

Comfortabele en gezonde gebouwen

Er zijn veel en diverse manieren, instrumenten en concepten ontwikkeld om te bepalen of een gebouw gezond en comfortabel is voor de bewoners. Echter, de resulterende prestatie-indicatoren en criteria zijn meestal niet bruikbaar, omdat de gebruikte dosisrespons-relaties niet compleet zijn. Daarnaast valt op dat interacties die op verschillende niveaus optreden (op mensniveau, op het niveau van de parameters van het binnenmilieu en op gebouwniveau), niet worden meegenomen. Bovendien wordt meestal op een bepaald tijdstip de status bepaald (statisch), terwijl het blootstaan aan invloeden in een gebouw een dynamisch proces is. Tot slot kan worden opgemerkt dat positieve stimuli over het algemeen niet worden beschouwd. Er is behoefte aan een andere, of tenminste, een aangepaste benadering, voor het beoordelen van gezondheid en comfort van bewoners in het binnenmilieu: een integrale multidisciplinaire benadering, die zowel positieve als negatieve stimuli in de tijd meeneemt en die zich om de 'echte' behoeften van mensen bekommert.

Mw. dr.ir. Philomena M. Bluysen, TNO Bouw en Ondergrond

■ INLEIDING

Welzijn (gezondheid en comfort) is een belangrijk aspect van kwaliteit van leven, ook voor bewoners van gebouwen. Zo'n twintig jaar geleden werd het gezondheidsconcept van de WHO leidend bij het met behulp van gebouwprestaties bepalen of een gebouw "gezond" is (i.e. binnenluchtqualiteit, thermisch comfort, lichtkwaliteit en akoestiek). Een gezond gebouw is vrij van levensbedreigend materiaal (zoals lood en asbest) en

waarborgt de gezondheid en comfort van de bewoners tijdens de gehele levenscyclus. Bovendien voorziet een gezond gebouw in sociale behoeften en bevordert deze de productiviteit. Een gezond gebouw erkent dat de menselijke behoeften voor gezondheid en tot op zekere hoogte voor comfort, prioriteit hebben. En een gezond gebouw moet kunnen inspelen op toekomstige veranderingen zoals klimaatverandering, de overgang naar een multifunctionele en diverse samenleving, de

groeïende individualisatie [1-3] en de veranderende wensen en eisen van de eindgebruiker. "Total customer experience" is een goed voorbeeld van een manier van denken om in te spelen op dit laatste [4]. De meeste nationale, Europese, en zelfs wereldwijde organisaties zijn het eens: het binnenmilieu en haar parameters, waaronder werk- en woonruimten, kunnen een bedreiging voor de gezondheid vormen. Meer dan 20 jaar geleden werd de Europese richtlijn voor veilig-

heid en gezondheid van werkende mensen [5] van kracht. Toch kan nog steeds niet worden gezegd dat het binnenmilieu in alle gevallen gezond is en werknemers het altijd als comfortabel ervaren.

Diversen concepten en instrumenten voor het beoordelen van de prestatie van een gebouwde omgeving, gebouwen, bouwdeelen of specifieke aspecten van gebouwen zijn in de afgelopen decennia ontwikkeld. De focus van deze concepten en instrumenten varieert (technisch, functioneel, etc.) evenals de doelgroep en de levensfasen van een gebouw waarvoor ze zijn bedoeld (zie figuur 1). Er bestaat zelfs een raamwerk voor het ontwikkelen van indicatoren voor gebouwen [6].

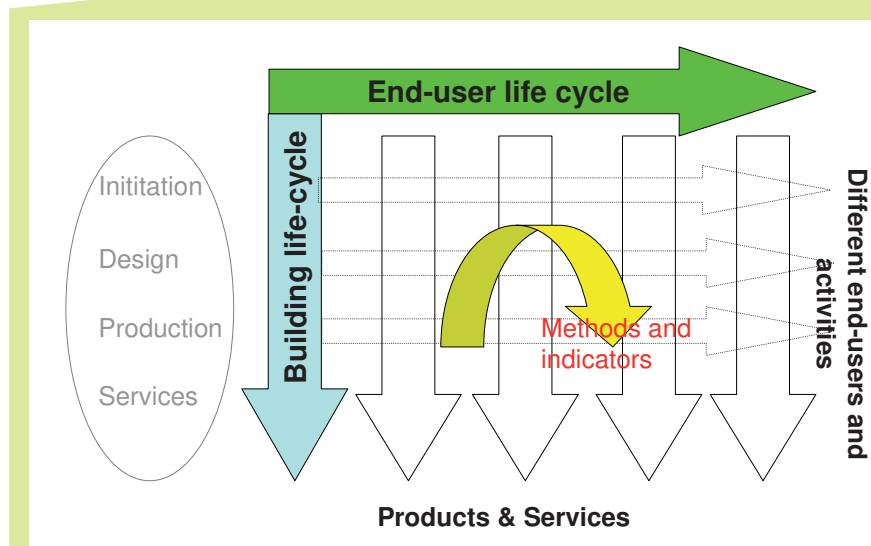
Veel pogingen zijn gedaan om de eisen van de eindgebruiker mee te nemen, bijvoorbeeld via gebruikersprofielen of door het bepalen van aspecten die moeten worden meegenomen.

In de meeste huidige benaderingen voor het bepalen van de duurzaamheid van een gebouw en haar onderdelen (preEN 15643 van CEN TC 350 [7], ISO/DIS 21931 van ISO/TC 59/SC17 [8]), worden de aspecten verdeeld in drie categorieën:

- *Economisch*: zoals financiën en management, levenswaardebepaling en externe factoren.
- *Omgeving*: met klimaatverandering, biodiversiteit, gebruik van energiebronnen en omgevingsmanagement.
- *Sociaal*: waaronder welzijn (gezondheid en comfort) van de bewoner, toegankelijkheid, veiligheid, en sociale en culturele waarden (i.e. indicatoren voor de kwaliteit van leven).

Van deze categorieën, zijn de indicatoren voor de kwaliteit van leven het moeilijkst te definiëren. De criteria die zijn gerelateerd aan sociale aspecten en deelaspecten daarvan, zoals binnenmilieukwaliteit, zijn niet altijd bekend [9, 10]. Daarnaast is het gedrag van bewoners (in de tijd), een belangrijk aspect dat niet gemakkelijk is mee te nemen. Het ontbreekt dan ook in de huidige toegepaste commerciële methoden (die een duurzaamheidcertificaat van een gebouw afgeven) zoals BREEAM in Engeland (www.breeam.org), LEED in Noord-Amerika (www.usgbc.org), CASBEE in Japan (www.ibec.or.jp), en Green Globes in Canada (www.greenglobes.com). Dit gemis maakt de definities van de andere aspecten (economisch en omgeving) eveneens moeilijk, ze zijn immers sterk gerelateerd.

Het effect van verblijf in gebouwen op gezondheid en comfort van de bewoners en bezoekers is onduidelijk. De prestatie-indicatoren die vandaag worden gebruikt zijn niet gemakkelijk te bepalen en in veel gevallen niet toepasbaar vanwege incomplete of verkeerde toegepaste informatie. Bovendien bestaat er een discre-



- Figuur 1 - Methoden en indicatoren voor verschillende levensfasen van een gebouw, verschillende eindgebruikers en activiteiten en verschillende producten en diensten.

pantie tussen huidige normen en richtlijnen, en de behoeften van eindgebruikers (bewoners) [11]. Zelfs wanneer aan normen en richtlijnen voor individuele omgevingsparameters wordt voldaan, is het binnenmilieu vanuit het perspectief van bewoners vaak niet acceptabel en zelfs ongezond.

In deze publicatie wordt een kritisch overzicht gegeven van de huidige toegepaste indicatoren voor gezondheid en comfort van bewoners van gebouwen. Mogelijke manieren om deze te verbeteren worden besproken.

■ GEZONDHEID EN COMFORT INDICATOREN

In de laatste eeuw, hebben onderzoek en praktijk zich vooral gericht op enkelvoudige onderdelen van het binnenmilieu: thermisch comfort, licht, luchtkwaliteit en geluid. Er is veel tijd besteed aan het vinden van objectieve relaties tussen binnenmilieu-parameters en reacties van mensen (dosisrespons). Op basis hiervan zijn comfortmodellen ontwikkeld zoals die voor thermisch comfort [12], kwantitatieve aanbevelingen in de vorm van indices [13] opgezet; en criteria/limietwaarden voor temperatuur, licht, geluid, ventilatiehoeveelheden en bepaalde stoffen in de lucht (bijvoorbeeld referenties [14-21]) vastgesteld. Pas in het laatste decennium van de twintigste eeuw werd een eerste poging gedaan om via epidemiologische studies het binnenmilieu op een holistische manier te benaderen [22- 27]. De wetenschappelijke benadering voor het evalueren en creëren van een gezond en comfortabel binnenmilieu ontwikkelde zich, van een onderdeel gerelateerd, naar een "bottom-up" holistische benadering, door het simpel optellen van de verschillende onderdelen [10]. Het onderzoek volgend op deze studies, was nog steeds onderdeel gerelateerd, maar de

relatie met andere onderdelen werd beter meegenomen. In de jaren negentig werd onderkend dat klachten en gezondheidseffecten, gerelateerd aan het binnenmilieu, meestal niet worden veroorzaakt door een enkelvoudige parameter. Studies met een grotere populatie en een bredere spreiding, geven aan dat de relatie tussen huidige woonomstandigheden (thermisch comfort, verlichting, vocht, schimmels en lawaai) en gezondheid en welzijn van mensen (Europese Audit project [25] en EXPOLIS [26] in Europa, BASE studie in US [27]; WHO studie [28]), complex is. Er werd geconcludeerd dat het 'Sick building syndrome' (SBS) een van meerdere factoren afhankelijk oorzaak effect-probleem is, waarvan de oorzaken slechts indicatoren van andere factoren kunnen zijn. De onderliggende mechanismen worden niet volledig begrepen. Wel is bekend dat behalve de fysische factoren, de zogeheten "zachte" factoren (leeftijd, geslacht, positie op het werk, sociale status etc.) zijn betrokken, evenals psychologische factoren.

Gezondheid en comfort-indicatoren kunnen worden bekeken vanuit:

- *De bewoner of eindgebruiker*: zoals ziekteverzuim, productiviteit, aantal symptomen of klachten, indicatoren voor aangepaste gezonde levensjaren, specifieke gebouwgerelateerde ziekten (veteranen ziekte, astma, etc.).
- *De dosis of binnenmilieu parameter*: concentraties van bepaalde stoffen, indicatoren zoals ventilatiehoeveelheid of CO₂-concentratie, temperatuur, lichtintensiteit, geluidssterkte, etc.
- *Het gebouw en haar componenten*: bepaalde karakteristieken van een gebouw en haar componenten, zoals de mogelijkheid voor de aanwezigheid van vochtige omstandigheden

[29], mogelijkheid voor de groei van schimmels [30] of zelfs het labelen van gebouwen of haar componenten gebaseerd op verscheidene factoren.

Van bovenstaande categorieën van indicatoren, wordt de tweede het meest toegepast in normen en richtlijnen. Over de eerste categorie bestaat veel discussie, terwijl de laatste op dit moment de meest veelbelovende lijkt om gezondheid en comfort van bewoners in gebouwen te bepalen.

Bewoner gerelateerde indicatoren

Externe stressfactoren kunnen zowel mentale als fysische effecten veroorzaken. Ze worden via drie systemen van het menselijke lichaam verwerkt: het zenuwstelsel, het immuun systeem en het endocriene systeem. Indien wordt aangenomen dat ziekten en aandoeningen van het menselijke lichaam kunnen worden veroorzaakt of zijn gerelateerd aan een "ongezond binnenmilieu", kan de volgende verdeling van ziekten en aandoeningen worden gemaakt [10]:

- *Veroorzaakt door stress via externe stress factoren, leidend tot een reactie van het zenuwstelsel in samenwerking met het endocrienesysteem, beïnvloedt door de status van het immuun systeem.* Zoals:
 - De door de menselijke zintuigen direct merkbare comfort gerelateerde klachten: zoals geur, lawaai, warmte, kou, tocht, etc.
 - Systemische effecten zoals moeheid, slechte concentratie, etc.
 - Psychologische effecten zoals geen controle hebben, depressie, angst, etc.
- *Veroorzaakt door externe schadelijke effecten, leidend tot een reactie van het immuun-systeem in samenwerking met het endocriene-systeem, beïnvloedt door het zenuwstelsel.* Zoals:
 - Irritatie, allergische en hyperreacties zoals irritatie van slijmvliezen van huid en ademhalingsstelsel, astma, huiduitslag veroorzaakt door allergische reacties op bepaalde stoffen, zonnebrand, gehoorverlies, beschadiging van ogen door te fel licht, etc.
 - Infectieziekten zoals de veteranenziekte.
 - Toxische chronische effecten: langzaam toenemend (zoals kanker).

Behalve de effecten van externe stressfactoren, kan de prestatie van de menselijke zintuigen (eigenlijk een interne stressfactor) ook een belangrijke invloed hebben op de eerste categorie van klachten. Een voorbeeld hiervan is de afnemende werking van de ogen, oren, het geurzintuig etc. Maar ook de werking van het immuun systeem degradeert met leeftijd.

En tot slot kunnen ook erfelijke eigenschappen van invloed zijn, zoals kleurblindheid of het anosmisch zijn (niet in staat om normaal te ruiken).

De aan de bewoner gerelateerde prestatie indicatoren die worden toegepast om bovenstaande ziekten en aandoeningen te beschrijven kunnen worden verdeeld in:

- "*Directe*" indicatoren: deze beschrijven de klachten en symptomen en wie ontvankelijk is.
- "*Indirecte*" indicatoren: deze beschrijven het effect op korte termijn (bv. financiële indicatoren) of lange termijn (bv. gezondheidsindicatoren voor aangepaste levensjaren).

Symptomen en klachten

Het via een vragenlijst inventariseren van het aantal en soort symptomen en klachten van bewoners van een gebouw is de meest toegepaste methode voor het in kaart brengen van de gezondheid en comfort status van

een bewoner in een gebouw. De Building Symptom Index (gemiddeld aantal gerapporteerde symptomen door bewoners) [25] en de Building Comfort Index [31] (gebaseerd op klachten voor verschillende aspecten gerelateerd aan thermisch comfort, binnenluchtkwaliteit, licht en geluid) zijn goede voorbeelden van prestatie indicatoren, gebaseerd op deze methode. Het gebruik van vragenlijsten werkt goed voor het lokaliseren en identificeren van de oorzaken van problemen in een gebouw. Ondanks dat labstudies (zie referenties [32-34]) wel bruikbare resultaten hebben opgeleverd (zie ook de paragraaf dosis gerelateerde indicatoren), zijn vragenlijsten niet succesvol gebleken voor het bepalen van relaties tussen symptomen of klachten van een grote groep bewoners en bepaalde binnenmilieu parameters in bestaande gebouwen. De bevindingen tonen wellicht aan dat:

- De "verkeerde" omgevingsparameters worden meegenomen.

PRODUCTIVITEIT

Productiviteit is afhankelijk van veel aspecten: welzijn, mentale drive, tevredenheid met werk, technische competentie, carrière mogelijkheden, thuis/werk balans, relaties met anderen, persoonlijke omstandigheden, organisatorische zaken, etc. en tot slot de omgevingsfactoren (binnen en buitenmilieu) [39].

Productiviteit kan worden gemeten:

- *Objectief:* Bijvoorbeeld door het meten van de snelheid en precisie waarmee wordt gewerkt tijdens gecontroleerde experimenten met zeer gerichte testen (bv. productiviteit gerelateerd aan thermisch comfort [40] of luchtkwaliteit [41]).
- *Subjectief:* Door gebruik te maken van (zelfgerapporteerde) vragenlijsten waarmee individuele meningen van mensen over hun werk en omgeving worden bepaald [42].
- *Gecombineerd:* Bijvoorbeeld via fysiologische metingen in de hersenen om te zien of de variaties in de patronen van de reacties van de hersenen correleren met de reacties die met vragenlijsten zijn verkregen (bv. oplettendheid en verlichting [43]).

Het bepalen van het effect van een bepaalde factor op productiviteit in een gecontroleerde omgeving is moeilijk, of het nu met één of meerdere van de hierboven beschreven methoden wordt uitgevoerd. Ten eerste omdat productiviteit met zoveel aspecten is gerelateerd. En ten tweede omdat bij elk van de beschreven methoden kanttekeningen zijn te plaatsen die de relevantie van de uitkomst twijfelachtig maakt. De methoden die objectief zijn bedoeld, zoals het typen van een bepaalde tekst, bestaat meestal uit een monotone activiteit die onderdeel is van iemands normale bezigheden. Alleen wanneer de geteste activiteit dominant is voor de normale bezigheden van de geteste persoon (wat betekent dat die persoon waarschijnlijk niet sneller leert typen tijdens de testperiode), is de test relevant voor het meten van het resultaat van die persoon: uitgedrukt bijvoorbeeld in het aantal getypte karakters. Over de tweede categorie van metingen, de subjectieve methoden inclusief zelfgerapporteerde productiviteit, kan naast de invloed van andere factoren in de tijd, de interpretatie van iemands eigen productiviteit verschillen van persoon tot persoon. Men kan bijvoorbeeld de eigen productiviteit laag inschatten terwijl deze eigenlijk een stuk hoger ligt dan voor een persoon die de eigen productiviteit veel hoger ingeschat. In dit geval zeggen absolute getallen niets, en zelfs het verschil per situatie hoeft geen betekenis te hebben, als gevolg van bijkomende onbeheersbare factoren zoals persoonlijke omstandigheden. Daarnaast speelt eerlijkheid van de testpersonen een belangrijke rol. Alleen wanneer een factor echt een dominant effect heeft, onder de voorwaarde dat voldoende testpersonen zijn betrokken, kan een verschil in productiviteit door een plotselinge extreme verandering van omgevingscondities mogelijk relevant zijn.

- *Tekstkader 1* -

- Interacties van de parameters complexer zijn dan onze huidige modellen aannemen.
- De "zachte" factoren dominant zijn.
- De verkeerde vragen worden gesteld.
- De bewoners niet in staat zijn ons "juist" te informeren over hun symptomen en klachten.

De manier waarop wij onze omgeving beoordelen (perceptie), de manier waarop wij op onze omgeving reageren (gedrag), en de manier waarin wij zelf geloven dat we reageren, zijn verschillende processen [35]. Dit verklaart misschien waarom er vaak een discrepantie bestaat tussen wat mensen ons vertellen dat ze nodig hebben en wat hun gedrag ons aangeeft. Of wat ze ons vertellen wat de oorzaak is van bepaalde klachten en wat het echte probleem is. De meeste reacties worden onbewust beïnvloed door onze gewoonten, onze omgeving (context) en door andere mensen. Mensen maken onbewust fouten [36]. Met ondervragingen is het mogelijk om wensen te bepalen, maar meestal niet waarom mensen die wensen hebben. Uit jaren onderzoek met vragenlijsten blijkt dat de relatie tussen objectieve aspecten en tevredenheid niet duidelijk is, evenals de relatie tussen objectieve aspecten en ervaringen van mensen. De relatie tussen ervaringen en tevredenheid is veel duidelijker [37].

Financiële indicatoren

Behalve productiviteit (kwantitatief en/of kwalitatief werkresultaat van mensen), zijn ziekteverzuim (aantal dagen ziek per jaar) en inschattingen van levensverwachtingen, ook gezondheid gerelateerde financiële indicatoren.

In de laatste jaren heeft productiviteit veel aandacht gekregen [3]. Met de door Fisk [38] gepresenteerde getallen werd aangetoond dat de grootste potentiële financiële winst kan worden behaald met directe verbeteringen van de prestatie van de werknemer. Vermindering van gebouwgerelateerde ziekten en SBS-symptomen liggen hier ruim onder, maar zijn nog steeds interessant om na te streven. Veel studies proberen aan te tonen dat productiviteit een relatie heeft met de werkomgeving. Echter, de relatie tussen productiviteit en het ervaren comfort van de werknemer lijkt duidelijker [39]. Lijsten van maatregelen op gebouwniveau die de productiviteit bevorderen zijn beschikbaar (zogenoemde creatieve werkomgevingen), maar de vraag blijft bestaan hoe dit fenomeen in de praktijk moet worden gemeten (zie Tekstkader 1). Er zijn veel theorieën beschikbaar, maar bewijs is schaars. De relatie tussen productiviteit, maar ook comfort, en de psychologische en fysische

DALY

Het DALY concept is op verschillende niveaus toegepast:

- *(Wereldwijde) populatie*: voor het vergelijken van relatieve lasten onder verschillende ziekten en verschillende populaties [47].
- *Gebouw*: voor het inschatten van het effect van ongezonde gebouwen op de ziektelast [48].
- *Gebouwonderdeel*: voor het vergelijken van effecten van bepaalde gebouwonderdelen of installaties (zoals mechanische ventilatie installaties [49]).
- *Risicofactor*: voor het bepalen van de impact op gezondheid van één risicofactor of parameter (zoals vochtigheid en astma [50]).

Voor elke ziekte kan aan elke gerelateerde risicofactor of parameter (bv. stofdeeltjes concentratie, verlichting, lawaai, straling, temperatuur, etc.), een DALY worden toegekend. DALY is een maat voor het aantal gezonde levensjaren dat een populatie verliest als gevolg van een bepaalde ziekte. Simpel gezegd, bestaat de vergelijking uit een blootstellingsresponsfunctie die de relatie tussen de blootstellingsconcentratie en de ziekte weergeeft. Gezondheidseffecten worden berekend door de DALY voor de ziekte te vermenigvuldigen met haar blootstellingsresponsfunctie.

Om echter de DALY-berekening betekenis te geven zal:

- De blootstellingsresponsfunctie voor de risicofactor (valide voor de bestudeerde populatie) bekend moeten zijn en het liefst statistisch relevant.
- Indien deze risicofactor uit meerdere subfactoren bestaat, zoals in het geval van binnenluchtverontreiniging, zullen voor elk van deze subfactoren de relaties bekend en statistisch relevant moeten zijn.

Daarnaast,

- Zullen andere risicofactoren (en subfactoren) die betrokken zijn bij hetzelfde ziektebeeld ook bekend moeten zijn om comorbiditeit te kunnen inschatten.
- Zullen de interacties van die andere risicofactoren bekend moeten zijn om een adequate inschatting te kunnen maken van de bestudeerde risicofactor op de ziekte in kwestie voor de onderhavige populatie.

Dus wanneer niet alle (sub) risicofactoren bekend zijn (dit geldt bijvoorbeeld voor SBS) of wanneer de blootstellingsresponsfunctie (in feite de dosiseffect relatie) voor een bepaalde risicofactor of parameter niet bekend is, of wanneer de interacties tussen de risicofactoren die dezelfde ziekte veroorzaken niet bekend zijn, wordt de exacte berekening van DALY voor een bepaalde conditie of ziekte wel heel moeilijk en zelfs zonder enige betekenis. Veel aannames moeten dan worden gemaakt om toch een berekening mogelijk te maken, met als gevolg dat de onzekerheden op het eindresultaat enorm toenemen.

Daar komt bij dat de ernst van een ziekte, uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1, door een groep van experts wordt bepaald, wat op zich al een onzekerheid met zich meebrengt. DALY worden per ziekte berekend (e.g., slaaptkort, tumor) en niet per symptoom of klacht (e.g., hoofdpijn), wat betekent dat voor een persoon met meer dan één ziekte, de combinatie van DALY in een getal boven 1 kan resulteren (dus ernstiger dan de dood) [50].

- Tekstkader 2 -

status van een mens worden daarom verder bestudeerd.

Indicatoren voor aangepaste gezonde levensjaren

De maatschappelijke focus van gezondheid is langzaam aan het veranderen van levensverwachting naar gezondheidsverwachting [1]. Hierbij worden aspecten van de kwaliteit van leven meegenomen in plaats van sterfte [44]:

- Het verergeren van eerder geconstateerde

ziektesymptomen (bv. astma, chronische bronchitis, hart- en vaatziekten of psychologische aandoeningen).

- Ernstige irritatie, slaapverstoring, verminderde concentratie, communicatieproblemen en afnemende prestatie bij dagelijkse bezigheden.
- Gevoel van onveiligheid of afzondering, negatieve kijk op gezondheid, aan stress gerelateerde slechte kwaliteit van de nabije omgeving en angstgevoel voor grote fatale

ongelukken.

Voorbeelden van indicatoren voor aangepaste gezonde levensjaren zijn de DALY (Disability Adjusted Life-Years), de meest bekende en meest gebruikte, en de QALY (Quality Adjusted Life-Years) [45]. De DALY combineert het aantal verloren jaren (Years of Life Lost (YLL)) en het aantal jaren geleefd met een aandoening (Years Lived with Disability (YLD)), gestandaardiseerd met behulp van mate van ernst (zie Tekstkader 2). Het is een manier om de wereldwijde ziektelast te bepalen, en is ontwikkeld door de wereld gezondheid organisatie voor het 'Global Burden of Disease' project [46].

Het gebruik van DALY als een gezondheidsindicator lijkt echter alleen mogelijk indien de blootstellingresponsfunctie, voor de risicofactor en de te onderzoeken ziekte, bekend is en valide voor de beschouwde populatie (zie Tekstkader 2). Omdat er heel veel en veelal onduidelijk gedefinieerde risicofactoren (of parameters) zijn betrokken bij het veroorzaken van gezondheid en comfortproblemen in het binnenmilieu, lijkt de toepassing van de DALY om het gezondheidseffect van gebouwen of gebouwonderdelen met elkaar te vergelijken moeilijk. Indien er wel enkelvoudige binnenmilieu risicofactoren bekend zijn die een dominante relatie met een bepaalde ziekte hebben aangetoond (waarbij andere risicofactoren van minder belang zijn), dan kan de DALY wel degelijk worden gebruikt om effecten in de tijd, of zelfs verschillen tussen bepaalde populaties (of gebouwen), te bepalen.

Dosis gerelateerde indicatoren

Het binnenmilieu kan worden beschreven door de volgende zogeheten omgevingsfactoren of (externe) stress veroorzakers:

- Binnenluchtkwaliteit: bestaande uit geur, binnenlucht verontreinigingen, toegevoerde buitenlucht, etc.
- Thermisch comfort: vocht, lichtsnelheid, temperatuur, etc.
- Akoestische kwaliteit: lawaai afkomstig van buiten of binnen, trillingen, etc.
- Visuele of lichtkwaliteit: uitzicht, lichtsterkte, lichtverhoudingen, reflectie, etc.

Via omgevingsarchitectuur, zijn deze factoren langzaam bij het bouwproces betrokken geraakt. In de eerste decennia van de twintigste eeuw, werden de eerste relaties tussen fysieke beschrijvingen van omgevingscondities in gebouwen en menselijke behoeften bepaald [51]. In veel gevallen dienen die relaties nog steeds als uitgangspunt bij de huidige binnenmilieu ontwerp praktijk. In referentie

[10] wordt voor elk van de omgevingsfactoren een historisch overzicht van de ontwikkelingen, die sindsdien hebben plaatsgevonden, gepresenteerd (zie samenvatting in [52]). Huidige normen en richtlijnen voor het binnenmilieu maken meestal gebruik van dosis gerelateerde indicatoren, die volgens de traditionele 'bottom-up' benadering worden of zijn bepaald [10]. Gericht op het definiëren van limietwaarden voor binnenmilieu parameters, zijn verschillende opeenvolgende stappen nodig, i.e.:

- Stap 1: Identificatie van bronnen en andere invloedsfactoren.
- Stap 2: Definitie van dosiseffect relaties.
- Stap 3: Bepalen van limietwaarden voor erkende gevaarlijke stoffen/verontreinigingen.
- Stap 4: Assimileren of integreren van alle factoren zodanig dat tevredenheid van de eindgebruiker wordt bereikt.

Behalve voor gezondheidsbedreigende stoffen, zal een prestatiebeoordeling met alleen limietwaarden voor enkelvoudige parameters moeilijk en zonder betekenis zijn, vanwege de complexiteit van het binnenmilieu (interacties), het aantal parameters van het binnenmilieu en gebrek aan kennis. De meeste normen zijn gebaseerd op gemiddelden. Het feit dat gebouwen, individuen en hun activiteiten behoorlijk kunnen verschillen en bovendien continue veranderen, wordt niet meegenomen. Wanneer men bovendien zowel het aantal verontreinigingen van het binnenmilieu en het gebrek aan een stevige wetenschappelijke basis beschouwt, dan lijkt het haast onmogelijk de laatste en complexe integrerende stap te nemen.

De binnenmilieuparameters thermisch comfort, luchtkwaliteit, akoestische kwaliteit en lichtkwaliteit worden meestal met behulp van kwantitatieve indicatoren gedefinieerd en geïdentificeerd. Deze worden veelal uitgedrukt in een getal of range van getallen waarvan wordt aangenomen dat die voor mensen acceptabele condities opleveren. Maar richtlijnen en normen met maximum toelaatbare concentraties of ranges van acceptabele blootstellingen zijn alleen bruikbaar wanneer een duidelijke relatie is aangetoond tussen de parameter in kwestie en het beoogde effect, en wanneer bovendien de interacties met andere parameters bekend zijn. Daarnaast is het voldoen aan deze richtlijnen en normen in de praktijk erg moeilijk. Behalve dat de concentratie evenals het soort en aantal binnenmilieuverontreinigingen variëren als functie van de tijd en locatie, is het daarnaast meestal niet mogelijk om metingen in woningen met een bepaalde regelmaat uit te voeren. Daar komt bij dat de binnenmilieukwaliteit zoals

ervaren door de bewoners vaak niet acceptabel is en zelfs ongezond, ook al wordt voldaan aan de normen en richtlijnen voor de individuele omgevingsparameters. En de meeste normen en richtlijnen richten zich op het creëren van neutrale condities.

Gebouw gerelateerde indicatoren

Voor de gebouw gerelateerde indicatoren kunnen twee soorten worden onderscheiden:

- Labels om gebouwen of onderdelen te vergelijken of zelfs te classificeren.
- Maatregelen ter preventie of maatregelen om problemen op te lossen: met behulp van een checklist of voorbeelden die in de praktijk goed lijken te werken.

Labels

Labelen is in feite een beleidsmaatregel, waardoor het aantrekkelijk wordt voor belanghebbers om binnenmilieukwaliteit mee te nemen in hun afwegingen. Het is een manier om aandacht te krijgen en het kan helpen bij het maken van beslissingen. Op Europees niveau wordt 'duurzaam' labelen van gebouwen gestimuleerd door TC350 van het Europese normeringsorgaan CEN [7], terwijl CEN TC 351 zich richt op een geharmoniseerd testschema voor emissies van bouwproducten als eventuele basis voor een bouwproduct labelsysteem [53]. De vandaag beschikbare 'duurzaamheid' labels bevatten echter geen goede informatie voor het bepalen van de kwaliteit van leven (gezondheid en comfort) in het binnenmilieu. Behalve de indicatoren, gerelateerd aan een Life Cycle Assessment (LCA) van een gebouw (zoals energiegeneratie en gebruik), zullen de omgevingsinvloeden van infrastructuur en materialen, recycling en hergebruik (e.g. water)), indicatoren van kwaliteit van leven, gerelateerd aan levenscyclus van de eindgebruikers voor verschillende soorten eindgebruikers (i.e. ouderen, kinderen, etc.), ook moeten worden meegenomen. Op dit moment is de beoordeling beperkt tot een aantal aspecten en vooral gebaseerd op huidige richtlijnen voor binnenmilieukwaliteit, waarbij relaties met de andere categorieën van aspecten, niet of nauwelijks wordt aangegeven. Deze verschillende indicatoren en aspecten kunnen echter conflicteren. Voorzichtigheid is daarom op zijn plaats, zodat verbeteringen van duurzaamheid geen verslechtering van de kwaliteit van leven oplevert (gezondheid en comfort van de bewoners of eindgebruikers). Een label op productniveau zal in ieder geval vermindering van emissies tot gevolg hebben. Omdat het ontbreekt aan een "compleet overzicht" van de effecten van blootstellingen op elkaar en op mensen, is het beste dat kan worden gedaan, het reduceren of

beheersen van blootstellingen en daarom het verminderen of beheersen van de bronnen van emissies.

Maatregelen

Beheersing van binnenmilieufactoren heeft zich vooral gericht op het voorkomen en genezen van waargenomen fysische effecten die direct zijn gerelateerd aan thermisch comfort, lichtkwaliteit, geluidskwaliteit of luchtkwaliteit: dus apart en niet geïntegreerd [10]. Omdat het zo moeilijk is om enkelvoudig meetbare fysische en/of chemische parameters in het binnenmilieu direct met gezondheid en comforteffecten in verband te brengen, zijn risicoanalyse methoden ontwikkeld, die bekijken of een bepaalde bron of maatregel een gezondheid of comforteffect in een bepaalde situatie kan veroorzaken. Duidelijke relaties tussen bepaalde gebouwkenmerken of maatregelen en zelfgerapporteerde (gezondheid) klachten zijn aangetoond [54]. Wanneer relaties tussen bepaalde gebouwkenmerken of maatregelen en (gezondheid) klachten bekend zijn, is het mogelijk om nieuwe of aangepaste richtlijnen (indicatoren en criteria) en beoordelingsmethoden op te zetten, die kunnen worden ingezet in de verschillende bouwfasen (levenscyclus). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de traditionele "over-de-schutting" methode voor het ontwerp en realisatie van een gebouw niet geschikt is voor het efficiënt meenemen van deze maatregelen. Een interactieve "top-down" benadering, zowel voor het communicatieproces en als voor het zorgen dat de wensen en eisen van de eindgebruiker worden meegenomen, is een vereiste. Hierbij zou een duidelijk raamwerk met relaties tussen de verschillende eisen in de verschillende fasen van een gebouw, kunnen assisteren [55].

DISCUSSIE

Effecten van maatregelen

Uit de analyse van de gezondheid en comfort-indicatoren kan worden geconcludeerd dat een aantal onvolkomenheden in onze gezondheid en comfortkennis van het binnenmilieu, de toepassing van veel van die indicatoren irrelevant maakt:

- Relaties van bepaalde risicofactoren (en subfactoren) met een bepaald gebouw gerelateerd gezondheidseffect (dosisrespons) zijn verre van compleet,
- De risicofactoren of parameters waarvan met weet dat die een relatie hebben met een bepaald gebouwgerelateerd gezondheidseffect zijn waarschijnlijk onvolledig (het is aannemelijk te veronderstellen dat zelfs niet alle factoren die een effect hebben bekend zijn).
- Interacties van risicofactoren (of parameters)

- op verschillende niveaus in het binnenmilieu (met bewoner, parameter, gebouw) zijn niet allemaal bekend,
- De relatie tussen maatregelen en effecten zijn onvolledig,
- Het soort kennis over de bewoners waar rekening mee moet worden gehouden is onduidelijk,
- De tijd als factor ontbreekt vaak (bewonersgedrag en veranderende omstandigheden),

Het is duidelijk dat om tot een andere manier van het beoordelen van onze omgeving te komen, we moeten weten hoe het menselijke lichaam en haar systemen bepaalde omgevingscondities ontvangt, waarneemt en beoordeelt. Door fysische, fysiologische en psychologische verschillen maar ook door verschillen in geschiedenis, context en situatie, zal niet elk persoon op dezelfde manier ontvangen, waarnemen en reageren. Daarnaast zal ook de invloed van tijd op de omgevingsaspecten, externe drijfveren zoals economie en regelgeving evenals interacties tussen aspecten, moeten worden meegenomen.

Zolang een gebrek aan kennis ons weerhoudt de dosis gerelateerde indicatoren toe te passen, lijken de gebouwgerelateerde indicatoren niet alleen een goede manier om verder te gaan, maar een noodzaak. Maatregelen die effecten (positief of negatief) van bepaalde maatregelen (of eisen) meenemen met als resultaat checklisten op verschillende niveaus, bouwfasen en voor verschillende partijen.

Observeren en monitoren

De bewoner gerelateerde indicatoren die proberen de reacties op stimuli vanuit het binnenmilieu te normaliseren nemen meestal geen 'emoties' van individuen mee en de parameter tijd ontbreekt eveneens. Dit kan deels verklaren waarom er afwijkingen optreden tussen wat de norm 'zegt' en de eindgebruiker 'wil en wenst'. De relatie tussen binnenmilieufactoren en complex menselijk gedrag is niet eenvoudig. Voor het beter verklaarbaar maken van gedrag is aandacht voor het begrijpen van gevoelens en emoties van mensen een vereiste. Methoden uit de psychologie kunnen hierbij worden toegepast.

In de meeste risicobepalingen worden mensen als geïsoleerde objecten beschouwd, die niet bewust zijn van enig gevaar waaraan ze kunnen worden blootgesteld. En die zelf niet het gevoel hebben in staat te zijn om iets te doen aan dat gevaar. Echter, in het algemeen evalueren mensen de mogelijkheid van een gevaar (of risico) verstandelijk en reageren ze hierop emotioneel [56]. Daarom kan de angst voor een ziekte meer schade veroorzaken dan

de ziekte zelf. Reacties op gevaarlijke situaties (inclusief beslissen) komen deels voort uit directe emotionele invloeden, waaronder gevoelens zoals zorgen maken, angst, ontzet zijn en achterdocht. Mensen ervaren vaak een discrepantie tussen ervaren angst voor een bepaald risico en hun cognitieve evaluatie van het gevaar die dat risico kan opleveren. Dit kan tot een gevoel van conflict leiden, dat deels kan worden verklaard door het feit dat de factoren die de emotionele reacties beïnvloeden, verschillen van de factoren die de cognitieve risico-evaluaties beïnvloeden (kans dat iets gebeurt en de ernst). Emotionele reacties zijn niet gevoelig voor kansvariëaties die voor cognitieve evaluaties wel gelden: angst is er of is er niet. Dus de mogelijkheid dat het optreedt in plaats van de kans op negatieve gevolgen. Verder kunnen mensen affectief reageren op een stimulus voordat dat ze weten wat het is waarop ze reageren. Een plotseling onverwacht geluid kan bijvoorbeeld angst veroorzaken voordat de bron van het geluid is bepaald. Dit effect is neurologisch aangetoond [56].

Integrale evaluatie

De dosis gerelateerde indicatoren hebben alleen zin indien de relatie tussen de dosis en het effect bekend is, evenals de interacties die plaatsvinden met andere aspecten van de specifieke omgeving of persoon. Onderzoek geeft aan dat behalve de huidige in normen en richtlijnen gebruikte indicatoren er waarschijnlijk andere indicatoren of parameters bestaan met een dosisrespons relatie. Ook andere geïdentificeerde blootstelling routes zullen daarom moeten worden meegenomen. Zoals de mogelijke weg voor extreem fijne stofdeeltjes, om via het geurzintuig in de neus in het centrale zenuwstelsel te komen [57], een veel efficiëntere manier dan via de longen en het bloedvatensysteem.

Verscheidene fysiologische (stress) indicatoren (die overigens kunnen worden beïnvloed door psychologische reacties) zouden wellicht in dit proces van menselijke modellering kunnen worden gebruikt:

- EEG als indicator voor thermisch comfort [58]: biologische temperatuurveranderingen van de hersenen hebben mogelijk invloed op EEG frequenties.
- Variaties in de hartslag lijken een relatie te hebben met binnenluchttemperatuur [58] en stofdeeltjes [59], hetgeen een effect op het autonome zenuwstelsel suggereert. Afname van de hartslagvariëatie kan een sterfte indicator zijn [60, 61].
- Adrenaline, noradrenaline en cortisol in de urine, HbA1c, prolactine, en vrije testosteron

in het bloed, zijn onderzocht op relaties met verschillende symptomen zoals huidklachten [62], elektromagnetische gevoeligheid [63], overspannenheid [64], gespannenheid, en irriteerbaarheid [65].

- De NO-concentratie in uitgeademde lucht werd gebruikt om de menselijke reactie op binnenluchtverontreinigingen in een klimaatkamer objectief te bepalen [66].
- Recente studies geven aan dat deeltjes, die eenmaal in de hersenen zijn beland, de balans tussen de sympathetische en de parasympathetische activiteit verstoren [59]. De parasympathetische activiteit beïnvloedt de hartslag via de afgifte van acetylcholine (tijdens rust en ontspannen condities), terwijl de sympathetische activiteit de hartslag via de afgifte van adrenaline en noradrenaline beïnvloedt (tijdens opgewonden en gespannen condities).

Daarnaast kan biosensing, waarbij levende cellen (van mens of dierlijke oorsprong) worden gebruikt om een indicatie te geven hoe "goed" de lucht is, worden toegepast. Voorbeelden van dergelijke technieken zijn het CULTEX-systeem in normale of Ames mode, waarin resp. menselijke longcellen en specifieke bacteriën worden blootgesteld aan een actuele blootstellingsituatie [67].

Gezien het bovenstaande is het duidelijk dat om beter grip te krijgen op de mechanismen die plaatsvinden bij de bron (zender) en ontvanger (blootstelling), maar ook op de "op de weg er naar toe" (bijvoorbeeld secundaire verontreinigingen veroorzaakt door reacties tussen stoffen), er een multidisciplinaire benadering vereist is. Het is belangrijk daarbij ondersteuning te zoeken in de neurologie, medische wetenschappen en psychologie evenals toxicologie, scheikunde en natuurkunde.

Positieve en negatieve effecten

Indien men echt iets wil kunnen zeggen over de effecten van bepaalde parameters, dan is het niet verstandig om automatisch te streven naar een neutrale omgeving, of om zich alleen te richten op discomfort en ziekten. Meestal vragen we niet aan de bewoner wat hij prettig vond of waarom hij het prettig vond, maar bijna altijd wat hij niet prettig vond of vindt, zodat ziekten en aandoeningen in de toekomst kunnen worden voorkomen. Maar het meenemen van positieve effecten zou net zo belangrijk moeten zijn. Aangetoond is dat positieve stimuli zoals natuurlijke geuren het gedrags-evenwicht van mensen kunnen verbeteren [68]. Terwijl studies over de positieve effecten nog maar net zijn begonnen, e.g. Santos en

Gunnarsen [69] en Clausen and Wyon [34] bestudeerde op kleine schaal voorkeuren van bepaalde omgevingsaspecten, hebben studies over negatieve stress een grote voorsprong. Het is bewezen dat te veel negatieve stress op korte termijn ziekten en op lange termijn gezondheidsproblemen kan veroorzaken zowel fysisch als mentaal.

Hormonen spelen een belangrijke rol bij de reacties [98]. Op korte termijn geven de hersenen de bijniemerg het signaal om adrenaline aan te maken en het lichaam voor te bereiden op actie. Op lange termijn geven de hersenen via een toename in de productie van corticotropine aan de hypofyse een signaal die op haar beurt de bijnierschors informeert om het anti stress hormoon cortisol te produceren. Te veel cortisol kan schadelijk effecten hebben: atrofie van de lymfeklieren, afname van het aantal witte bloedcellen, hypertensie en vaataandoeningen en mogelijk maagzweren. Aan de andere kant kan een hoge korte dosis een therapeutische werking hebben tegen ontstekingen van wonden, allergieën of reumatische artritis [70]. De door de WHO geïdentificeerde gezondheidsrisico's van blootstelling aan lawaai (vooral door nachtelijk verkeer), geven een goed beeld van de effecten van stress op lange termijn [18, 71].

Hormonen spelen ook een belangrijke rol in onze dagnacht ritme (de biologische klok van de hersenen). Onder invloed van licht (vooral het blauwgroene deel) vraagt de hypothalamus de epifyse melatonine te produceren, een hormoon dat ons slaperig maakt. Wanneer men 's nachts aan licht wordt blootgesteld stopt de aanmaak van melatonine meteen [72, 73]. Elk individu heeft haar/zijn eigen patroon voor slapen en wakker zijn: onze biologische klok is wellicht een waardevolle bron van informatie voor het bepalen van omgevingscondities in de tijd.

Productie van hormonen kunnen ook rechtstreeks worden beïnvloed door omgevingsparameters, zoals het effect van een temperatuurstijging op de afgifte van hormonen door de schildklier, waardoor ons metabolisme en bloeddruk stijgt [70].

AANBEVELINGEN EN CONCLUSIES

Uit het gepresenteerde overzicht is duidelijk dat nieuwe manieren en indicatoren voor gezonde en comfortabele gebouwen nodig zijn. Het is tijd om de mens zelf als uitgangspunt te nemen. Een aantal onderwerpen voor het creëren van die manieren en indicatoren worden hieronder geadresseerd.

Database met maatregelen

Een verzameling van maatregelen, gebaseerd

op huidige beschikbare kennis die moeten worden gevolgd voor het verkrijgen en handhaven van een gezond en comfortabel gebouw zou een goed begin zijn. Deze database van maatregelen of kennisgebaseerde database zou kunnen worden ontwikkeld door systematisch de volgende vragen te beantwoorden:

- Voor welke binnenmilieuparameters of factoren is een duidelijk dosiseffectrelatie aangetoond? Zijn er interacties bekend met andere parameters? Zijn die interacties gekwantificeerd of gekwalificeerd?
- Kunnen van die bekende relaties en interacties maatregelen worden afgeleid?
- Welke maatregelen kunnen van voorgaande studies worden afgeleid, waarbij statistische relevante relaties met gezondheid en comfort symptomen van bewoners zijn aangetoond?
- In welke bouwfase, op welk bouwproduct of proces en bij welke belanghebbende moeten de geïdentificeerde maatregelen worden uitgevoerd?

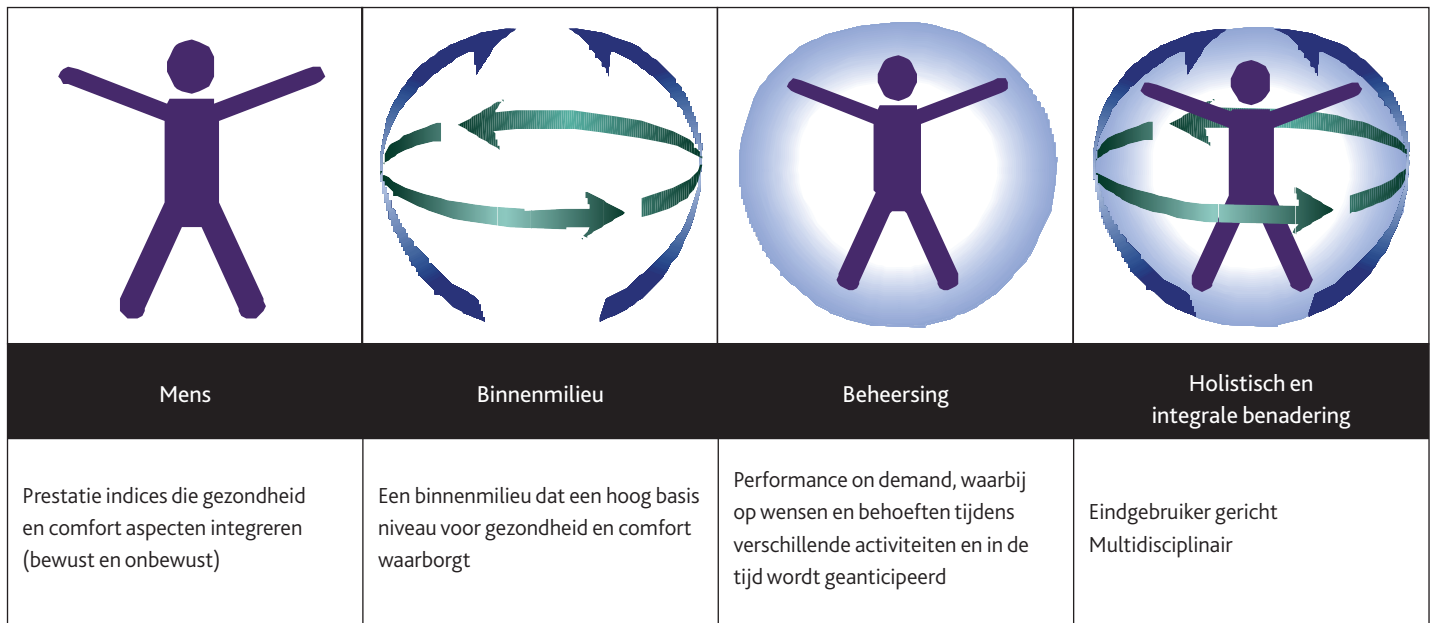
Mensmodel

Daarnaast is het duidelijk dat voor het definiëren van een mensmodel er behoefte is aan een testprocedure, die het mogelijk maakt de effecten en reacties van mensen op verschillende omgevingsomstandigheden in de tijd, te evalueren. Bij deze procedure zijn de volgende vragen belangrijk om te beantwoorden:

- Hoe en wanneer reageren mensen (fysisch, fysiologisch en psychologisch) op combinaties van positieve en negatieve stressfactoren uit de omgeving (luchtkwaliteit, thermisch comfort, lawaai en lichtkwaliteit)?
- Welke fysische, fysiologische, neurologische en psychologische mechanismen kunnen worden gebruikt om deze reacties te verklaren?
- Welke methoden kunnen worden toegepast om de reacties te meten? Rekening houdend met biologische, chemische en fysische methoden uit andere disciplines.
- Kan een subjectieve indicator voor negatieve effecten (irritatie, ergernis, angst, etc.) en voor positieve effecten (plezier, geluk, welzijn.) worden ontwikkeld?
- Hoe kunnen bepaalde reacties en/of gedrag in bepaalde situaties worden voorspeld?
- Wat zijn onze basis behoeften (in de tijd)? Hebben we "behoefte" aan constante condities tijdens een acht uur durende bureautoek?

Praktijk en labstudies zijn belangrijk om antwoorden te vinden:

- Praktijkstudies om de interacties te onderzoeken waarbij positieve en negatieve stimuli in de tijd worden meegenomen.
- Semilab praktijk studies om het menselijke



- Figuur 2 - Kader voor gezondheid en comfort (gebaseerd op [10]).

gedrag evenals de redenen voor keuzes en preferenties van mensen te onderzoeken, zodat het gedrag van mensen in bepaalde situaties beter kan worden voorspeld.

- Labstudies voor het onderzoeken van blootstelling en reacties op parameter niveau.
- Labstudies voor het onderzoeken van andere manieren om de dosis en reacties van mensen te meten dan de methoden waarop de huidige normen en richtlijnen zijn gebaseerd.

Beheersing

Een ander belangrijk aspect van het mensmodel is de factor beheersing of controle. Het is bekend dat het hebben van een zekere controle over je eigen omgeving je reacties en gedrag positief beïnvloedt. Met zicht op het toenemende aantal 'smart control' systemen in onze samenleving, is het belangrijk om het volgende te onderzoeken:

- De relatie tussen controle (door jezelf versus voor jou) en perceptie van welzijn.
- Wat doen mensen en waarom doen ze het in relatie tot de soort benodigde beheersmaatregelen?
- Wat willen mensen versus, wat hebben mensen nodig?
- Lokale persoonlijke omgevingen in relatie tot behoeften van individuen: wat, wanneer en waar?
- Hoe geef je mensen terugkoppeling, wat verwachten mensen nadat ze zelf iets hebben gedaan om hun omgeving aan te passen? (bv. draaien aan de thermostaat)

Deze onderwerpen moeten worden onderzocht in een semi-lab omgeving met een aanpasbare werkplek en eenvoudige testapparatuur voor het testen van de proefpersonen (reacties) en de omgeving.

Kader voor gezondheid en comfort

De hiervoor gepresenteerde aanbevelingen dragen allen bij aan meer kennis over hoe mensen reageren op een veranderende omgeving en hoe behoeften en eisen van individuen kunnen worden vertaald naar eisen aan het binnenmilieu. Een onderliggend kader voor gezondheid en comfort (figuur 2), in feite de achterliggende theorie, kan deze kennis in het juiste perspectief plaatsen:

- Het mensmodel en de prestatie-indices die gezondheid en comfortaspecten integreren.
- Het binnenmilieu en haar parameters (en stimuli) die samen een basisniveau verzorgen
- De beheersing van het binnenmilieu waarbij op veranderende wensen en behoeften in de tijd wordt geanticipeerd
- Het holistische en integrale management van het binnenmilieu, waarbij alle aspecten worden geïntegreerd en waarbij interacties tussen bewoners en binnenmilieu en vice versa worden meegenomen.

DANKBETUIGING

De auteur wil graag de volgende personen bedanken voor het geven van hun mening over de onderwerpen in bovenstaand overzicht in een persoonlijk interview:

- Lars Gunnarsen en Henrik Knudsen van SBI in Denemarken
- Paul Wargocki van de Technische Universiteit van Denemarken
- Nadia Boschi van Bovis Lend Lease in Italië
- Diotima von Kempiski van DVK Air vitalizing systems in Duitsland
- Collega's van TNO Bouw en Ondergrond: Sabine de Richemont, Myriam Aries, Hans Phaff, Marleen Spiekman, Lucienne Krosse, André Moons, Mieke Oostra, Olaf Adan, John Havemans, Yvonne de Kluizenaar, Henk

Miedema, Suzanne Bron v/d Jagt, Laurens Zonneveld, Leo Bakker, Ingeborg Kooter en Sabine Jansen.

REFERENTIES

1. EU. Together for health: A Strategic approach for the EU: 2008-2013. White paper COM(2007) 630 final. European Commission: Brussels, Belgium; 2007.
2. WHO. Guidelines for Air Quality. second edition. World regional publication European series no.91. World Health Organisation: Geneva; 2000.
3. EU. Improving quality and productivity at work: Community strategy 2007-2012 on health and safety at work. COM(2007) 62 final. European Commission: Brussels, Belgium; 2007.
4. Iacobucci D. Kellogg on marketing. ISBN 0-471-35399-X. John Wiley & Sons inc.: USA; 2001.
5. EU. Council directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. European Commission: Brussels, Belgium; 1989.
6. ISO. ISO/TS21929 Building construction - sustainability in building construction - sustainability indicators - Part I Framework for the development for indicators for buildings. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland; 2006.
7. CEN. prEN 15643-1 and 2: Sustainability of construction works -Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework, and Part 2: Framework for the assessment of environmental performance. AFNOR: France; 2008.
8. ISO. ISO/TS 21931-1: Sustainability in building construction -Framework for

- methods of assessment for environmental performance of construction works - Part 1: Buildings, Revision of ISO/TS 21931-1: 2006. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland; 2008.
9. Boschi N. 2002. Quality of life: Meditations on People and Architecture. Proceedings of Indoor Air '02. H. Levin (Ed.). Monterey (CA). ISBN 0-9721832-0-5; 2002.
 10. Bluyssen PM. The Indoor Environment Handbook: How to make buildings healthy and comfortable. Earthscan: London, UK. ISBN 9781844077878; 2009.
 11. Bluyssen PM and Adan OCG. Marketing the indoor environment: standardization or performance on demand? Proceedings of Healthy buildings 2006. Lisboa, Portugal; 2006: vol.5, pp275-280.
 12. Fanger PO. Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publishing company, inc.: Florida, USA. ISBN 0-89874-446-6; 1982.
 13. Bluyssen PM. State-of-the-Art on Performance concepts and tools for buildings. TNO report 2001-CGI-R100. TNO: Delft, The Netherlands; 2001.
 14. ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environment Conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers: Atlanta, GA; 2004.
 15. ASHRAE. ASHRAE Standard 62.1-2004: Ventilation for acceptable indoor air quality. American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers: Atlanta, GA; 2004.
 16. ISO. EN ISO 7730: Moderate thermal environments -Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland; 2005.
 17. EU. COM 160 final: Report from the commission to the European Parliament and the council concerning existing Community measures relating to sources of environmental noise, pursuant to article 10.1 of Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise. European Commission: Brussels, Belgium; 2004.
 18. WHO. Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health. WHO: Bonn, Germany; 2003.
 19. WHO. Air quality guidelines: global update 2005, Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. ISBN 92 890 2192 6. WHO Regional office for Europe: Denmark; 2006.
 20. CEN. EN 12464-1 Light and lighting -Lighting of work places -part 1 Indoor work places; 2002.
 21. CEN. EN 12665: light and lighting -Basic terms and criteria for specifying lighting requirements; 2002.
 22. Burge S, Hedge A, Wilson S, Bass JH, Robertson A. Sick building syndrome: a study of 4373 office workers. *Ann. Occup. Hyg.* 1987; 31(4A): 493-504.
 23. Skov O, Valbjørn O, DISG. The "Sick" building syndrome in the office environment: The Danish town hall study. *Environ Intl.* 1987; 13: 339-349.
 24. Preller L, Zweers T, Boleij JSM, Brunekreef B. Gezondheidsklachten en klachten over het binnenklimaat in kantoorgebouwen (Health symptoms and complaints on indoor climate in office buildings). *Directoraat-Generaal van de Arbeid, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid*, S83: Voorburg, The Netherlands (in Dutch); 1990.
 25. Bluyssen PM, de Oliveira Fernandes E, Groes L, Clausen GH, Fanger PO, Valbjørn O, Bernhard CA, Roulet CA. European Audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings. *Indoor Air* 1996; 6: 221-238.
 26. Jantunen MJ, Hänninen O, Katsouyanni K, Knöppel H, Keunzli N, Lebet E, Maroni M, Saarela K, Sram R, Zmirou D. Air pollution exposure in European cities: The "Expolis study". *JEAEE* 1988; 8(4): 495-518.
 27. Apte, M.G., Fisk, W.J., Daisey, J.M., 2000, Associations between indoor CO₂ concentrations and Sick building syndrome symptoms in US office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study, *Indoor Air*, 10(4): 246-257.
 28. Bonnefoy XR, Annesi-Maesona I, Aznar LM, Braubachi M, Croxford B, Davidson M, Ezratty V, Fredouille J, Ganzalez-Gross M, van Kamp I, Maschke C, Mesbah M, Moissonnier B, Monolbaev K, Moore R, Nicol S, Niemann H, Nygren C, Ormandy D, Röbbel N and Rudnai P. Review of evidence on housing and health. Fourth Ministerial Conference on Environment and Health: Budapest, Hungary; 23-25 June 2004.
 29. Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ. Meta-analysis of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air* 2007; 17(4): 284-296.
 30. Adan OCG. On the fungal defacement of interior finishes. doctoral thesis. Technical University of Eindhoven: The Netherlands; 1994.
 31. Bluyssen PM and Cox C, Indoor Environment quality and upgrading of European office buildings, *Energy & Buildings* 2002; 34: 155-162.
 32. Balazova I, Clausen G, Rindel JH, Poulsen T, Wyon DP. Open-plan office environments: A laboratory experiment to examine the effect of office noise and temperature on human perception, comfort and office work performance. In: Proceedings of Indoor Air 2008; Copenhagen; Denmark; paper 703; 2008.
 33. Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. The effect of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air* 2004; 14: 30-40.
 34. Clausen G, Wyon DP. The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance. In: Proceedings of Indoor Air 2005; Beijing; China; vol. 1: p 351-356; 2005.
 35. Taylor J. The mind, A user's manual. John Wiley & Sons, Ltd.: England. ISBN 0-470-02222-1; 2006.
 36. Schultz DP and Schultz SE. Psychology and work today. Pearson Education International, 9th edition: New Jersey, USA; 2006.
 37. Perner L. San Diego State University. www.consumerpsychologist.com; 2007.
 38. Fisk WJ. Review of health and productivity gains from better IEQ. Proceedings of Healthy Buildings 2000: Helsinki, Finland. vol. 4: p 22-34; 2000.
 39. Clements-Croome D. (editor) Creating the productive workplace, E&FN Spon. London and New York; 2002.
 40. Wyon D. Healthy Buildings and their impact on productivity. Proceedings of Indoor Air 1993: Helsinki, Finland. vol. 6, p 3-13; 1993.
 41. Wargocki P, Wyon D, Sundell J, Clausen G, Fanger PO. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air* 2000; 10(3): 222-236.
 42. Raw GJ, Roys MS, Leaman A, Further findings from the office environment survey: productivity. Proceedings of Indoor Air 1990: Toronto, Canada. vol. 1, p 231-236; 1990.
 43. LHRF. Proceedings of Symposium Healthy Lighting. Light & Health Research foundation: Eindhoven, The Netherlands; 2002.
 44. Hollander AGM and Melse JM. Valuing the health impact of air pollution. in: Air pollution and health, J. Ayres, R. Maynard and R. Richards (eds). *Air Pollution Reviews*. vol.3. Imperial College Press: London, UK; 2006.
 45. Carrothers TJ, Graham JD, Evans J. Putting a value on health effects of air pollution. *IEQ Strategies-Managing risk* 1999; 3(10).
 46. Murray CJL and Lopez AD. (eds). The

- global burden of disease: A comprehensive assessment of mortality and disability from disease, injury and risk factors in 1990 and projected to 2020. Vol I. Harvard University Press: Harvard, Massachusetts, USA; 1996.
47. Morrow RH, Bryant JH. Health policy approaches to measuring and valuing human life: conceptual and ethical issues. *American journal of public health* 1995; 85(10): 1356-1360.
 48. Smith KR. The global burden of disease from unhealthy buildings: preliminary results from a comparative risk assessment. *Proceedings of Healthy Buildings 2003*. Singapore; 2003.
 49. Pernot CEE, Koren LGH, Dongen JEF, Bronswijk van, JEMH. Relatie EPC-niveau en gezondheidsrisico's als onderdeel van het kwaliteitsniveau van gebouwen (Relation EPC-level and health risks as part of the building quality level). TNO report 2003-GGI-R057, Delft, The Netherlands (in Dutch); 2003.
 50. Knol AB, Staatsen BAM, Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980-2020, RIVM report 500029001/2005, Bilthoven, The Netherlands; 2005.
 51. Hawkes D. The environmental imagination, technics and poetics of the architectural environment. ISBN 978-0-415-36087-6. Routledge, Taylor & Francis group: UK; 2008.
 52. Bluysen, P.M., 2008, Beheersing van het binnenmilieu: van onderdeel gerelateerde naar interactieve top-down benadering, *TVVL Magazine* nr.9, pp. 40-52.
 53. EU. M/366: Development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive (CPD), Emission to indoor air, soil, surface water and ground water. European Commission: Brussels, Belgium; 2005.
 54. Roulet C-A, Bluysen PM, Cox C and Foradini F. Relations between perceived indoor environment characteristics and well-being of occupants at individual level. *Proceedings of Healthy buildings 2006*, Lisboa, Portugal; vol.3, p 163-168; 2006.
 55. Bluysen PM, Oostra MAR, Böhms H.M. Een system engineering benadering als alternatief voor de traditionele overde-schutting ontwerpmethodiek, *TVVL Magazine*, november 2009.
 56. Loewenstein GF, Weber EU, Hsee CHK, Welch N. (2001) 'Risk as feelings', *Psychologic. Bull.* 2001; 127: 267-286.
 57. Elder A, Gelein R, Silva V, Feikert T, Opanashuk L, Carter J, Potter R, Maynard A, Ito Y, Finkelse J, Oberdoerster G. Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system. *Environ Health Perspect* 2006; 114: 1172-1178.
 58. Yao Y, Lian Z, Liu W, Jiang C, Liu Y, Lu H. Heart rate variation and electroencephalograph -the potential physiological factors for thermal comfort study. *Indoor Air* 2009; 19: 93-101.
 59. Pope CAIII and Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J. Air Waste Manage Assoc.* 2006; 56: 709-742.
 60. Nolan J, Batin PD, Andrews R, Lindsay SJ, Brooksby P, Mullen M, Baig W, Flapan AD, Cowley A, Prescott RJ, Neilson JMM, Fox KAA. Prospective study of heart rate variability and mortality in chronic heart failure. *Circulation* 1998; 98: 1510-1516.
 61. La Rovere MT, Pinna GD, Maestri R, Mrtara A, Capomolla S, Febo O, Ferrari R, Franchini M, Gnemmi M, Opasich C, Riccardi PG, Traversi E, Cobelli F. Short-term heart rate variability strongly predicts sudden cardiac death in chronic heart failure patients. *Circulation* 2003; 107: 565-570.
 62. Berg M, Arnetz BB, Liden S, Eneroth P and Kallner A. Techno-stress. A psychophysiological study of employees with VDU-associated skin complaints. *J. Occup. Med.* 1992; 34: 698-701.
 63. Arnetz BB, Berg M. Melatonin and adrenocorticotrophic hormone levels in video display unit workers during work and leisure. *J. Occup. Environ. Med.* 1996; 38: 1108-1110.
 64. Melamed S, Ugarten U, Shirom A, Kahana L, Lerman Y and Froom P. Chronic burnout, somatic arousal and elevated salivary cortisol levels. *J. Psychosom. Res.* 1999; 46: 591-598.
 65. Fibiger W, Singer G, Miller AJ, Armstrong S and Datar M. Cortisol and catecholamines changes as functions of time-of-day and self-reported mood. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1984; 8: 523-530.
 66. Kolarik B, Lagercrantz L, Sundell J. Nitric oxide in exhaled and aspirated nasal air as an objective measure of human response to indoor air pollution, *Indoor Air* 2009; 19: 145-152.
 67. Aufderheide M. An efficient approach to study the toxicological effects of complex mixtures. *Exp Toxicol Pathol.* 2008; 60(2-3):163-80.
 68. Von Kempster D. Air And Well Being -A Way To More Profitability. In: *Proceedings Healthy Buildings 2003*. Singapore; 2003.
 69. Santos AMB, Gunnarsen L. Indoor climate optimization with limited sources. SBI report 314. Hoersholm, Denmark; 1999.
 70. Kapit W, Macey RI, Meisami E. The physiology coloring book, 2nd edition. ISBN 0-321-03663-8. Benjamin/Cummings Science publishing: CA, USA; 2000.
 71. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. *Guidelines for community noise*. WHO, Geneva; 1999.
 72. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci.* 2001; 21: 6405-6412.
 73. Boyce PR. *Human factors in lighting*. Taylor & Francis; 2003