

Energiebesparen, niet ten koste van het binnenmilieu

De stringente noodzaak om het gebruik van energie voor het verwarmen, ventileren, koelen en verlichten van gebouwen te reduceren, heeft belangrijke veranderingen teweeggebracht in de wijze waarop gebouwen worden ontworpen en gebouwd. Vooral in Nederland heeft de Energie Prestatie Normering hier grote invloed op [1]. Het is daarom belangrijk dat, wanneer energiebeperkende maatregelen worden genomen, men zich er van verzekert dat hun effecten op het binnenmilieu worden vastgesteld en gekwantificeerd. En ook dat actie wordt ondernomen om mogelijke averechtse gevolgen tegen te gaan of te reduceren. De sector Utiliteitsgebouwen van Novem stelde nu de vraag: "Is verdergaande energiebesparing in utiliteitsgebouwen wel mogelijk zonder afbreuk te doen aan de kwaliteit van het binnenmilieu in deze gebouwen?" Voor het beantwoorden van deze vraag heeft TNO gekeken naar verbanden tussen energiebesparing in gebouwen en de kwaliteit van het binnenmilieu. Er is nagegaan of er potentiële conflicten liggen en hoe daar mee kan worden omgegaan.

- door ir. M. Rolloos*

In de Energie Prestatie Norm NEN 2916 [2] voor utiliteitsgebouwen (zie de paragrafen 6.5.3.6 *Maximale specifieke lucht volumestroom door mechanische ventilatie* en 6.5.3.7 *Reductie voor terugregeling buitenluchtoevoer*) worden recirculatie en terugregeling van het ventilatiedebiet positief gewaardeerd. Kan dit ongestraft of stuiten we hier op een barrière voor wat betreft de kwaliteit van het binnenmilieu? En wat is de minimaal vereiste luchtverversing in een kantoorwerkruimte?

In paragraaf 6.5.3.6 van NEN 2916 wordt gevraagd de maximale specifieke lucht volumestroom door mechanische ventilatie te bepalen. Gesproken wordt over 'de maximale toevoercapaciteit van het mechanisch ventilatiesysteem

voorzover ten dienste van gelijktijdig binnen de energiesectoren werkende ventilatiestromen in dm^3/s , bepaald overeenkomstig 5.1 van NEN 1087'. Een nogal cryptische formulering. In de praktijk komt het er op neer dat men op grond van ervaring of vuistregels, bij een bepaald klimatiseringssysteem, kiest voor een zeker ventilatievoud. Dit leidt tot een totaal ventilatiedebiet en hieruit volgt dan een ventilatorselectie. De informatie uit deze selectie wordt vervolgens gebruikt in de EPC-berekening.

In paragraaf 6.5.3.7 'Reductie voor terugregeling buitenluchtoevoer' van NEN 2916 is een factor $f_{\text{reg,vent}}$ opgenomen. Met $f_{\text{reg,vent}}$ wordt bedoeld terugregeling van de hoeveelheid rechtstreeks van buiten komende verse



Ir. M. Rolloos

lucht te waarderen als dit plaatsvindt gedurende gewone bedrijfsvoering en bedrijfstijden. De norm zegt dat bij systemen met mechanische toevoer de voorzieningen om de hoeveelheid buitenlucht te regelen als volgt in rekening moeten worden gebracht:

"Bij voorzieningen voor menging van rechtstreeks van buiten komende verse lucht met retourlucht, waarbij ten minste 20% van de retourlucht kan worden gerecirculeerd of bij voorzieningen voor debietregeling, waarbij de lucht volumestroom door de centrale luchtbehandelingsinstallatie tot ten minste 80% van de maximale capaciteit, als bepaald in 6.5.3.6, kan worden teruggeregeld, geldt: $f_{\text{reg,vent}} = 0,8$ ". Bij recirculatiepercentages van 40% (resp. 60%) of terugregeling tot 60% (resp. 40%) wordt $f_{\text{reg,vent}} = 0,6$ resp. 0,4. In alle andere gevallen geldt: $f_{\text{reg,vent}} = 1,0$. Een rekensom, toegepast op een kantoorgebouw met een EPC=1,9, wijst uit dat 60% recirculatie een verlaging van ongeveer 0,2 geeft op de totale EPC-waarde. Tezen zijn opgezuiverd gebruik moet echter worden gewaarschuwd (zie onder 'Aanscherping EPC en het binnenmilieu').

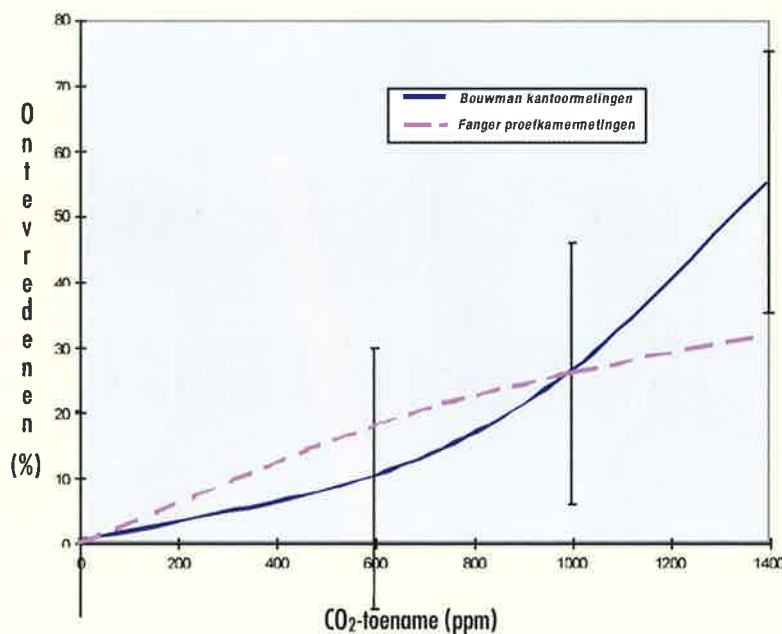
* TNO Bouw, Dienst Gebouw en Installatie

De NEN 2916, noch het Bouwbesluit benoemen expliciet de minimaal vereiste luchtverversing per persoon. Hierover spreekt wel de Arbowet zich uit. Het Bouwbesluit heeft betrekking op de realisatiefase van het bouwwerk. Het Bouwbesluit zorgt ervoor dat een zekere hoeveelheid ventilatielucht kan worden toe- en afgevoerd. Of dit ook werkelijk gebeurt, hangt van de gebruiker van het gebouw af.

LUCHTVERVERSING

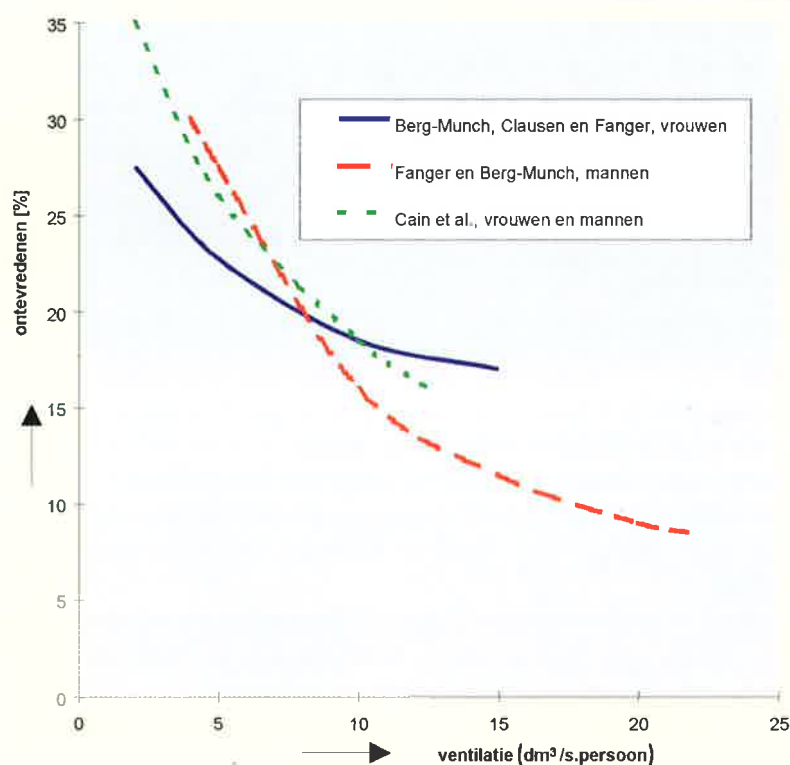
Wordt tijdens het gebruik van het gebouw voldoende lucht verversed? Hierover spreekt een Beleidsregel van de Arbowet [3] zich uit. Deze Beleidsregel geeft eisen aan voor de aan te houden luchtverversing in de gebruiksfase. Voor kantoorruimten geldt een minimale luchtverversing van 30 m³/uur per persoon (Beleidsregel 6.2 Luchtverversing, Arbowet, 1997). Garandeert deze hoeveelheid een acceptabele luchtkwaliteit? Volgens Arbo-informatie AI-7, 1997, is deze waarde gebaseerd op de CO₂-concentratie in de binnenlucht. De CO₂-concentratie wordt wel gebruikt als indicator voor de luchtkwaliteit wanneer de mens de belangrijkste verontreinigingsbron in een ruimte is. Dit is mogelijk doordat de productie van geurstoffen van de mens parallel loopt met de CO₂-productie. Er wordt gemeld dat een goede kwaliteit binnenlucht minder dan 0,1 volumeprocent CO₂ (dat is 1000 delen per miljoen, ook wel geschreven 1000 · 10⁻⁶ of 1000 ppm "parts per million") bevat. Als grenswaarde wordt 0,12 vol% (1200 ppm) gehanteerd, terwijl zeer incidenteel 0,15 volumeprocent (1500 ppm) nog tijdelijk toelaatbaar is. Het betrekkelijke van deze uitspraken blijkt uit de resultaten van een belangrijke TNO-studie (Bouwman, 1981, [4]) 'Onderzoek naar de minimum verse luchttoevoer'. Uit ondervragingen van gebouwbewoners bleek een grote spreiding in het percentage ontevredenen met de luchtkwaliteit als functie van de CO₂-concentratie in de binnenlucht, zie figuur 1.

In deze figuur is ook het resultaat van een studie van Fanger opgenomen (Bron: Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings [5]). Als kritische kanttekening moeten we bij het voorgaande opmerken dat CO₂ geen vertegenwoordiger is van de verontrei-



Percentage ontevredenen als functie van de CO₂-concentratie (boven de buitenlucht CO₂-concentratie van ca. 350 ppm)

-FIGUUR 1-



Geuracceptatie bij binnenkomst van een vertrek, waarin zittende personen de belangrijkste geurbron zijn (Jansen, 1992)

-FIGUUR 2-

nigen in concentraties zoals ze gewoonlijk in kantoorgebouwen voorkomen. Diverse stoffen in de binnenlucht maken uiteindelijk de kwaliteit daarvan uit. De concentratie CO₂ fungeert hoofdzakelijk als een indicator voor de interactie tussen de aanwezigheid van personen en de ventilatie-effectiviteit. Onderzoek van Berg-

Munch, Clausen en Fanger en van Cain e.a.[6], in praktijkomstandigheden en in proefkamers, laten zien dat bij een luchtverversing van 8,3 dm³/s (30 m³/uur) per persoon, het percentage personen dat (bij binnenkomst van een vertrek) ontevreden is met de luchtkwaliteit ca. 20% bedraagt, zie figuur 2.

Dit percentage neemt exponentieel af met toenemende luchtverversing per persoon, tot ca. 10% ontevreden bij 17dm³/s (ca. 60 m³/uur) per persoon. Het is hierom dat in de SBR/ISSO-publicatie 354 [7] gekozen is voor drie niveaus: 30 m³/uur per pers. (minder goed), 40 m³/uur per pers. (goed) en 60 m³/uur per pers. (zeer goed). Wordt roken toegestaan dan zouden, volgens Amerikaans onderzoek, deze waarden nog eens moeten worden verdubbeld (uitsluitend op basis van hinder, niet op basis van gezondheid). De eerste energiebesparing begint daarom al met het voeren van een (anti) rookbeleid in kantoren. De genoemde luchtverversingshoeveelheden zijn niet echt 'hard', maar vormen wel een goede indicator. Om dus hoge ontevredenheidspercentages te voorkomen, moet een minimum van 30 m³/uur per persoon beslist niet worden onderschreden.

De genoemde ondergrens van 30 m³/uur per persoon geeft dus tevens het maximale besparingspotentieel op de ventilatieverliezen aan (afgezien van mogelijke warmterugwinning uit de ventilatielucht). Dé aangewezen manier om ventilatie-eisen te reduceren en daarmee het energiegebruik, is ten eerste bronbestrijding en ten tweede bronbeheersing, d.w.z. het tegengaan of verminderen van onnodig verontreinigende bronnen.

AANSCHERPING EPC EN HET BINNENMILIEU

De hoeveelheid energie die nodig is voor het verwarmen, koelen en transporteren van de ventilatielucht is recht evenredig met de hoeveelheid ventilatielucht. Wil men op dit energiegebruik besparen, dan kan dit door:

- warmte terug te winnen uit de afvoerlucht;
- een gedeelte van de ventilatielucht te recirculeren, of
- het terugregelen van het ventilatie-debiet.

Deze drie mogelijkheden worden positief gewaardeerd in de EPC-berekening. Drie aandachtspunten (waarschuwingen) zijn hier op hun plaats:

- Controleer bij recirculatie of terugregeling van het ventilatie-debiet of de minimale luchtverversing van 30m³/uur per persoon (voor kantoren) niet wordt onderschreden

(Beleidsregel 6.2 Luchtverversing, Arboret 1997).

- Bedenk dat bij recirculatie de kwaliteit van de binnenlucht achteruit kan gaan. De kwaliteit van de retourlucht kan worden verbeterd door een filter van hoge kwaliteit (minstens EU8/F8) in het retourcircuit op te nemen. Door de hogere weerstand van dit filter kost dit evenwel extra energie.
- Besteed aandacht aan de werking van het inblaasornament bij maximum zowel als minimum inblaashoeveelheid [8]. Een inblaasornament met variabel inblaasoppervlak is voor wat betreft het zo lang mogelijk blijven aanliggen van de ingeblazen lucht (zgn. Coanda-effect) beter dan een inblaasornament met vast oppervlak. Verder is het voor een goede luchtverdeling in de ruimte, ook bij vermindering van de ingeblazen luchthoeveelheid, beter om de lucht op meerdere plaatsen in kleinere hoeveelheden in te brengen dan in grote hoeveelheden op één of enkele plaatsen.

Het terugregelen van het ventilatie-debiet is zeer wel denkbaar voor grote bijeenkomstruimten (vergaderzalen, auditoria, collegezalen, in 't algemeen die ruimten waar veel mensen in wisselende aantallen aanwezig zijn). Doch ook voor kantoorruimten die tijdelijk onbezet zijn. Deze zgn. 'vraaggestuurde ventilatie' kan door een CO₂-sensor worden aangestuurd. Aanbevolen wordt dan ook verdere ontwikkeling van vraaggestuurde ventilatie en van betere luchtkwaliteitssensoren.

Eén van de mogelijkheden om te voldoen aan de scherpere EPC-eisen is verhoging van de isolatiewaarde van de gevel en van het dak en het toepassen van meervoudige of hoogrendementsbeglazing. Hierdoor komt warmte van buiten moeilijker naar binnen, maar warmte die eenmaal binnen is, kan daardoor moeilijker naar buiten.

In de zomer stijgt hierdoor de kans op overschrijding van de gewenste binnentemperatuur. Een eerste toetsing op deze kans kan worden uitgevoerd met bijv. ISSO publikatie 37 [9]. Een nauwkeurige berekening van het aantal uren dat een gewenste temperaturniveau wordt overschreden, moet vóór het definitief ontwerp worden gemaakt.

Deze toets is dus, los van de EPC-berekening, altijd nodig om vast te stellen of een gewenst thermisch binnenklimaat wordt gehaald.

In de EPC-berekening voor kantoorgebouwen is het energiegebruik voor bevochtiging evenredig met de hoeveelheid te bevochtigen toevoerlucht en het aantal toe te voeren gram-uren vocht per dm³ droge lucht in g,h/dm³. Hierbij wordt rekening gehouden met eventuele vochtterugwinning uit de retourlucht.

Over de gewenste vochtigheidsgraad in kantoorruimten en het al dan niet toepassen van luchtbevochtiging bestaat al jarenlang discussie, zie bijv. het artikel van Bronsema 'Luchtbevochtiging – van de regen in de drup' [10]. De conclusies over luchtvochtigheid en bevochtiging aan het einde van het artikel van Bronsema worden onderschreven en zijn als volgt:

'Luchtvochtigheid en gezondheid: R.V. bij voorkeur niet lager dan 30%.

Luchtvochtigheid en stof in het interieur: Primair stofbestrijding. Eventueel plaatsen van ionisatoren. Luchtbevochtiging toepassen als stof niet te vermijden is.

Luchtbevochtiging en Sick Building Syndroom: Primair de ruimtetemperatuur in de winter beperken tot ca. 21°C. Luchtbevochtiging toepassen als dit niet te realiseren is.

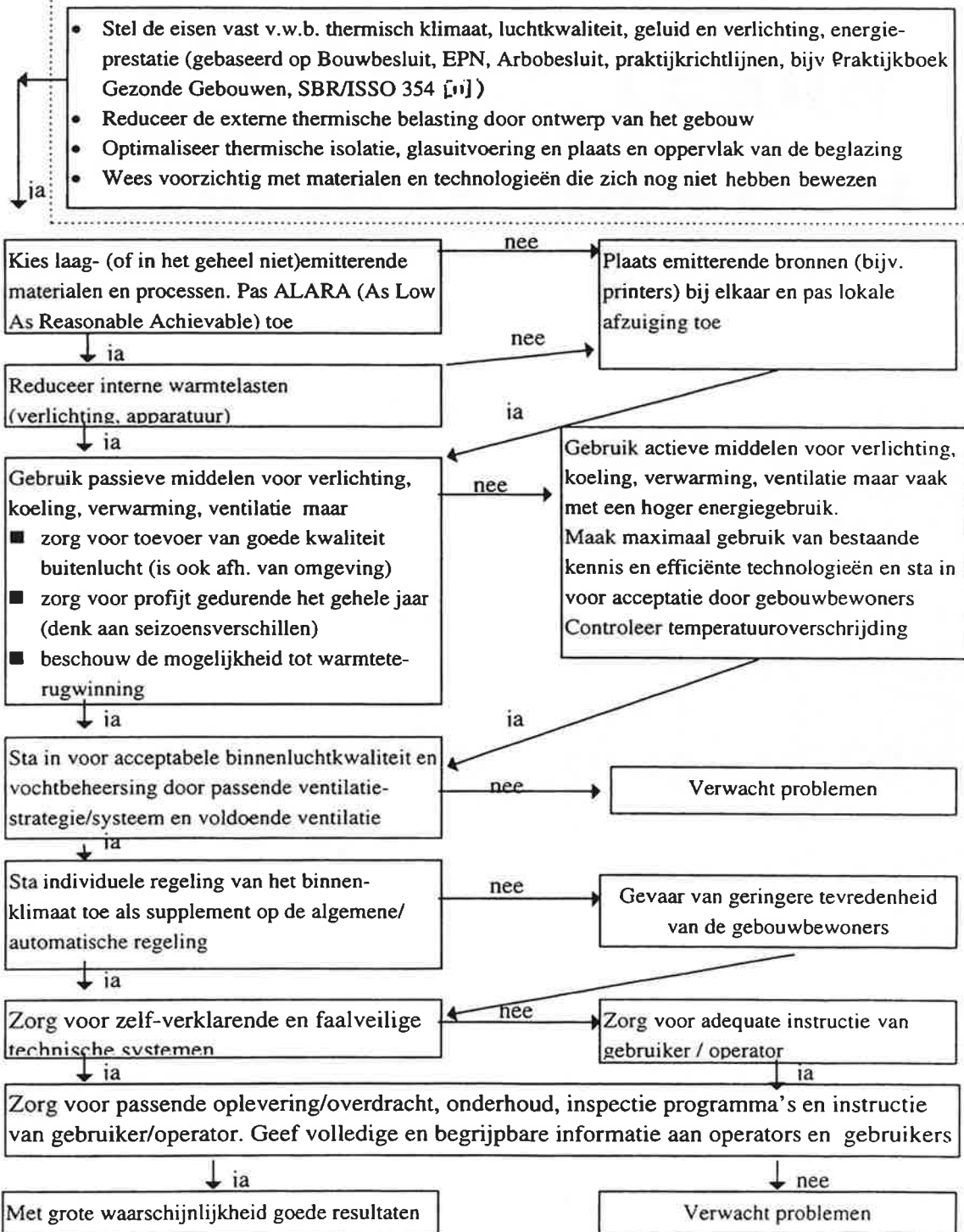
Luchtvochtigheid en thermisch comfort: Luchtbevochtiging in principe niet nodig.

Luchtvochtigheid en luchtkwaliteit: Bij 'gezonde lucht' in een 'gezond interieur' in principe geen luchtbevochtiging nodig. Bij minder gezonde lucht en klimaatinstallaties die niet op basis van hygiënische uitgangspunten zijn ontworpen en worden beheerd, luchtbevochtiging toepassen tot maximaal 30% R.V.

Luchtvochtigheid en statische elektriciteit: Primair een goede vloerbedekking kiezen. Luchtbevochtiging is tweede keus.

Luchtvochtigheid en het gebouw: Geen luchtbevochtiging gewenst. Een hoge luchtvochtigheid in de winter brengt bepaalde risico's met zich mee voor de gebouwconstructie. Het risico van condensatie op koude vlakken en in bepaalde constructies neemt toe, waardoor schade en ook schimmelvorming kan optreden. Veel mensen zijn hier allergisch voor. Algemeen wordt dan

BASIS EISEN



Strategie voor het bereiken van een goed binnenmilieu en een efficiënt gebruik van energie

-TABEL 1-

ook aanbevolen om de vochtigheid in de winterperiode zo laag mogelijk te houden. Het gebouw moet 's winters 30% à 40% R.V. dan wel kunnen 'verdragen'. Bij het opnemen van luchtbevochtiging is uiterste hygiëne noodzakelijk. Gericht onderhoud en inspectie zijn noodzakelijke voorwaarden'.

GEBOUW/INSTALLATIEKENMERKEN

In het voorgaande lag de nadruk op het verband tussen ventilatie, kwaliteit van de binnenlucht en daarmee gepaard gaand energiegebruik. Naast het belangrijke aspect ventilatie spelen nog andere factoren een rol bij het realiseren van een gezond en comfortabel

binnenmilieu met een minimum aan energiegebruik. Dit zijn aspecten van het gebouw zoals: de daarin gehuisveste organisatie, de locatie, de oriëntatie, het ontwerp en de constructie, alsmede aspecten van het klimatiseringssysteem zoals: de keuze van het systeem met bijv. al of niet warmterugwinning,

Gebouw/systeemkenmerken	Invloeden op energiegebruik	
Gebouw: organisatie, locatie en oriëntatie		
Organisatie Bijv. flexibel kantoor	Van grote invloed op energiegebruik.	
Locatie • blootstelling aan wind • schaduw van andere gebouwen	Geschikte keuze kan het energiegebruik voor verwarming, koeling en kunstverlichting reduceren.	
Gebouworientatie met betrekking tot • zon • overheersende windrichting	Een oriëntatie noord / zuid met relatief veel glas in zuidgevel heeft een effect van 0 tot -5% op de EPC (voorbeeldkantoor uit EP Variantenboek utiliteitsbouw, Novem, juni 1996).	
Gebouw: ontwerp en constructie		
Rationeel gebouwo ontwerp • grootte van de ruimten • comfortniveaus • ligging van ruimten	Energiegebruik voor verwarming, koeling en verlichting kunnen worden gereduceerd.	
Gebouwo mhulling Voorziet in: • goede thermische isolatie • goede beheersing infiltratie • openingen voor licht en uitzicht, zontoetreding en afscherming	Het gebruik van passieve en natuurlijke middelen waar mogelijk zal de behoefte aan energietoevoer, door energiedistributiebedrijven, beperken.	
Thermische massa (die bereikbaar is, bijv. open plafond of geen verlaagd plafond)	Een grote thermische massa kan piekbelastingen en/of energiebehoeften voor koeling reduceren. Geschikt voor nachtkoeling en opslag van zonne-energie maar niet geschikt voor (snelle) periodieke verwarming of koeling.	
Ramen (raam / gevelsystemen)	Grote ramen begunstigen daglichtgebruik. Op het zuiden georiënteerd zorgen ze voor een grotere zonne-energie winst in de winter en gemakkelijker zonwering in de zomer. Een grote raamoppervlakte is goed mogelijk indien gekozen wordt voor een U-waarde $\leq 1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.	
Ontwerp van verwarmingssystemen, inhoudende a. juiste dimensionering b. keuze van water- en/of luchtsystemen c. warmte-terugwinning waar mogelijk	ad a. overdimensionering leidt tot verspilling van energie. ad b. luchtverwarming meer geschikt voor snelle periodieke verwarming, watersystemen kunnen gemakkelijker worden geïsoleerd en vragen minder pompenergie. ad c. luchtverwarming kan worden gecombineerd met warmteterugwinning.	

Invloed van belangrijke kenmerken van gebouw/installatie op energiegebruik en binnenmilieu in fase van voorstudie, ontwerp, constructie, bedrijfsvoering en onderhoud. Vervolg zie volgende pagina's.

-TABEL 2-

recirculatie of bevochtiging. Deze aspecten verdienen aandacht vanaf het Programma van Eisen (PVE), tijdens het ontwerp tot aan beheer en onderhoud. In tabel 2 worden een twintigtal kenmerken van gebouw en klimaatinstallatie genoemd, en hun invloed op zowel energiegebruik als de kwaliteit van het binnenmilieu. Door de invloeden van deze kenmerken in acht te nemen kan energie worden bespaard zonder afbreuk te doen aan de kwalitei-

teit van het binnenmilieu. Tenslotte wordt in de vorm van een stroomschema een strategie aangereikt voor het bereiken van een goed evenwicht tussen binnenmilieukwaliteit en een rationeel gebruik van energie in gebouwen, zie tabel 1.

CONCLUSIES

- Gebouwen vertonen complexe interacties tussen verschillende eisen,

bijv. uit Bouwbesluit, Arbowet en EPN, en subsystemen zoals installaties voor verwarmen, ventileren en koelen. Daarom moet ervoor worden opgepast dat veranderingen aan één aspect van de gebouwprestatie (bijv. EPC) een averechts effect hebben op andere gebouwprestaties als bijv. temperatuuroverschrijding in de zomer of verslechtering van de luchtkwaliteit.

- In de praktijk kunnen in gebouwen

Invloeden op het binnenmilieu	Opmerkingen
Vraagt meer aandacht voor individuele instelbaarheid door bewoners.	Let op acceptatie door bewoners.
Blootstelling aan wind kan mate van infiltratie beïnvloeden.	In stedelijke gebieden letten op 'recht' van zonlichttoetreding (Vb. Gem. Den Haag).
Gebouwen met zuidoriëntatie veroorzaken minder oververhittingsproblemen en last van direct zonlicht dan die met west/oost oriëntatie. Openingen gelegen op overheersende windrichting kunnen de variaties in de mate van infiltratie doen toenemen.	Toepassing van zonwering op het zuiden is voor de meesten een uitgemaakte zaak. Let op ongewenste beschaduwing van stedelijke obstakels.
Te kleine ruimten kunnen een negatieve invloed hebben op de comfortbeleving.	Het is van belang om de energiegebruiken en het binnenmilieu het hele jaar door te beschouwen.
Een goed ontworpen gevel zal het thermisch comfort verbeteren, tocht en verblinding vermijden en regeling van de binnenluchtkwaliteit mogelijk maken.	Goed gevelontwerp is topprioriteit bij nieuwbouw en renovatie.
Grote thermische massa verbetert het thermisch comfort in gebouwen voor continu gebruik door het afzwakken van temperatuurschommelingen.	Voor snel aanwarmen is meer geïnstalleerde verwamingscapaciteit nodig.
Grote ramen hebben een mogelijk negatieve invloed op het thermisch comfort vanwege stralingsasymmetrie en koudeval en lopen het gevaar van verblinding en oververhitting. Indien bedienbaar, dan mogelijkheid van individuele regeling en aanvullende ventilatie.	Innovatieve raam-ontwerpen (bijv. met ingebouwde regeling van infiltratie en warmte-uitwisseling) kunnen zowel het energiegebruik als de regeling van de binnenluchtkwaliteit verbeteren. Het risico op klachten is groter in ruimten waar ramen niet open kunnen.
ad a. onderdimensionering kan thermisch comfort beïnvloeden ad b. luchtverwarming kan van voordeel zijn voor beheersing kwaliteit binnenmilieu door geforceerde verse luchttoevoer doch kan negatief uitpakken als ventilatiesysteem niet goed ontworpen is of onderhouden wordt of kan worden.	Bij luchtverwarmingssystemen moeten de plaats van de luchttoe- en afvoeropeningen zorgvuldig worden vastgesteld om een goede ventilatie-effectiviteit te verkrijgen zonder tochtverschijnselen. Geplande overdimensionering i.v.m. flexibiliteit kan wenselijk zijn.

voorkomende verontreinigende stoffen van geval tot geval verschillen, zowel in soort als in concentratie.

Het is daarom praktisch vrijwel niet uitvoerbaar om voor elke situatie een gewenst ventilatieniveau te berekenen en te handhaven. De Arboret (Beleidsregel, 1997) geeft voor kantoorruimten een minimale luchtverversing aan van 30 m³/uur per persoon.

- Onderzoeken van Berg-Munch, Clausen en Fanger en van Cain e.a., in praktijkomstandigheden en in

proefkamers, laten zien dat bij een luchtverversing van 30 m³/uur per persoon, het percentage personen dat (bij binnenkomst van een vertrek) ontevreden is met de luchtkwaliteit ca. 20% bedraagt. Dit percentage neemt exponentieel af met toenemende luchtverversing per persoon tot ca. 10% ontevreden bij 60 m³/uur per persoon. Het is hierom dat in de SBR/ISSO-publikatie 354 gekozen is voor drie niveaus: 30 m³/uur per persoon (minder goed), 40 m³/uur per persoon (goed) en 60

m³/uur per persoon (zeer goed).

- Wordt roken toegestaan dan zouden, volgens Amerikaans onderzoek, bovengenoemde waarden nog eens moeten worden verdubbeld (uitsluitend op basis van hinder, niet op basis van gezondheid). De eerste energiebesparing begint daarom al met het voeren van een (anti) rookbeleid in kantoren.
- De genoemde luchtverversingshoeveelheden zijn niet echt 'hard', maar vormen wel een goede indicator. Om dus hoge ontevredenheidsper-

Gebouw/systeemkenmerken	Invloeden op energiegebruik	
Klimaatssystemen in gebouwen		
Natuurlijke toevoer in de gevel	Energie wordt bespaard wanneer i.p.v. gangbare roosters (elektronische) zelf-regelende ventilatieroosters worden toegepast, waarmee ventilatielucht zo hoog mogelijk in de vertrekken of boven het verlaagd plafond wordt ingebracht.	
Mechanische toe- en afvoer	In principe beter beheersbare luchtstromen; wtw mogelijk uit afvoerlucht, ook mogelijk in combinatie met warmtepomp.	
Vraaggestuurde ventilatie	Door het aanpassen van de ventilatie aan de werkelijke behoeften, kan het energiegebruik worden gereduceerd.	
Verhoogde ventilatie-effectiviteit	Vermindert benodigde verse lucht voor gewenste kwaliteit.	
Warmteterugwinning bij mechanische ventilatie	Reduceert energiebehoefte door warmteterugwinning uit afvoerlucht. Gewenst filter voor warmtewiel, i.v.m. behoud efficiëntie en luchtkwaliteit, kost extra energie.	
Vrije koeling	Bespaart energie	
Airconditioning (mech. ventileren, filteren, verwarmen, koelen en al of niet bevochtigen van de toevoerlucht)	Vraagt meer energie dan natuurlijke ventilatie en vereist zorgvuldig ontwerp, beheer en onderhoud.	
Plaats van luchttoevoer en -afvoer in de vertrekken	Slechte plaats kan ventilatie-effectiviteit verminderen en ventilatiebehoefte doen toenemen.	
Plaats van luchttoevoer en -afvoer van klimaatinstallatie	Afvoer kan worden benut voor warmteterugwinning.	
Vermijden/Beheersen van verontreinigingsbronnen		
Keuze van laag (niet) emitterende materialen, processen en apparatuur	Bespaart energie door geringere ventilatiebehoefte.	
Bronafscherming of onderbrenging in afgescheiden ruimten of compartimenten	Beperkt energieverliezen voortkomend uit hoge ventilatiebehoeften.	
Beheer/bediening en onderhoud		
Testen, afstellen en inregelen van: a. luchtverwarmings / koelsystemen b. waterverwarmings / koelsystemen	Vermijd onnodige thermische energieverliezen.	
Aanpassen van temperatuursetpoint in niet bezette ruimten/perioden	Verlagen van de temperatuur in het verwarmingsseizoen en verhogen wanneer koeling vereist is kan energie besparen.	
Keuze van verschillende instelwaarden van • temperatuur • vochtigheid (indien geregeld) gedurende verwarmings- en koelperioden	Verlagen van de instelwaarden van temperatuur en luchtvochtigheid tijdens de verwarmingsperiode en verhogen ervan tijdens de koelperiode kan energie besparen.	
Recirculatie van ventilatielucht	Kan energie besparen. Van toepassing bij opwarmen van het gebouw, tot aan één uur voor de verblijftijd.	
Periodiek onderhoud en reiniging	Van groot belang voor het handhaven van energetische en functionele efficiëntie van klimaatssystemen. Voorkomt belangrijke onnodige energieverliezen.	

Invloeden op het binnenmilieu

Opmerkingen

Goed ontworpen systemen zullen luchtkwaliteit en thermisch comfort verbeteren.
Tocht moet worden vermeden.

Niet geschikt voor gebieden met hoge buitenluchtverontreiniging en hoge geluidsbelasting. Zorg voor te openen ramen voor snelle doorspoeling. Bij hoge in- en externe warmtelast kan mech. koeling noodzakelijk zijn.

Kan luchtkwaliteit verbeteren door lokaal toegepaste of verhoogde ventilatie waar sterke verontreinigingsbronnen e/o vocht aanwezig zijn.

Luchtbehandelingsinstallatie mag zelf geen hinderlijke bron van verontreiniging of geurafgifte zijn. Dit stelt eisen aan ontwerp en onderhoud [12].

Neutraal t.a.v. luchtkwaliteit indien juist ontworpen, toegepast en onderhouden.

Verdere ontwikkeling van praktische uitvoeringsvormen en van luchtkwaliteitssensoren is gewenst.

Verbeterde luchtkwaliteit door verbeterde uniformiteit. Toevoer waar nodig.

Verdringsventilatie (luchtstroming van onder naar boven).

Voorverwarmen van toevoerlucht verbetert thermisch comfort (bij eenvoudige installaties).
Filter in retourcircuit of voor warmtewiel (bijv. klasse F7/F8) is vereist voor goede luchtkwaliteit.

Overdracht van verontreinigingen uit afvoerlucht naar toevoerlucht moet worden vermeden, bijv. door overdrukregime toevoerlucht t.o.v. afvoerlucht en filter voor warmtewiel.

Kan binnenluchtkwaliteit verbeteren door meer verse buitenlucht te benutten.

Hierbij wordt koudere buitenlucht benut.

Goed ontworpen, geïnstalleerde, ingeregelde en onderhouden systemen dragen bij aan verbeterd thermisch comfort en binnenluchtkwaliteit.

Koeltorens, bevochtigers, condensaatopvangbakken kunnen problemen geven met micro-organismen [12].
Mogelijkheid van individuele temperatuurregeling is gewenst.

Slechte plaats kan concentratie binnenluchtverontreiniging doen toenemen en discomfort veroorzaken.

Aan plaats van luchttoevoer worden in het Bouwbesluit eisen gesteld v.w.b. verstoring van het comfort.

Luchtinlaten nabij bronnen van verontreinigingen zullen problemen met de binnenluchtkwaliteit veroorzaken.

Voldoe tenminste aan de eisen van het Bouwbesluit.

Verbetert binnenluchtkwaliteit.

Classificatie en ontwerprichtlijnen zijn gewenst.
Informatie is niet altijd aanwezig. Er moet om worden gevraagd.

Zorgt voor reductie van luchtverontreiniging, verontreinigde gebieden en blootstelling van de mens.

In 't bijzonder van belang voor beheersing van tabaksrook (liever nog door middel van een niet-roken beleid)

a. Voorziet in passende binnenluchtkwaliteit als ontwerppluchthoeveelheden naar alle gebieden/ruimten verzekerd zijn, en in passend comfort als tocht is vermeden.
b. Voorziet in passend thermisch comfort; individuele regeling is bij watersystemen gemakkelijker.

Testen, afstellen en inregelen is geen compensatie voor een slecht ontwerp.
Wel noodzakelijk om max. rendement en comfort uit installatie te halen.

Risico van thermisch onbehagen in geval van onjuiste keuze van begin en eindtijd van setpointaanpassing.

In sommige gevallen verhoogd risico van condensatie en schimmelgroei.

Thermisch comfort blijft behouden als de combinatie van temperatuur en luchtvochtigheid binnen geaccepteerde grenzen blijft. Bij lagere luchttemperaturen wordt veelal een betere luchtkwaliteit ervaren (Bronsema [13]).

Rekening houdend met de verschillende kleedgewoonten in winter en zomer, kan de beschreven aanpassing zelfs het comfort verhogen.

Kan binnenluchtkwaliteit doen verslechteren.

Controleer of nog voldaan wordt aan vereiste minimum hoeveelheid verversingslucht (30m³/h per persoon, voor kantoorruimten).
Pas goed filter (F7/F8) toe in retourcircuit.

Voorkomt dat klimaatsystemen zelf een bron van verontreiniging worden.
Van groot belang voor het handhaven van de ontwerppluchthoeveelheden en voor het tegengaan van filterdoorslag.

Gebruik laag-emitterende schoonmaakmiddelen om binnenluchtproblemen te voorkomen.
Het gebruik van biociden en waterontharders voor het onderhoud van be/ontvochtigingssystemen kan binnenluchtproblemen veroorzaken.
Efficiënt onderhoud vereist duidelijke onderhoudsschema's en instructies.

centages te voorkomen, moet een minimum van 30 m³/uur per persoon beslist niet worden overschreden.

- De ondergrens van 30 m³/uur per persoon geeft dus tevens het maximale besparingspotentiël op de ventilatieverliezen aan (afgezien van mogelijke warmteterugwinning uit de ventilatielucht).
- Dé aangewezen manier om ventilatie-eisen te reduceren en daarmee het energiegebruik is, ten eerste: bronbestrijding en ten tweede: bronbeheersing, d.w.z. het tegengaan of verminderen van onnodig verontreinigende bronnen.
- Bij het positief waarderen in de EPC-berekening van terugregeling van de buitenluchttoevoer zijn de volgende drie aandachtspunten (waarschuwingen) op hun plaats: 1. Controleer bij recirculatie of terugregeling van het ventilatiedebiet of de minimale luchtverversing van 30 m³/uur per persoon (voor kantoren) niet wordt overschreden. 2. Bedenk dat bij recirculatie de kwaliteit van de binnenlucht achteruit kan gaan. De kwaliteit van de retourlucht kan worden verbeterd door een filter van hoge kwaliteit (minstens F7/F8) in het retourcircuit op te nemen. Door de hogere weerstand van dit filter kost dit evenwel extra energie. 3. Besteed aandacht aan de werking van het inblaasornament bij terugregeling van het debiet.
- Het terugregelen (beter: het op de vraag afstemmen) van het ventilatiedebiet is zeer wel denkbaar voor grote bijeenkomstruimten (vergaderzalen, auditoria, collegezalen, in 't algemeen die ruimten waar veel mensen in wisselende aantallen aanwezig zijn). Doch ook voor kantoorruimten die tijdelijk onbezet zijn. Deze zgn. vraaggestuurde ventilatie kan door een CO₂-sensor worden aangestuurd. Aanbevolen wordt dan ook verdere ontwikkeling van vraaggestuurde ventilatie en van betere luchtkwaliteitssensoren.
- Eén van de mogelijkheden om te voldoen aan de scherpere EPC-eisen is verhoging van de isolatiewaarde van de gevel en van het dak en het toepassen van meervoudige of hoogrendementsbeglazing. Hierdoor komt warmte van buiten moeilijker naar binnen. Maar warmte die eenmaal binnen is, kan evenzo weer moeilijker

naar buiten. In de zomer stijgt hierdoor de kans op overschrijding van de gewenste binnentemperatuur. Een eerste toetsing op deze kans kan worden uitgevoerd met bijv. ISSO-publicatie 37. Een nauwkeurige berekening van het aantal uren dat een gewenst temperatuurniveau wordt overschreden, moet vóór het definitief ontwerp worden gemaakt. Deze toets is dus, los van de EPC-berekening, altijd nodig om vast te stellen of een gewenst thermisch binnenklimaat wordt gehaald.

- Een groot aantal factoren speelt een rol bij het realiseren van een gezond en comfortabel binnenmilieu met een minimum aan energiegebruik. Naast het belangrijke aspect ventilatie zijn dit aspecten van het gebouw, zoals: de daarin gehuisveste organisatie, de locatie, de oriëntatie, het ontwerp en de constructie, alsmede aspecten van het klimatiseringssysteem, zoals: de keuze van het systeem met bijv. al of niet warmteterugwinning, recirculatie of bevochtiging. Deze aspecten verdienen aandacht vanaf het Programma van Eisen (PVE), tijdens het ontwerp tot aan beheer en onderhoud. In het artikel worden in tabelvorm een twintigtal kenmerken van gebouw en klimaatinstallatie genoemd, en hun invloed op zowel energiegebruik als de kwaliteit van het binnenmilieu. Door de invloeden van deze kenmerken in acht te nemen zijn er genoeg mogelijkheden om aan de voorgenomen aan te scherpen energieprestatie-eisen te voldoen zonder afbreuk te doen aan de kwaliteit van het binnenmilieu.
- Daarnaast wordt, in de vorm van een stroomschema, een strategie aangegeven voor het bereiken van een goed evenwicht tussen binnenmilieukwaliteit en een rationeel gebruik van energie in gebouwen.

LITERATUUR

1. Meyer, J., Kleuters, R., Weersink, A. *EPN normen en consequenties voor bouwpraktijk*. BouwAdviseur 4, 1999, p. 18-20.
2. NEN 2916, *Energieprestatie van utiliteitsgebouwen*. Bepalingsmethode. 3^e druk, december 1998.
3. Beleidsregels arbeidsomstandighedenwetgeving, *Beleidsregel 6.2 Luchtverversing*. Arbo / AIS 970

1436, 27 juni 1997.

4. Bouwman, H.B. *Onderzoek naar minimum verse luchttoevoer*. ISSO Research Rapport 1, 1981.
5. Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, Report No. 11. European Concerted Action Indoor Air Quality & its impact on man. EUR 14449 EN, 1992.
6. Jansen, J.E. *Working with ANSI / ASHRAE Standard 62-1989*. ASHRAE Journal, August 1992.
7. SBR/ISSO publikatie 354. *Binnenmilieufactoren voor kantoren*/rapporteurs C.W.J. Cox, M. Rolloos – Rotterdam, Stichting Bouwresearch, 1995.
8. Rolloos, M. *Luchtspreiding bij variabel volume systemen*. Klimaatbeheersing 5 (1976) nr.2 (februari), p.75-81.
9. ISSO-publicatie 37, *Energiewijzer kantoren*. ISSO, Rotterdam, 1995.
10. Bronsema, B. *Luchtbevochtiging - van de regen in de drup?* TVVL Magazine 7, 1997, p.10-14.
11. *Praktijkboek Gezonde Gebouwen*. Uitg. SBR Kennisoverdracht BV, Rotterdam, 1997.
12. Rolloos, M. en R. W. Lanting. *Gezonde klimaatinstallaties*. Klimaatbeheersing, december 1989, nr.12, p.418-429.
13. Bronsema, B. *Waar het warm is stinkt het: Dus houd het koel*. TVVL Magazine 5-13 en 6-35, 1994.