te promoten die voldoen aan de HQE-principes. Het systeem bestaat uit 15 doelen, waarbij de niveaus 'goede prestatie', 'prestatie' of 'basis' behaald kunnen worden. Er wordt rekening gehouden met verschillende soorten impact op het milieu (bijv. energieprestaties, gebruik van bronnen, mate waarin gerecycled kan worden en de luchtkwaliteit in het pand). <http://www.behqe.com/>

6.3.5 LEED



De LEED-methode is ontwikkeld door de US Green Building Council en is één van de oudste systemen. Een gebouw kan de certificering zilver, goud of platina krijgen, op basis van een beoordeling van meetpunten in acht verschillende categorieën. LEED wordt gebruikt in Roemenië, Italië, Spanje, Zweden, Noorwegen, Finland, Polen, Duitsland en Frankrijk. <http://www.usgbc.org/leed>

6.3.6 Passive House



Het Passive House-concept bestaat in Duitsland vanaf de jaren '90 en geeft doelwaarden voor verwarmingseisen, de luchtdichtheid in gebouwen en de totale primaire energievraag. Het Passive House-concept is een certificeringsprogramma met berekeningen voor jaarlijks energieverbruik voor verwarming, warm water en elektriciteit voor het huishouden, beoordeeld ten opzichte van de eisen van het systeem. <http://www.passivehouse-international.org/>

3.3.7 Green Building Councils

De Green Building Councils ondersteunen een certificeringsschema en de ontwikkeling van 'groene gebouwen' in hun buurt. Meer dan 100 landen hebben een Green Building Council.

De beste manier om aan meer informatie te komen, is via de World Green Building Council – www.worldgbc.org – een overkoepelende organisatie voor Green Building Councils over de hele wereld.

6.4 Beoordeling van bouwproducten

6.4.1 Bouwproducten en milieuverklaringen

Bij de beoordeling van gebouwen worden de bouwproducten geanalyseerd door middel van milieuverklaringen (Environmental Product Declarations, EPD's) conform EN 15804 (CEN, 2012), als de Europese methodologie wordt toegepast.

Alle resultaten van de beoordeling passen binnen het modulaire systeem van de methodologie, waarbij de modules A1-A3 (hoofdstuk 6.2.1 – productfase) het belangrijkste onderdeel vormen.

Een milieuverklaring geeft niet aan of een gebouw duurzaam is of niet. Deze conclusie kan alleen getrokken worden als het hele gebouw bekeken wordt.

VELUX Milieu-analyse (Environmental Product Assessment, VEPA)

Een VEPA is een verklaring van VELUX A/S betreffende de impact van het product op het milieu en het gebruik van bronnen. Het wordt geanalyseerd en opgebouwd als een milieuverklaring, conform EN 15804 (CEN 2012).

Overige milieuverklaringen voor prestaties (Environmental Performance Declarations (EPD))

VELUX Frankrijk heeft EPD'S uitgegeven conform de Franse standaard NF P 01-010, bekend als FDES. Er zijn drie verschillende EPD's voor houten dakramen, PU-dakramen en slabben. De EPD is het resultaat van de analyse van een reeks producten die specifiek in Frankrijk worden verkocht. De EPD's zijn opgenomen in de INIES-database.

<http://www.base-inies.fr/Inies/Consultation.aspx>

6.4.2. Andere soorten labels

Er zijn veel andere soorten labels voor de beoordeling van bouwproducten, waaronder materiaallabels en gezondheidslabels.

Franse labeling van de luchtkwaliteit binnen.



Franse labeling van de luchtkwaliteit binnen is een verplicht labelingsysteem voor producten op de Franse markt. De wetgeving beslaat producten voor binnen. Het labelingsysteem beslaat vier categorieën: C, B, A en A+, waarbij A+ de hoogste categorie is. Elektrische motors, rolgordijnen en andere decoratieve producten vallen niet onder het labelingsysteem. De meeste VELUX producten hebben een A+ waardering gekregen.

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Chapitre-I-Mode-d-emploi-de-l.html>

Oeko-Tex®



Oeko-Tex® is een internationaal, niet verplicht label, dat gebruikt wordt om textiel te certificeren. Het label heeft betrekking op toevoeging en aanwezigheid van bepaalde gevaarlijke substanties. Sommige VELUX-rolgordijnen zijn gecertificeerd conform de Oeko-Tex® standaards.

<https://www.oeko-tex.com/en/manufacturers/manufacturers.xhtml>



Het Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) en het Forest Stewardship Council (FSC) zijn twee labels met betrekking tot duurzaam en verantwoord bosbeheer. VELUX heeft beide labels. Meer informatie kunt u vinden op:

http://www.velux.com/velux_group/social_responsibility/environment/raw_materials,

<http://www.pefc.org/> or

<https://ic.fsc.org/>

6.5 Overzicht EU-wetgeving

Milieuproblemen en duurzaamheid worden steeds meer vastgelegd door middel van wetgeving. Hieronder vindt u een overzicht van de belangrijkste en bekendste wetten:

6.5.1 Bouwproductenverordening

De Bouwproductenverordening (Europese Commissie, 2011b) bepaalt hoe bouwproducten een CE-markering krijgen, als 'verkoopbewijs' voor de Europese markt. De CE-markering op bouwproducten is een prestatieverklaring. De eisen die in de prestatieverklaring moeten worden opgenomen, worden fundamentele eisen voor bouwwerken (Basic Work Requirements, BWR) genoemd. Eisen met betrekking tot het milieu en duurzaamheid zijn BWR 3 en BWR 7.

6.5.2 Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals (REACH)

De Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals (Europese Commissie, 2006a) (REACH)-verordening is de belangrijkste Europese verordening op het gebied van chemicaliën. Het belangrijkste doel van REACH is dat alle chemicaliën die in Europa worden gebruikt, eerst worden geregistreerd en geëvalueerd. De meest schadelijke chemicaliën mogen alleen gebruikt worden als er een officiële autorisatie voor is. In de meeste

gevallen wordt VELUX gezien als een downstreamgebruiker van chemicaliën, wat betekent dat er informatie verstrekt moet worden over chemicaliën die op de zogenoemde kandidatenlijst staan.

6.5.3 Beperkingen ten aanzien van gevaarlijke stoffen (RoHS)

De richtlijnen voor de beperkingen ten aanzien van gevaarlijke stoffen (Europese Commissie, 2011a) richten zich op het reguleren van het gebruik van zes verschillende chemicaliën in elektrische en elektronische apparaten. De elektrische en elektronische producten van VELUX zullen vallen onder de RoHS-Verordening van 22 juli 2019.

6.5.4 Batterijrichtlijn

De batterijrichtlijn (Europese Commissie, 2006b) richt zich op het reguleren van het gebruik en het afvoeren van batterijen in de Europese Unie. In de praktijk betekent dit dat de producenten van batterijen of producten met batterijen verantwoordelijk zijn voor het op de juiste manier afvoeren van deze batterijen. Producenten zijn verplicht om producten zo te ontwerpen dat alle batterijen gelabeld zijn en apart kunnen worden afgevoerd. VELUX A/S is onderdeel van batterijophaalprogramma's in Europese landen en de producten vallen onder de batterijrichtlijn.

6.5.5 Afgedankte elektrische en elektronische apparatuur

De verordening betreffende afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (Europese Commissie, 2012) moet het afdanken van elektrische en elektronische apparatuur voorkomen en afval verminderen, door middel van het stellen van doelen voor verzameling, hergebruik en recycling. Het verplicht producenten van producten waar elektrische of elektronische onderdelen in zitten om deze onderdelen te labelen en maakt hen verantwoordelijk voor een juiste afvoer van deze onderdelen.

6.6 Index

Wereldwijde impact op het milieu

Opwarming van de aarde

Potentiële opwarming van de aarde (CO₂equivalenten) is de potentiële bijdrage van een product, gedurende de hele levensduur, aan de opwarming van de aarde. Potentiële opwarming van de aarde meet in welke mate een bepaalde massa broeikasgassen (bijv. CO₂ en CH₄) bijdraagt aan de opwarming van de aarde. Het potentieel van ieder broeikasgas wordt gedeeld door de CO₂ equivalent.

Aantasting van de ozonlaag

Het aantastingspotentieel van de stratosferische ozonlaag, ODP (kg CFK 11 equivalenten) is de potentiële bijdrage van een product aan het afbreken van de ozonlaag.

Regionale impact op het milieu

Verzuring van bodem en water

De uitstoot van zwavel en stikstof geeft een hoge mate van verzuring, waardoor vissen doodgaan (verzuurde meren) en bossen achteruitgaan (zure regen). Verzuringspotentieel, AP (kg SO₂ equivalenten) is de potentie van een product om zwavel en stikstof uit te stoten bij verbranding.

Eutrofiëring

Uitstoot van de voedingsstoffen stikstof en fosfor bij landbouw- en verbrandingsprocessen leidt tot eutrofiëring van meren en zeeën.

Dit verschijnsel staat ook bekend als algengroei. Het eutrofiërings-potentieel, EP (kg PO₄)³⁻ equivalenten, is het potentieel van een product om tijdens de levensduur eutrofiëring te veroorzaken.

Vorming van fotochemische ozon

Fotochemische ozon is beter bekend als zomersmog. Het fotochemische ozonontwikkelingspotentieel POCP (kg etherequivalenten) is de reactie vluchtige organische stoffen (VOC's) en zonlicht.

Verbruik van bronnen en energie

Bij een LCA worden twee soorten verbruik geanalyseerd: het gebruik van abiotische bronnen zoals metalen (materialen) en het gebruik van fossiele energie.

Aantasting van abiotische bronelementen

Abiotisch aantastingspotentieel ADP-elementen voor niet-fossiele bronnen (kg Sb equivalenten) verwijst naar het verbruik van primaire bronnen zoals aluminium, koper, ijzer, of zeldzame metalen. Dit probleem wordt wereldwijd steeds groter.

Aantasting van abiotische bronnen-fossiele brandstoffen

Het abiotisch aantastingspotentieel (ADP - fossiele brandstoffen) voor fossiele bronnen (MJ, calorische onderwaarde) verwijst naar het verbruik van fossiele brandstoffen zoals aardgas en ruwe olie.

Bronvermelding

Bronvermelding

- [1] Active House Alliance (2013) Active House – the specifications.
- [2] activehouse.info (2010) network and knowledge sharing, <http://www.activehouse.info/> (accessed 2010-06-04).
- [3] American Speech-Language- Hearing Association (2010) Noise and Hearing Loss, <http://www.asha.org/public/hearing/disorders/noise.htm> (accessed: 2010-05-31).
- [4] Architectural Energy Corporation (2006) Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool – Development Report and Case Studies, CHPS Daylighting Committee.
- [5] Ariës, M. B. C., Veitch, J. A., and Newsham, G. R. (2010) Windows, view and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 533-541.
- [6] Asmussen, T. F., Foldbjerg, P. (2010) Efficient passive cooling of residential buildings in warm climates, Submitted for PALENC 2010.
- [7] Baker N. (2009), Daylight inside and the world outside, *Daylight and Architecture*, vol. 11.
- [8] Bakó-Biró, Z. and Olesen, B. W. (2005) Effects of Indoor Air Quality on Health, Comfort and Productivity Overview report, International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark.
- [9] Bekö, G., Toftum, J. and Clausen, G. (2011) Modeling ventilation rates in bedrooms based on building characteristics and occupant behavior. *Building and Environment*, 46(11), 2230–2237.
- [10] Bekö, G. (2009) Used Filters and Indoor Air Quality, *ASHRAE Journal*, vol. 7, no. March.
- [11] Bluyssen, P. M. (2009) *The Indoor Environment Handbook*, RIBA Publishing.
- [12] Bluyssen, P. M. (2010) Understanding the indoor environment - putting people first, *Daylight and Architecture*, vol. 13.
- [13] Bluyssen, P. M. (2013) *The healthy indoor environment - How to assess occupants' well-being in buildings*. Earthscan from Routledge.

- [14] Bornehag, C. G., Blomquist, G., Gyntelborg, B., Nielsen, A., Pershagen, G. and Sundell, J. (2001) Dampness in Buildings and Health between Exposure to 'Dampness' in Buildings and Health Effects (NORDDAMP) *Indoor Air*, 11, 72–86.
- [15] Boubekri, M. (2004) An Overview of The Current State of Daylight Legislation, *Journal of the Humam Environmental System*, vol. 7, no. 2, pp. 57-63.
- [16] Boyce, P., Hunter, C. and Howlett, O. (2003) The Benefits of Daylight through Windows, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.
- [17] Brainard, G. C. (2002) Photoreception for Regulation of Melatonin and Circadian System, 5th International LRO Lighting Research Symposium.
- [18] BREEAM (2010) the Environmental Assessment Method for Buildings Around The World, <http://www.breem.org/> (accessed: 2010-06-04).
- [19] British Research Establishment (2009), The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, Department of Energy and Climate Change, United Kingdom.
- [20] British Standard (2002) BS 5250: Code of practice for control of condensation in buildings.
- [21] Brown, M. J., and Jacobs, D. E. (2011) Residential light and risk for depression and falls: Results from the LARES study of eight European cities. *Public Health Reports*, 126 (Supplement 1), 131-140.
- [22] Bråbäck, L., Hjertqvist, A., Rasmussen, F. (2004) Trends in asthma, allergic rhinitis and eczema among Swedish conscripts from farming and non-farming environments. A nationwide study over three decades, *Clinical and experimental allergy*, vol. 34, no. 1, pp. 38-43.
- [23] Carbon Footprint (2010) <http://www.carbonfootprint.com/> (accessed: 2010-06-09).
- [24] Caring for our forests globally (2010) <http://www.pefc.org/> (accessed: 2010-06-04).
- [25] Carmichael, K., Anderson, M., Murray, V. (2011) Overheating and health : a review into the physiological response to heat and identification of indoor heat thresholds.

- [26] CEN (1995) EN ISO 140-3: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements, CEN.
- [27] CEN (1997) EN ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation.
- [28] CEN (2005) EN ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment.
- [29] CEN (2006) EN ISO 140-18: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 18: Laboratory measurements of sound generated by rainfall on building elements.
- [30] CEN (2007) EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings.
- [31] CEN (2010) EN ISO 10140 serie: Acoustics - Measurement of sound insulation of building elements.
- [32] CEN (2012a) EN 15804 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.
- [33] CEN (2012b) TC 350 standards Sustainability of construction works.
- [35] Christoffersen, J., Petersen, E., Johnsen, K., Valbjørn, O. and Hygge, S. (1999) Vinduer og dagslys – en feltundersøgelse i kontorbygninger (SBI - rapport 318) Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- [36] CIBSE Guide A. (2006) Environmental design. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- [37] CIBSE (2002) Code for Lighting, Oxford: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- [38] CIBSE (2006) Guide A: Environmental design. Chartered Institute of Building Services Engineers, London.
- [39] CIBSE (2011) Indoor Air Quality and Ventilation (CIBSE Knowledge Series KS17) CIE (1970). Daylight. CIE 16-1970. International Commission on Illumination (CIE).

- [40] CIE (2004a) Ocular lighting effects on human physiology and behaviour (No. CIE 158:2004) Vienna, Austria: Commission Internationale de l'Eclairage.
- [41] CIE (2004b) Proceedings of the CIE Expert Symposium on Light and Health (Vol. CIE x27:2004) Vienna, Austria: Commission Internationale de l'Eclairage.
- [42] CIE (2006) CIE 171:2006 Test Cases to Assess the Accuracy of Computer Lighting Programs.
- [43] Circadian House report (2013) Circadian House - Principles and Guidelines for Healthy Homes. VELUX report <http://thedaylightsite.com/library-3/research-publications/papers/> ((accessed: 2014-12-10).
- [44] Couillard, N. (2010) Impact of VELUX Active Sun screening on Indoor Thermal Climate and Energy Consumption for heating, cooling and lighting. Case study for Germany Research project, Centre Scientifique et Technique du Batiment.
- [45] Danish Building Research Institute (2014a) Lydisolering af klimaskærm – SBI anvisning 244.
- [46] Danish Building Research Institute (2014b) Lydisolering af bygninger teori og vurdering – SBI anvisning 245.
- [47] Danish Enterprise And Construction Authority (2010) – The Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Building Regulations.
- [48] Danish Ministry of Environment (2003) Den danske vejstøjstrategi. <http://mst.dk/borger/stoej/hvad-er-stoej/> (accessed: 2014-09-19).
- [49] de Dear, R., Brager, G. S. (1998) Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE Transactions, vol. 104, no. 1.
- [50] de Dear R., Brager, G. S., Cooper, D. (1997) Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference – RP 884, ASHRAE.
- [51] de Dear, R. (2006) The Theory of Thermal Comfort in Naturally Ventilated Indoor Environments – "The Pleasure Principle" International Journal Of Ventilation, 8(3).

- [52] Dhalluin, A., Limam, K. (2012) Comparison of Natural and Hybrid Ventilation Strategies used in Classrooms in Terms of Indoor Environmental Quality, Comfort and Energy Savings. *Indoor and Built Environment*, 23(4), 527–542. doi:10.1177/1420326X12464077.
- [53] ECO platform (2014) <http://www.eco-platform.org/> (accessed: 2014-11-07).
- [54] Edwards, L., Torcellini, P. (2002) A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy.
- [55] Eichhammer, W. (2009) Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries, Fraunhofer-Institute for System and Innovation Research.
- [56] Ellermann, T., Brandt, J., Hertel, O., Loft, S., Andersen, Z. J., Raaschou-Nielsen, O., Sigsgaard, T. (2014) Luftforureningens indvirkning på sundheden i Danmark. Nationalt Center for Miljø og Energi – DCE.
- [57] Environmental Protection Encouragement Agency (2010) (EPEA) Internationale Umweltforschung GmbH, <http://epea-hamburg.org/en/home.html> ((accessed: 2010-06-09).
- [58] EPEA (2014) <http://epea-hamburg.org/index.php?id=69> (accessed: 2014-11-07).
- [59] Espiritu, R. C., Kripke, D. F., Ancoli-Israel, S., Mowen, M. A., Mason, W. J., Fell, R. L. et al. (1994) Low illumination experienced by San Diego adults: Association with atypical depressive symptoms. *Biological Psychiatry*, 35(6), 403–407.
- [60] Europe's Energy Portal (2010) www.energy.eu (accessed: 2010-06-08.).
- [61] European Commission (2007) Technical University of Berlin, NEST project; Innovative Sensor System for Measuring Perceived Air Quality and Brand-Specific Odours.
- [62] European Commission (2002) Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December (2002) on the energy performance of buildings, European Union.
- [63] European Commission (2006a) Regulation 1907/2006/EC 18 December (2006) REACH.

- [64] European Commission (2006b) Directive 2006/66/EC 6 September (2006) Batteries.
- [65] European Commission (2011a) Directive 2011/65/EU 8 June 2011 RoHS.
- [66] European Commission (2011b) Regulation 305/2011/EU 9 March 2011 Construction Products.
- [67] European Commission (2012) Directive 2012/19/EU 4 July 2012 WEEE.
- [68] Fanger, P. O. (1970) Thermal comfort, Danish Technical Press.
- [69] Favre, B., Cohen, M., Vorger, E., Mejri, O., Peuportier, B. (2013) Evaluation of ventilative cooling in a single family house (pp. 1–131).
- [70] Foldbjerg, P., Asmussen, T. F. (2013C) Ventilative cooling of residential buildings: strategies , measurement results and lessons-learned from three active houses in Austria , Germany and Denmark. In Proceedings of AIVC 2013.
- [71] Foldbjerg, P., Knudsen, H. N. (2014) Maison Air et Lumière a case from model home 2020 project. REHVA Journal (June), 55–57.
- [72] Foldbjerg P., Asmussen, T. F., Duer K. (2010) Hybrid ventilation as a cost-effective ventilation solution for low-energy residential buildings, Proceedings of Clima2010.
- [73] Foldbjerg P., Asmussen, T. F., Sahlin P., Duer, K., Ålenius, L. (2010), EIC Visualizer, an intuitive tool for coupled thermal, airflow and daylight simulations of residential buildings including energy balance of windows, Proceedings of Clima2010.
- [74] Foldbjerg P., Roy N., Duer K., Andersen, P. A. (2010) Windows as a low-energy light source in residential buildings: Analysis of impact on electricity, cooling and heating demand, Proceedings of Clima2010.
- [75] Foldbjerg, P., Asmussen, T. F., Roy, N., Sahlin, P., Ålenius, L., Jensen, H. W., Jensen, C. (2012) Daylight Visualizer and Energy and Indoor Climate Visualizer, a Suite of Simulation Tools for Residential Buildings. In Proceedings of BSO 2012.
- [76] Foldbjerg, P., Rasmussen, C., Asmussen, T. (2013B) Thermal Comfort in two European Active Houses : Analysis of the Effects of Solar Shading and Ventilative Cooling. In Proceedings of Clima2013.

- [77] Foldbjerg, P., Asmussen, T. F., Christoffersen, J. (2014B) Indoor Climate in a Danish Kindergarten built according to Active House Principles : Measured Thermal Comfort and use of Electrical Light. In AIVC conference 2014 (pp. 188–197).
- [78] Foldbjerg, P., Asmussen, T., and Holzer, P. (2014) Ventilative Cooling of Residential Buildings - Strategies, Results and Lessons-Learned from three Active Houses in Austria, Germany and Denmark. *International Journal of Ventilation*, 13(2), 179–191.
- [79] Forest Stepwardship Council (2010) , <http://www.fsc.org/> (accessed: 2010-06-04).
- [80] Franchi, M., Carrer, P., and Kotzias, D. (2004) et al., Towards healthy air in Dwellings in Europe, European Federation of Allergy and Airways Diseases Patients Associations.
- [81] Galasiu, A. D., Newsham, G. R., Suvagau, C., and Sander, D. M., (2007) Energy-saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. *Leukos*, 4(1) pp. 7–29 (<http://www.mcclungfoundation.org/Documents/EnergySavingLightingControlSystems.pdf>).
- [83] German Sustainable Building Council (2010) <http://www.dgnb.de/> (accessed: 2010-06-04).
- [83] Grimaldi, S., Partonen, T., Saarni, S. I., Aromaa, A., and Lönnqvist, J. (2008) Indoors illumination and seasonal changes in mood and behavior are associated with the health-related quality of life. *Health and Quality of Life Outcomes*, 6, 56. doi: 10.1186/1477-7525-6-56.
- [84] Grinde, B., and Grindal Patil, G. (2009) Biophilia: Does Visual Contact with Nature Impact on Health and Well-Being? *International Journal of Environmental Research and Public Health*. September; 6(9): 2332–2343.
- [85] Hathaway, W. E., Hargreaves, J. A., Thomson G. W., Novitsky, D. (1992) A study into the effects of light on children of elementary school age - a case of daylight robbery, Alberta Department of Education.
- [86] Hauge B. (2009) Antropologisk undersøgelse og analyse af betydningen af Frisk luft Udefra ind i privatboligen, University of Copenhagen.
- [87] Heiselberg, P., and Perino, M. (2010) Short-term airing by natural ventilation – implication on IAQ and thermal comfort, *Indoor Air*, pp. 126-140.
- [88] Heiselberg, P. (2002) Principles of hybrid ventilation, IEA Annex 35, Aalborg University.

- [89] Heschong Mahone Group. (2003) Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment (No. P500-03-082-A-9) Sacramento, CA: California Energy Commission.
- [90] Heschong, L. (1979) Thermal delight in architecture. The MIT Press.
- [91] Heschong, L. (2002) Daylighting and Human Performance, ASHRAE Journal, vol. 44, no. 6, pp. 65-67.
- [92] Hopkins, R. G. (1963) Architectural Physics: Lighting, London: Her Majesty's Stationery Office.
- [93] ESNA (2013). LM-83-12: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). The Illuminating Engineering Society of North America (IES). <http://www.ies.org/store/product/approved-method-ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase-1287.cfm> (accessed: 2014-12-10).
- [94] International Energy Agency (2006) Light's Labour's Lost Policies for Energy-efficient Lighting (<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/lights-labours-lost.html>).
- [95] International Energy Agency (2009) Key World Energy Statistics, IEA.
- [96] IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report, Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations.
- [97] ISO (2006a) ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- [98] ISO (2006b) ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- [99] ISO (2009) ISO 18292: Energy performance of fenestration systems - Calculation procedure.
- [100] ISO (2014a) ISO 10916:2014 Calculation of the impact of daylight utilization on the net and final energy demand for lighting.

- [101] Joarder, A.R., Price, A.D.F.(2013), Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery, *Lighting Res. Technol.*; 45: 435–449
- [102] Johnsen K., Dubois M., Grau K. (2006) Assessment of daylight quality in simple rooms, Danish Building Research Institute.
- [103] Kaplan, R. (1993) The role of nature in the context of the workplace. *Landscape and Urban Planning* Volume 26, Issues 1–4, October, 193–201.
- [104] Kaplan, R. (2001) The nature of the view from home: Psychological benefits. *Environment and Behavior*, 33(4), 507-542.
- [105] Kim, J. J. and Wineman, J. (2005) Are windows and views really better? A Quantitative Analysis of the Economic and Psychological Value of Views, Rensselaer Polytechnic Institute, Lighting Research Center, New York: Daylight Dividend Program.
- [106] Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., Engelmann, W. H. (2001) The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
- [107] Kragh, J., Lautsen, J. B, Svendsen, S. (2008) Proposal for Energy Rating System of windows in EU, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- [108] Kropf, S., Zweifel, G. (2002), Validation of the Building Simulation Program IDA-ICE According to CEN 13791, Hochschule für Technik+Architektur Luzern.
- [109] Krzyanowski, M. (1999) Strategic approaches to indoor air policymaking, WHO European Centre for Environment and Health.
- [110] Kwok, A. G. (2000) Thermal Boredom. In *PLEA 2000* (pp. 1–2) Cambridge.
- [111] Labayrade, R., Fontoynt, M. (2009) Assessment of VELUX Daylight Visualizer 2 Against CIE 171:2006 Test Cases, ENTP, Université de Lyon.
- [112] Lam, W. (1977) *Perception and Lighting as Formgivers for Architecture*, McGraw-Hill.
- [113] Larsen, T. S., Jensen, R. L., and Daniels, O. (2011) *The Comfort Houses* (p. 98) Aalborg University report.

- [114] Laverge, J., Janssens, A. (2011) Physiological and Sensory Human Response to IEQ Indicators While Asleep. Proceedings of Indoor Air 2011, Austin, Texas.
- [115] Leech, J. A., Nelson, W. C., Burnett, R. T., Aaron, S., Raizenne, M. E. (2002) It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12(6), 427-432.
- [116] Liddament, M. W. (1996) A guide to energy-efficient ventilation, AIVC.
- [117] Lighting Research Center (2014) Rensselaer Polytechnic Institute, Daylighting Resources – Productivity, http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/dr_productivity.asp (accessed: 2014-11-06).
- [118] Loutzenhisser, P., Manz, H., Maxwell, G. (2007) Empirical Validations of Shading/Daylighting/Load Interactions in Building Energy Simulation Tools, International Energy Agency.
- [119] LRC (2003) The Benefits of Daylight. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylightdividends>
- [120] Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J. (2012) Daylighting, Artificial Lighting and Non-Visual Effects Study for a Residential Building, VELUX.
- [121] Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J. (2012) Daylighting, Artificial Lighting and Non-Visual Effects Study for a Residential Building.
- [122] Mardaljevic, J. (2008), Climate-Based Daylight Analysis for Residential Buildings – Impact of various window configurations, external obstructions, orientations and location on useful daylight illuminance, Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University.
- [123] Mardaljevic, J. (2012) Daylight, Indoor Illumination and Human Behavior in *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* Springer-Verlag New York Inc, New York. ISBN 978-0-387-89469-0, pp 2804-2846.
- [124] Marsh, R., Larsen, V. G., Lauring, M., Christensen, M. (2006) *Arkitektur og energi*, Danish Building Research Institute.

- [125] Mathisen, H. M., Berner, M., Halvarsson, J., Hansen, S. O. (2008) Behovsstyrt ventilasjon av passivhus – Forskriftskrav og brukerbehov, Proceedings of Passivhus Norden.
- [126] Matthias, A. (2000), Validation of IDA ICE with IEA task 12 – Envelope BESTEST, Hochschule Technik+Architektur Luzern.
- [127] McIntyre, D. A. (1980) Indoor Climate. Applied Science Publishers.
- [128] Miljøstyrelsen (2010) : Tips om støj, <http://www.mst.dk/Borger/Temaer/Fritiden/Stoej/> (accessed: 2010-05-31).
- [129] Ministère De La Santé (2005) Etudes scientifiques sur la perturbation du sommeil. Bruit et santé.
- [130] Moeck, Yoon, Bahnfleth, et al. (2006) How Much Energy Do Different Toplighting Strategies Save?, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.
- [131] Moosberger, S. (2007), IDA ICE CIBSE-Validation, Hochschule Technik+Architektur Luzern.
- [132] National Institute of Occupational Health in Denmark (2006) Støj fra menneskelig aktivitet - Et udredningsarbejde.
- [133] National Research Council Canada (2010) : Acoustics Principles, <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/cope/principles-acoustics.html> (accessed: 2010-05-31).
- [134] Nazaroff, W. W. (2013) Four principles for achieving good indoor air quality. Indoor Air, 23(5), 353–6. doi:10.1111/ina.12062.
- [135] Newsham, G. R., Brand, J., Donnelly, C. L., Veitch, J. A., Aries, M. B. C., Charles, K. E. (2009) Linking indoor environment conditions to job satisfaction: a field study. Building Research and Information, 37(2), 129 - 147.
- [136] Nilsson, C. (2008) Air, Swegon Air Academy.
- [137] Orme, M. S., Palmer, J. (2003) Control of overheating in future housing, Design guidance for low- energy strategies. Hertfordshire, UK, Faber Maunsell Ltd.

- [138] Orme, M. (2003) Control of overheating in future housing, Design guidance for low- energy strategies. Hertfordshire, UK: Faber Maunsell Ltd.
- [139] Osram (2010) The new class of light, <http://www.osram.com/> (accessed: 2010-06-07).
- [140] Passivhaus Institut (2010) <http://www.passiv.de/> (accessed: 2010-06-04).
- [141] Pechacek, C. S., Andersen, M., Lockley, S. W. (2008) Preliminary method for prospective analysis of the circadian efficacy of (day)light with applications to healthcare architecture. *Leukos*, 5(1), 1-26).
- [142] Perez, R. (2009) Making the case for solar energy, *DaylightandArchitecture*, vol. 9.
- [143] Perino, M., Heiselberg P. (2009) Short-term airing by natural ventilation – modeling and control strategies, *Indoor Air*, no. 19, pp. 357-380.
- [144] Philipson, B. H., Foldbjerg, P. (2010) Energy Savings by Intelligent Solar Shading, Submitted for PALENC 2010.
- [145] Plesner C., Duer, K. (2014) Evaluation of indoor air quality in a single-family active house, *Indoor Air conference 2014*.
- [146] Pommer, K., Bech, P. (2003) Handbook on Environtal Assessment of Products, Danish Technological Institute.
- [147] Rea, M.S. (2000) The IESNA Lighting Handbook: Reference and application, New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- [148] Reinhart, C., Walkenhorst, O. (2001) Dynamic RADIANCE-Based Daylight Simulations for a Full-Scale Test Office with Outer Venetian Blinds, *Energy and Buildings*, 33:7, pp. 683-697).
- [149] Reinhart, C. (2014) *Daylight Handbook I*.
- [150] Reiser, C., David, R., Faigl, M., Baumann, O. (2008) DIN 18599 - Accounting for primary energy – new code requires dynamic symulation, Third National Conference of IBPSAUSA.
- [151] Richardson, G., Eick, S., Jones, R. (2005) How is the indoor environment related to asthma?: literature review, *Journal of Advanced Nursing*, vol. 52, no. 3, pp. 328-339.

- [152] Robbins, C. L. (1986) *Daylighting Design and Analysis*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- [153] Rosen, L. N., Targum, S. D., Terman, M., Bryant, M. J., Hoffman, H., Kasper, S. F., Hamovit, J. R., Docherty, J. P., Welch, B., Rosenthal, N. E. (1990) Prevalence of seasonal affective disorder at four latitudes, *Psychiatry Research*, vol. 31, no. 2, pp. 131-144.
- [154] Schmidt, L. (2003) Ultrafine partikler. Gasteknisk center.
- [155] Schweizer, C., Edwards, R. D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W. J., Ilacqua, V., Jantunen, M. J., Lai, H. K., Nieuwenhuijsen, M., Künzli, M. (2007) Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 17(2), 170-181
- [156] Seppanen, O., Fisk, W., Lei, Q. H. (2009) Ventilation and performance in office work, *Indoor Air*, vol. 18, pp. 28-36.
- [157] Seppanen, O., Fisk, W. J. (2002) Relationship of SBS symptoms and ventilation system type in office buildings. *Indoor Air*, 12(2), 98-112.
- [158] Seppanen, O., Fisk, W. J. (2006) Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health, *International Journal of HVACandR Research*, vol. 12, no. 4, pp. 957-973.
- [159] Sloane, P. D., Figueiro, M., Cohen, L. (2008) Light as Therapy for Sleep Disorders and Depression in Older Adults, *Clinical Geriatrics*, vol. 16, no. 3, pp. 25-31.
- [160] Smeds, J., Wall, M. (2007) Enhanced energy conservation in houses through high performance design, *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 3, pp. 273-278.
- [161] Steiger, S., Roth, J. K., Østergaard, L. (2012) Hybrid ventilation - the ventilation concept in the future school buildings? In AIVC conference Copenhagen 2012.
- [162] Finlay, S., Pereira, I., Fryer-Smith, E., Charlton, A., Roberts-Hughes, R. (2012) *The Way We Live Now*, RIBA and Ipsos MORI.
- [163] Sundell, J., Wickman, M., Pershagen, G., Nordvall, S. L. (1995) Ventilation in homes infested by house-dust mites, *Allergy*, vol. 50, no. 2, pp. 106-112.
- [164] Sundell, J. (1999) *Indoor Environment and health*, Swedish National Institute of Public Health.

- [165] Sundell, J. (2004a) On the history of indoor air quality and health, *Indoor Air*, vol. 14, no. 7, pp. 51-58.
- [166] Sundell, J. (2004b) Varför behöver vi bra ventilation?, *Nordbygg*.
- [167] Tregenza, P., Wilson, M. (2011) *Daylighting – Architecture and Lighting Design* (page 111).
- [168] U.S. Green Building Council (2010) <http://www.usgbc.org/> (accessed: 2010-06-04).
- [169] Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., Zelson, M. (1991) Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201-230.
- [170] Ulrich, R. S. (1984) View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421.
- [171] UNEP (2009) UN Environmental Programme and SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- [172] UNEP (2009) United Nations Environmental Programme Life Cycle Management How business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable.
- [173] United States Environmental Protection Agency (1991) Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome
- [174] Van Marken Lichtenbelt, W. D., Vanhommerig, J. W., Smulders, N. M., Drossaerts, J. M. a F. L., Kemerink, G. J., Bouvy, N. D., Teule, G. J. J. (2009) Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *The New England Journal of Medicine*, 360(15), 1500–8.
- [175] Veitch, J. A., and Gifford, R. (1996) Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood, and social behavior. *Environment and Behavior*, 28(4), 446-470.
- [176] Veitch J. A., Slater A.I. (1998) A framework for understanding and promoting lighting quality, *Proceedings of the first CIE Symposium on lighting quality*, pp. 237-241.
- [177] Veitch, J. A., Hine, D. W., and Gifford, R. (1993) End-users' knowledge, beliefs, and preferences for lighting. *Journal of Interior Design*, 19(2), 15-26.

- [178] Veitch, J. A., Charles, K. E., Newsham, G. R., Marquardt, C. J. G. and Geerts, J. (2003) Environmental Satisfaction in Open-Plan Environments: 5. Workstation and Physical Condition Effects. IRC Research Report RR-154. Institute for Research in Construction. National Research Council Canada, Ottawa, ONT, K1A 0R6, Canada.
- [179] Veitch, J. A., Newsham, G. R., Boyce, P. R. and Jones, C. C. (2008) Lighting appraisal, well-being, and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach. *Lighting Research and Technology*, 40(2), 133-151.
- [180] Veitch, J. A. (2002) Principles of Healthy Lighting : Highlights of CIE TC 6-11 's, National Research Council Canada.
- [181] VELUX Group (2009) VELUX Energy Terminology Guide.
- [182] Walch, J. M., Rabin, B. S., Day, R., Williams, J. N., Choi, K., Kang, J. D. (2005) The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: A prospective study of patients undergoing spinal surgery. *Psychosomatic Medicine*, 67(1):156-163.
- [183] Walitsky, P. (2002) Sustainable lighting products, Philips.
- [184] Wang, N., Boubekri, M. (2010), Investigation of declared seating preference and measured cognitive performance in a sunlit room, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 30, No. 2, p. 226-238.
- [185] Wang, N., Boubekri, M. (2011) Design recommendations based on cognitive, mood and preference assessments in a sunlit workplace, *Lighting Research and Technology*, Vol 43, No. 1, p. 55-77.
- [186] Wargocki, P., and Wyon, D. (2006) Effects of HVAC On Student Performance. *ASHRAE Journal*, 48(October), 23–28.
- [187] Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett, G., Fanger P. O., Gyntelberg F., Hanssen S. O., Harrison P., Pickering A., Seppänen O., Wouters P. (2002), Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN), *Indoor Air*, vol. 12, no. 2, pp. 113-28.

- [188] Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järnholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. (2001) Dampness in Buildings and Health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to "dampness" in buildings and health effects (NORDDAMP), *Indoor Air*, vol. 11, no. 2, pp. 72-86.
- [189] Wargocki, P., Seppänen, O., Andersson, J., Boerstra, A., Clements-Croome, D., Fitzner, K., and Hanssen, S. O. (2007) *Indoor Climate and Productivity in Offices* (REHVA Guidebook) REHVA.
- [190] Wargocki, P., Alexandre, N., and Da, F. (2012) Use of CO₂ feedback as a retrofit solution for improving air quality in naturally ventilated classrooms. In *Proceedings of Healthy Buildings 2012*.
- [191] Wargocki, P. (2011) Does condensation on a window pane contribute to poor indoor climate? Technical University of Denmark.
- [192] Webb, A. (2006) Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light, *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 7, pp. 721-727.
- [193] WHO (2000) The right to healthy indoor air.
- [194] WHO (2009) Night Noise Guidelines for Europe. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2009/night-noise-guidelines-for-europe> (accessed: 2014-09-19).
- [195] WHO (2013) Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and Central Asia.
- [196] Wikipedia (2014) http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_cooling (accessed: 2014-11-07).
- [197] Wirz-Justice, A., Fournier, C. (2010) Light , Health and Wellbeing : Implications from chronobiology for architectural design, *World Health Design*, vol. 3.
- [198] Wirz-Justice, A., Graw, P., Krauchi, K., Sarrafzadeh, A., English, J., Arendt, J., Sand, L. (1996) 'Natural' light treatment of seasonal affective disorder. *Journal of Affective Disorders*, 37(2-3), 109-1.

- [199] Wotton, E., Barkow, B. (1983) An Investigation of the Effects of Windows and Lighting in Offices, International Daylighting Conference: General Proceedings, pp. 405-411.
- [200] Öie, L., Nafstad, F., Botten, G., Magnus, P., Jaakkola, J. K. (1999) Ventilation in Homes and Bronchial Obstruction in Young Children, *Epidemiology*, vol. 10, no. 3, pp. 294-299.
- [201] ÖNORM (2006) B 8115-2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz.

Woordenlijst

Woordenlijst

Woordenlijst

Luchten

Een korte periode met een hoge mate van ventilatie veroorzaakt door het openen van ramen.

Bouwtoetsen

Beoordelingsschema's waarin verschillende factoren worden beoordeeld op hun invloed op het milieu. De verschillende schema's toetsen op verschillende factoren.

Candela (cd)

Eenheid van lichtsterkte, gelijk aan een lumen per steradiaal (lm/sr).

Ecologische voetafdruk

CO₂-uistoot in tonnen of aantal kg CO₂-equivalent van een specifiek proces of product.

Chronobiologie

Chronobiologie is de wetenschap van het biologische ritme, in het bijzonder de invloed van de licht-donkercyclus van 24 uur en de veranderende daglengte per seizoen op de biochemie, fysiologie en het gedrag van levende organismen.

Circadiaan ritme

Een biologische cyclus met een periode van ongeveer 24 uur (van het Latijn: circa = ongeveer, dies = dag). Vrijwel alle levensvormen leven volgens een circadiaan ritme, zowel dieren als planten.

Niet alleen de meest essentiële functies van het hele organisme, maar vrijwel ieder individueel orgaan, en zelfs elke individuele cel, heeft zijn eigen genetisch bepaalde circadiane ritme.

CLO

Clothing level (kledingisolatieniveau) Het kledingisolatieniveau. [1 CLO = 0.155 m²K/W].

Comfortbereik

Het bereik met een minimale en maximale waarde. Tussen deze twee waarden is het comfortabel.

Wieg tot wieg

Een toetsingsmodel waaraan een andere filosofie ten grondslag ligt dan aan LCA en dat gebaseerd is op drie grondbeginselen. Een daarvan is dat we niet op deze aarde kunnen leven als we de hoeveelheid afval niet verminderen.

D

Graaduren per jaar. De som van de temperatuurverschillen tussen de binnen- en buitenluchttemperatuur door het jaar heen.

Daglichtautonomie (DA)

De DA is het tijdspercentage (in een jaar) dat daglicht een specifieke lichtsterkte (bv. 500 lux) kan bereiken in interieurs.

Daglichtfactor (DF)

De DF drukt (in percentages) uit hoeveel daglicht binnen beschikbaar is ten opzichte van de beschikbare hoeveelheid ongehinderd daglicht buiten onder normale hemelomstandigheden volgens de CIE.

dB(A)

Soms wordt decibel weergegeven met dB(A) in plaats van dB. De (A) geeft aan dat de aanduiding slaat op het totale geluidsniveau (dat bestaat uit veel verschillende frequenties) dat gemeten is met een 'A-weging' en daardoor gelijkstaat aan de menselijke subjectieve perceptie van geluid.

Decibel (dB)

Decibel is de eenheid die gebruikt wordt om geluid mee te meten. Het is een logaritmische eenheid die gebruikt wordt om een verhouding aan te geven.

Tocht

Ongewenste plaatselijke koeling veroorzaakt door luchtstromingen. Dit komt vaak voor bij luchtsnelheden die hoger zijn dan 0,15 - 0,30 m/s.

Dynamische simulatie

Een computerberekening gedurende een bepaalde tijdsduur met tijdssprongen van meestal 1 uur. Voorbeelden zijn de VELUX energie- en binnenklimaatvisualisaties (Energy and Indoor Climate Visualizer, EIC).

Elektromagnetisch spectrum

Een continuüm van elektrische en magnetische straling die alle golflengten omvat.

Energiebalans

De balans tussen warmteverlies en zonneopbrengst voor een raam.

Energieverbruik

De energie die gebruikt wordt om aan de energievraag te voldoen.

Energievraag

De benodigde energie.

Energieprestaties

De totale energievraag van een gebouw - inclusief verwarming, koeling, heet water, elektrische verlichting en andere elektrische apparatuur.

Gevoelstemperatuur

Een temperatuur berekend met behulp van de PMV-waarde om te illustreren aan welke temperatuur deze gelijk staat.

Boscertificering

Certificering om duurzaam bosbeheer te stimuleren. FSC® en PEFC™ zijn de belangrijkste en deze worden beoordeeld door een onafhankelijk derde certificeringsorgaan.

Verblinding

Verblinding wordt veroorzaakt door een onaangenaam felle lichtbron of weerkaatsing in het gezichtsveld dat leidt tot irritatie, ongemak of verlies van prestaties en zicht.

I

Bruikbare zonneopbrengst van een raam in kWh/m².

Verlichtingssterkte

De verlichtingssterkte is de hoeveelheid licht dat op een oppervlak valt. Het wordt gewoonlijk weergegeven in lux.

Binnenmilieu (IAQ)

De kenmerken van het binnenklimaat van een gebouw, waaronder gassamenstelling, temperatuur, luchtvochtigheid en mate van luchtverontreinigende stoffen.

Binnendringing

Onbedoelde ventilatie door lekken in het gebouw.

Infrarood (IR)

Elektromagnetische straling met een golflengte die langer is dan die van zichtbaar licht.

kWh

Een eenheid van energie. Vaak gebruikt om de hoeveelheid gebruikte energie mee te meten, bijvoorbeeld om de prijs ervan te bepalen.

kWh/m² vloeroppervlak

De totale energievraag voor het gebouw per m² verwarmd vloeroppervlak.

kWh/m² raamoppervlak

Eenheid van de energiebalans van ramen.

Levenscyclusanalyse (LCA)

Een model dat gebruikt wordt om de invloed op het milieu van een bepaald proces of product te beoordelen.

Luminantie

De luminantie is de hoeveelheid licht dat van een oppervlak wordt weerkaatst of uitgestraald. Het wordt gewoonlijk weergegeven in cd/m^2 .

Lux (lx)

Eenheid van verlichtingssterkte. Een lux is een lumen per vierkante meter (lm/m^2).

Gemiddelde stralingstemperatuur

De in het gebied gewogen gemiddelde temperatuur van alle omringende oppervlakken.

Melatonine

Melatonine is het belangrijkste hormoon dat wordt uitgescheiden door de pijnappelklier en geeft het lichaam het signaal dat het nacht wordt. Het bevordert slaap bij mensen en de activiteit van nachtdieren.

MET

Activiteitsniveau van de bewoners. Wordt gemeten in MET, de afkorting van metabolisme of stofwisseling. [1 MET = $58,2 \text{ W/m}^2$]

Effectieve temperatuur

Een temperatuur van de gehele thermische omgeving die in verschillende gevallen vergeleken kan worden.

Fijnstof (PM)

Kleine, door de lucht zwevende deeltjes (x = de afmeting van de aerodynamische diameter).

Parts per million (ppm)

Een uitdrukking die gebruikt wordt om o.a. de concentratie van een bepaald gas (bijvoorbeeld CO_2) te meten in de atmosfeer. 1 ppm = 1 mL in 1 m^3 (1000 l)

Predicted Mean Vote (PMV)

Een index die de gemiddelde mening voorspelt van een grote groep mensen over het thermisch comfort. 0 is neutraal, +3 is te warm en -3 is te koud.

Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)

Een kwantitatieve voorspelling van het percentage mensen dat niet tevreden is met de thermische omgeving.

Duurzame energie

Energie die geproduceerd wordt uit duurzame bronnen, zoals de zon, wind of biomassa.

Voortschrijdend gemiddelde

Het gewogen gemiddelde in een bepaalde periode. De meest recente periode weegt het zwaarst.

 R_w

De waarde van geluidsisolatie. R_w geeft de mogelijkheid weer om het lawaai van buiten in het gebouw te verminderen. Geluidsisolatie wordt uitgedrukt in dB.

Seizoensafhankelijke depressie (SAD)

Ook wel winterdepressie genoemd. Een stemmingsstoornis die wordt veroorzaakt door het verminderde licht in de winter.

Sick Building Syndrome (SBS).

Een term die soms wordt gebruikt voor situaties waarin bewoners van een gebouw acute gezondheidsproblemen of ongemakken ondervinden, die te maken lijken te hebben met de tijd die in een bepaald gebouw wordt doorgebracht, maar waarvoor geen concrete aandoening of oorzaak te vinden is.

Geluidsniveau (SPL)

Het geluidsniveau geeft het effectieve geluid logaritmisch weer. Het geluidsniveau wordt uitgedrukt in dB.

Trek

Ook wel schoorsteeneffect genoemd. Een ventilatieprincipe dat gebruik maakt van de opwaartse druk van warme lucht.

Oppervlakteweerkaatsing

Een figuur die weergeeft hoeveel licht wordt weerkaatst van een oppervlak.

Ultraviolet (UV)

Elektromagnetische straling met een golflengte die korter is dan die van zichtbaar licht.

VELUX ACTIVE Climate Control

Een systeem met sensoren voor het regelen van de interne en/of externe zonweringproducten. Onderdeel van een dynamisch raamsysteem.

VELUX Energy Balance control

Een tijd klok voor het regelen van de interne en/of externe zonweringproducten. Onderdeel van een dynamisch raamsysteem.

Ventilatiesnelheid

Een aanduiding hoeveel luchtverversingen er per uur in een kamer plaatsvinden. Geeft geen informatie over de efficiëntie van de ventilatie.

Zichtbare transmissie (τ_v)

De hoeveelheid daglicht dat door een raam valt wordt aangeduid met zichtbare transmissie (τ_v) en hangt af van de samenstelling van het raam.

Vluchtige organische stoffen (VOC's)

Stoffen die vervliegen uit een groot aantal huishoudelijke, onderhouds- en bouwproducten die gemaakt zijn van organische materialen.

Watt (W)

Een eenheid van energie. Wordt vaak gebruikt om aan te geven hoeveel energie een onderdeel verbruikt. Bijvoorbeeld een gloeilamp van 60 W of een verwarmingspomp van 200 W.

Raamsysteem

Een raamsysteem bestaat uit het raam en de toebehoren als een samengestelde eenheid. Toebehoren zijn zonweringsapparaten of andere apparaten die van invloed zijn op de factoren van het raam als geheel.