

Energiezuinigheid kan samen met gezond binnenklimaat

Jan Peter Pols,

Machiel Karels,

Gert Harm ten Bolscher

Onderzoeken tonen aan dat er een directe relatie is tussen de binnenmilieukwaliteit in kantoren en het welbevinden van gebruikers. Recent internationaal literatuuronderzoek heeft aangetoond dat gezondheidsbevorderende maatregelen in twee van de drie gevallen ook een positieve invloed hebben op de energieprestatie [1].

In opdracht van SenterNovem is een praktijkonderzoek uitgevoerd in bestaande kantoren om inzicht te krijgen in de samenhang tussen energiebesparende maatregelen en de binnenmilieukwaliteit. Hiervoor zijn tien kantoorgebouwen geselecteerd, waarvan bekend is dat dit energiezuinige gebouwen zijn en waarvan wordt verwacht dat zij ook goed presteren ten aanzien van de kwaliteit van het binnenmilieu. Het onderzoek is dus bedoeld om op basis van meetgegevens aan te tonen dat in voorbeeldgebouwen energiezuinigheid en een goed binnenmilieu samen op kunnen gaan.

Tegelijkertijd is ook geïnventariseerd waarom, in de optiek van de betrokkenen, het gebouw een succes is geworden (succesfactoren) en welke aspecten kunnen leiden tot een minder positief eindresultaat.

ONDERZOEK VOORBEELDGEBOUWEN

De volgende voorwaarden zijn gedefinieerd om te bepalen welke gebouwen in het onderzoek konden worden opgenomen:

- het gebouw moet bekend staan als energiezuinig (meer dan 10 procent zuiniger gebouwd dan de Bouwbesluit-norm);
- het gebouw moet bekend staan om het goede binnenklimaat (geluiden vanuit de markt, artikelen enzovoorts).

Vervolgens is gezocht naar een mix van gebouwen met aandacht voor de volgende kenmerken: bouwgrrootte, type warmte- en koudeopwekking, bouwconstructie, type afgiftesysteem en type eigenaar. In totaal zijn zo vanuit een groenlijst tien kantoorgebouwen voor het onderzoek geselecteerd. De volgorde van de gebouwen correspondeert niet met de nummering, zoals in het vervolg van het artikel wordt gebruikt. Hiervoor is in overleg met de gebouwge-

naren gekozen, gezien de vertrouwelijke informatie die beschikbaar is gesteld.

In deze gebouwen zijn opnamen en metingen uitgevoerd en enquêtes gehouden. Vervolgens is nagegaan of er causale, dan wel andere verbanden zijn tussen energiebesparende maatregelen, het energiegebruik en de kwaliteit van het binnenmilieu.

Voor het praktijkonderzoek (voorjaar 2008) is van verschillende onderzoeksmethoden gebruikgemaakt. Eerst zijn gebouwopnamen gedaan en interviews gehouden. Gelijktijdig zijn momentane binnenmilieumetingen verricht. Bovendien is aan de gebruikers van een gebouw om hun mening gevraagd over het binnenmilieu en zijn duurmetingen uitgevoerd.

Om na te gaan of een gebouw ook werkelijk energiezuinig is en als gezond mag worden aangemerkt, zijn toetsingscriteria voor energiegebruik en binnenmilieu gehanteerd die aansluiten bij gangbare beoordelingscriteria.

GEBOUWOPNAMEN

Voor de gebouwopnamen is een standaardinvullijst ontwikkeld. Zo kon een gebouw op gestructureerde manier in kaart worden gebracht. In dit deel van het onderzoek zijn algemene gebouwkenmerken, zoals bruto vloeroppervlak, type warmteopwekking en energiegebruik, in kaart gebracht. Aan de hand van de zo verkregen gegevens, is de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) bepaald. Bovendien is tijdens de gebouwopname een interview met de beheerder gehouden over ervaringen in het bouwproces en over succesfactoren. De invullijst is opgesteld volgens het handboek 'Gezondheidskaart'. Dit handboek is voor woningen opgesteld in opdracht van het ministerie van Vrom. Niet alle onderdelen van de Gezondheidskaart zijn daarom toepasbaar voor kantoren. Er is een selectie toegevoegd van onderwerpen die relevant zijn voor de kwaliteit van het binnenmilieu in kantoorgebouwen.

Uit de gegevens van de gebouwopname is ook het primaire energiegebruik per m² berekend. Het totaal aan gas- en elektriciteitsverbruik is omgerekend naar primaire energie per m² bruto vloeroppervlak (G_{prim}/m² bvo). Dit is als indicator voor de energie-efficiëntie van een gebouw gehanteerd.

In dit eerste artikel van een serie van drie worden de resultaten van het onderzoek (opnamen, metingen en enquêtes) gepresenteerd. In het tweede artikel zal aandacht worden geschonken aan de succesfactoren en aandachtspunten.

ENQUÊTE

Per gebouw is een schriftelijke enquête gehouden onder maximaal 25 gebruikers om een goed beeld te krijgen van de beleving van de gebruikers. Deze vragenlijsten zijn op de dag van de gebouwopname willekeurig verspreid onder de gebruikers.

De vragen behandelen onder andere de volgende onderwerpen:

- persoonlijke gegevens (leeftijd, grootte van de werkruimte, aantal mensen in de ruimte enzovoorts);
- de ervaren luchtkwaliteit en het thermisch en visueel comfort in de winter- en zomersituatie;
- de ervaren kwaliteit van het akoestische comfort;
- persoonlijk welbevinden (klachten over bijvoorbeeld prikkelende ogen of een verstopte neus).

METINGEN

In de verschillende gebouwen is een aantal metingen verricht om een objectieve beoordeling te kunnen geven over de kwaliteit van het binnenmilieu. Hierdoor komen gegevens beschikbaar die een indicatie geven van wat in technisch opzicht bereikt is. In combinatie met de resultaten van de enquête, geven zij inzicht in welke mate aan de behoeften van de gebruiker is voldaan of wordt voldaan.

De metingen zijn uitgevoerd in drie karakteristieke vertrekken van een gebouw. Er is gemeten in twee willekeurige vertrekken en in één vertrek dat door de gebruikers als 'slecht' wordt ervaren wat betreft de kwaliteit van het binnenmilieu. De volgende binnenmilieugerelateerde aspecten zijn gemeten:

1. geluidsdrukniveau en nagalmtijd;
2. capaciteit van de mechanische ventilatie;
3. luchtsnelheid en veranderlijkheid in verband met de kans op toechthinder;
4. daglichttoetreding en lichtsterkte;
5. CO₂-concentratie;
6. luchttemperatuur en luchtvochtigheid.

Meting 5 en 6 zijn uitgevoerd door gedurende minimaal een week de drie karakteristieke vertrekken in de gebouwen te monitoren met een datalogger. De overige metingen zijn gedaan tijdens de opname van het gebouw (momentane metingen).

TOETSINGSCRITEIA

Vanuit de gebouwopname is het primaire energiegebruik per m² als toetsingskader gehanteerd. Het totale gas- en elektriciteitsverbruik, omgerekend naar primaire energie per

	Verbetering productiviteit	Vermindering ziekteverzuim
binnenmilieu als geheel goed	10 – 15 %	2,5 procentpunt
geen luchtvervuilingsbron	3 – 7 %	1,5 procentpunt
voldoende ventilatie	1 – 2 %	0,5 procentpunt
temperatuur regelbaar	2 – 3 %	0,5 procentpunt
temperatuur niet te hoog / te laag (tussen 20 – 25 °C)	7 %	-
kamerkantoor (in plaats van kantoorruimte)	2 – 4 %	vermindering
goede verlichting	2 – 3 %	-
daglichttoetreding	-	0,5 procentpunt
minder geluidshinder	3 – 9 %	-
beheersing luchtkwaliteit (CO ₂ -gehalte)	1 – 5 %	onbekend

Tabel 1. Kengetallen voor effecten van het binnenmilieu in kantoren op het menselijk welbevinden [4].

Gebouwnaam	Plaats
stadsdeelkantoor Amsterdam-Noord	Amsterdam
Melexis	De Meern
hoofdkantoor Vopak	Rotterdam
waterschapskantoor Rivierenland	Tiel
stadskantoor Gemeente Goes	Goes
Rijkswaterstaat	Terneuzen
uitgeverij Kluitman	Alkmaar
stadskantoor Breda (Gebouw B)	Breda
hoofdkantoor Facicom Services Group	Schiedam
Thermo-Staete	Bodegraven

Tabel 2. Onderzochte kantoorgebouwen.

bvo/m ²	gas m ³ /m ²	elektriciteit kWh/m ²	GJ/m ²
500 – 10.000 m ²	13	85	1,242
> 10.000 m ²	10	79	1,081

Tabel 3. Kengetallen energiegebruik (mediane waarde).

m² bebouwd bruto vloeroppervlak (GJ_{prim}/m² bvo), is de indicator voor de energie-efficiëntie van het gebouw.

In de brochure 'Cijfers en tabellen' [3] zijn kengetallen gegeven voor het energiegebruik van kantoren in GJ/m² bvo. Daarbij wordt voor kantoren een onderscheid gemaakt in bruto kantooroppervlak. Grotere kantoren gebruiken per m² minder energie dan de wat kleinere.

Het 'Praktijkboek Gezonde Gebouwen' [4] geeft prestatie-eisen voor het binnenmilieu. Hierbij wordt een classificatiesysteem gehanteerd met drie klassen: A, B en C. Daaraan is een



	klasse A		klasse B		klasse C		klasse D
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
temperatuur winter (°C)	20	22	20	22	19	23	< 19 of > 23
relatieve vochtigheid winter (%)	40	60	30	70	20	90	< 20 of > 90
CO ₂ -ventilatie (ppm)	0	799	800	999	1000	1200	> 1200
lichtsterkte (lux)	501	1000	301	500	0	300	0
installatiegeluid (dB(A))	0	25	25,1	30	30,1	35	> 35
nagalmtijd (s)	0,6	0,8	0,4	0,9	0,2	1,0	< 0,2 of > 1,0
tocht winter (m/s)	0,16	0,19	0,2	0,22	0,23	0,5	> 0,5

klasse A = goed 8,5,
klasse B = voldoende 7,0,
klasse C = acceptabel 5,5,
lager dan klasse C = matig 3,5

Tabel 4. Prestatie-eisen binnenmilieu.

Kantoornummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EPC	0,98	0,63	0,70	1,20	1,09	0,78	0,77	0,70	1,38	0,60
energiegebruik GJ/m ²	0,88	0,47	onbekend	1,01	0,70	0,45	onbekend	1,18	1,09	0,52
besparing t.o.v. toetsingscriteria	19%	62%	-	6%	44%	64%	-	*	0%	52%
cijfer energie-efficiëntie	5,9	8,1	-	5,3	7,2	8,2	-	4,5	5,0	7,6

* hoger energiegebruik van 9 procent (door inregelproblemen na ingebruikname)

Tabel 5. Energiegebruik onderzochte kantoren.

binnenmilieu parameter	binnenmilieu klasse	cijfer
temperatuur	A	8,5
relatieve vochtigheid	C	5,5
CO ₂ -concentratie	C	5,5
lichtsterkte	A	8,5
tocht	A	8,5
geluidsdruk	C	5,5
nagalmtijd	C	5,5
totaal		47,5
gemiddeld cijfer		47,5 : 7 = 6,8

Tabel 6. Voorbeeld uitwerking kantoor 1.

kantoor nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cijfer binnenmilieukwaliteit	6,8	6,6	6,6	6,3	6,3	5,6	5,6	7,0	5,9	6,6

Tabel 7. Waardering binnenmilieu op basis van momentane metingen.

klasse D toegevoegd. Aan alle vier de binnenmilieuklassen is in het kader van het onderzoek een cijfer toegekend. Op deze manier is het mogelijk gebouwen te vergelijken op de aspecten: temperatuur in de winter; relatieve vochtigheid in de winter; CO₂-concentratie (een maat voor de kwaliteit van de ventilatie), hinder door installatiegeluid, de nagalmtijd en tocht in de winter. In het praktijkboek wordt klasse B als criterium gehanteerd voor een kantoor met een goed binnenmilieu.

ENERGIEGEBRUIK

De resultaten van het werkelijke energiegebruik van de kantoren zijn in tabel 5 weergegeven. Vergelijking van de resultaten met de toetsingscriteria laat zien dat de meeste geselecteerde kantoren inderdaad energiezuinig mogen worden genoemd. Ten opzichte van de toetsingscriteria zijn de besparingen soms aanzienlijk, tot wel 64 procent. Volledigheidshalve is ook van elk kantoor de berekende EPC vermeld. Hoewel over het algemeen een lage EPC ook zal leiden tot een laag energiegebruik, laten de resultaten van kantoor 5 zien dat dit niet noodzakelijkerwijze opgaat. Zeer waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een actief en gedragen beleid binnen de betreffende organisatie om op een verantwoorde manier om te gaan met energie.

BINNENMILIEU – MOMENTANE METINGEN

In de kantoren zijn tijdens de gebouwopnamen momentane metingen verricht. Aanvullend daarop hadden duurmetingen plaats. Op deze manier kan worden nagegaan of een momentane waarneming slechts een tijdelijke conditie laat zien en of dat dit ook op wat langere termijn door waarnemingen wordt ondersteund.

De resultaten zijn per kantoor beoordeeld en getoetst aan de criteria voor het binnenmilieu. Daarbij is de klasse-indeling van A tot en met D gehanteerd, met het daaraan toegekende cijfer (voor klasse A een 8,5, voor klasse B een 7,0, voor klasse C een 5,5 en 3,5 voor klasse D). De resultaten zijn per binnenmilieuparameter bepaald (temperatuur, relatieve vochtigheid et cetera), bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal parameters. Dit levert een gemiddeld cijfer op voor de binnenmilieukwaliteit.

Op deze manier zijn de resultaten van de momentane binnenmilieumetingen in de kantoren tot stand gekomen (zie tabel 7).

Op basis van tabel 7 lijkt de kwaliteit van het binnenmilieu elkaar niet veel te ontlopen in de betreffende kantoren. Maar er zijn wel verschillen in scores op de verschillende binnenmilieugerelateerde parameters.

Vaak blijkt dat de gemeten binnentemperatuur in de kantoren hoger is dan 22 °C en het gemeten geluidsniveau dat door installaties wordt veroorzaakt, hoger is dan 30 dB(A). Slechts één kantoor, nummer 8, voldoet aan binnenmilieuklasse B, maar van dat gebouw is de nagalmtijd niet bekend. Een cijfer van 5,5 is de ondergrens voor binnenmilieuklasse C.

BINNENMILIEU - DUURMETINGEN

Gedurende minimaal een week zijn de CO₂-concentratie, de relatieve vochtigheid en de binnentemperatuur gemeten. Naar aanleiding van de duurmetingen vallen drie aspecten op.

1. De CO₂-concentratie overschreed tijdens de meettijd nooit de waarde van 1.000 ppm. Daarmee wordt voldaan aan binnenmilieuklasse B voor 'gezonde' kantoren. De CO₂-concentratie is een belangrijke indicator voor de mate van ventilatie.
2. In een aantal kantoren werd tijdens de meettijd de grens voor de relatieve vochtigheid van 30 – 70 procent overschreden. De grens van 30 – 70 procent relatieve vochtigheid voldoet aan binnenmilieu klasse B. Vijf van de tien kantoren hebben gedurende een langere tijd een relatieve vochtigheid in de bandbreedte van 20 – 90 procent, wat overeenkomt met binnenmilieu klasse C. In twee kantoren is zelfs aan binnenmilieu klasse C gedurende langere tijd niet voldaan.
3. Geen enkel kantoor voldeed tijdens de metingen geheel aan een binnentemperatuur tussen 20 en 22 °C. De binnentemperatuurrange van 19 – 23 °C werd zelfs nog veelvuldig overschreden. Een binnentemperatuur van 20 – 22 °C voldoet aan binnenmilieuklasse A en B. Een binnentemperatuur van 19 – 23 °C is klasse C.

Gezien de relatief geringe verschillen en het feit dat duurmetingen moeilijker zijn te vertalen naar concrete vergelijkingscijfers – hoe kan het effect van bijvoorbeeld punt 2 worden vertaald in een vergelijkingsgetal? – is ervoor gekozen de resultaten van deze metingen niet te transformeren naar cijfers, zoals voor de andere onderzoeksitems wel is gebeurd.

BINNENMILIEU – WAARDERING GEBRUIKERS

Per gebouw is een schriftelijke enquête gehouden onder maximaal 25 gebruikers om een goed beeld te krijgen van de beleving van de gebruikers. De resultaten daarvan staan in tabel 8. Per kantoor zijn de beoordelingscijfers van de respondenten bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal onderwerpen waarover een oordeel is gevraagd. Zo is het

kantoornummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
oordeel gebruikers over het binnenmilieu										
in de zomersituatie										
temperatuur	7,6	6,3	6,3	6,4	5,3	7,7	5,5	-	7,4	8,1
luchtkwaliteit	6,0	5,7	6,1	4,8	5,0	5,0	6,0	-	6,6	6,5
licht	7,7	7,6	7,3	8,0	7,9	8,2	7,0	-	8,4	8,2
in de wintersituatie										
temperatuur	6,6	4,1	6,5	5,6	5,6	7,0	5,3	-	6,5	7,6
luchtkwaliteit	6,2	5,8	6,5	4,6	5,5	5,4	5,3	-	6,8	6,2
licht	7,2	7,4	7,3	8,1	7,7	7,9	6,6	-	8,2	7,9
overige beoordelingsaspecten										
geluid	6,9	7,7	5,7	6,0	7,4	7,9	6,0	-	7,3	7,2
persoonlijke beïnvloeding	4,0	2,7	4,2	2,6	4,5	2,2	1,3	-	4,7	3,7
algemeen oordeel gebruiker	6,4	5,7	6,3	5,3	6,1	6,6	4,5	-	6,7	7,0
eindcijfer binnenmilieu	6,5	5,9	6,2	5,7	6,1	6,4	5,3	-	7,0	6,9

Tabel 8. Waardering door gebruikers.

eindcijfer voor de waardering van het binnenmilieu in de kantoren tot stand gekomen.

Het valt op dat de mogelijkheid tot persoonlijke beïnvloeding van het binnenmilieu erg laag scoort. Omgekeerd zou hiervan kunnen worden afgeleid dat er in de onderzochte kantoren veel meer behoefte bestaat om zelf het binnenmilieu te kunnen beïnvloeden. Ook wordt de luchtkwaliteit niet erg hoog beoordeeld en de verlichting wordt bijna altijd met een cijfer van 7 of hoger gewaardeerd.

BEOORDELING

Om het energiegebruik en het binnenmilieu van de kantoren met elkaar op eenzelfde manier te kunnen vergelijken, is ervoor gekozen de resultaten te vertalen naar een cijfer op een schaal van 5 tot 10. Aan de laagste score is een cijfer 5 toegekend en aan de hoogste een 10. Tussenvallende scores zijn daarvan afgeleid. Wat betreft de score voor energie-efficiëntie is de prestatie van kantoor 9 als uitgangspunt gebruikt. Dit kantoor scoort niet beter dan het gemiddelde volgens het toetsingscriterium. Aan kantoor 9 is een cijfer 5 toegekend. Naarmate de besparing ten opzichte van de toetsingscriteria toeneemt, is het cijfer hoger. Zo leidt een besparing van 19 procent tot een cijfer $5 + 5 \times 0,19 = 5,95$. Zo is steeds voor elk item (energie-efficiëntie, gemeten kwaliteit binnenmilieu en de waardering van het binnenmilieu door de gebruikers) de laagste en de hoogste waarde bepaald, deze kantoren scoorden op het betreffende item vervolgens een



kantoornummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
energie-efficiëntie										
besparing t.o.v. toetsingscriteria	19 %	62 %	-	6 %	44 %	64 %	-	-9 % *	0 %	52 %
cijfer energie-efficiëntie	5,9	8,1	-	5,3	7,2	8,2	-	4,5	5,0	7,6
cijfer op schaal 5 – 10	6,9	9,9	-	6,1	8,6	10	-	5,0	6,5	9,2
binnenmilieu (metingen)										
cijfer binnenmilieukwaliteit	6,79	6,57	6,57	6,29	6,29	5,57	5,57	7,00	5,93	6,57
cijfer op schaal 5 – 10	9,3	8,5	8,5	7,5	7,5	5,0	5,0	10	6,3	8,5
waardering binnenmilieu door gebruikers										
cijfer binnenmilieukwaliteit	6,5	5,9	6,2	5,7	6,1	6,4	5,3	-	7,0	6,9
cijfer op schaal 5 – 10	8,7	6,7	7,9	6,3	7,5	8,4	5,0	-	10	10
* hoger energiegebruik van 9 procent										

Tabel 9. Totaal beoordeling.

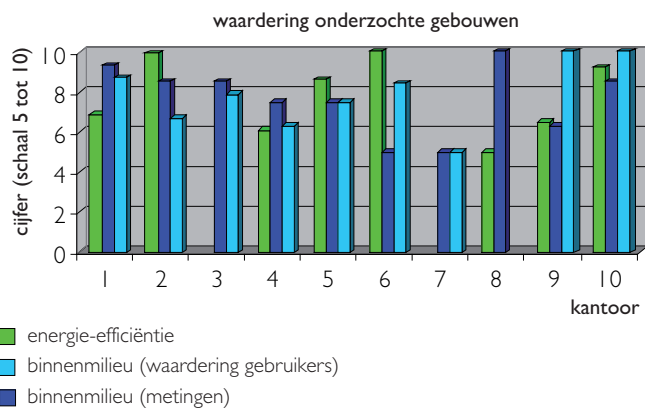
'rapportcijfer' 5 respectievelijk 10. De andere waarderingen kregen een 'rapportcijfer' tussen 5 en 10. De resultaten van deze rekenexercitie zijn weergegeven in tabel 9.

In afbeelding 1 is voor elk onderzocht kantoor het cijfer weergegeven voor de energie-efficiëntie, de binnenmilieukwaliteit (gemeten) en de waardering van het binnenmilieu door gebruikers. De grafiek laat zien dat een hoge mate van energie-efficiëntie en een goed binnenmilieu samen gaan in de kantoren 1, 2, 5 en 10. Het is dus goed mogelijk energie-zuinige kantoren te ontwerpen met een goede binnenmilieukwaliteit. Daarnaast is te zien dat de score op het aspect van de gemeten binnenmilieukwaliteit goed overeenkomt met de score op het aspect van de waardering daarvan (de kantoren met de nummers 1, 3, 5, 7, 9 en 10). In de grafiek is ook duidelijk de lage score te zien van kantoor 7 op zowel het aspect van het gemeten binnenmilieu als de waardering daarvoor door de gebruikers. Voor kantoor 7 zijn meting en

waardering overigens wel met elkaar in overeenstemming. Kantoor 6 heeft wel een relatief hoog cijfer voor de waardering van het binnenmilieu, maar opmerkelijk genoeg een laag cijfer voor de gemeten binnenmilieukwaliteit. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de betrokkenheid van de eindgebruikers bij het ontwerp van het pand.

Literatuur

- [1] Boerstra ir. A.C., Leijten drs. J.L., Haans drs. L., Literatuuronderzoek gebouwgebonden gezondheid, comfort, productiviteit en ziekteverzuim in relatie tot energiegebruik, BBA Binnenmilieu, Rotterdam, 2006.
- [2] Iiso-publicatie 75, Handleiding Energieprestatie advies utiliteitsgebouwen.
- [3] SenterNovem, Cijfers en tabellen 2007, 2007.
- [4] SBR en Iiso, serie Praktijkboek gezonde gebouwen, Rotterdam, ISBN 90-5367-350-4.
- [5] Rehva handleiding nr. 6, Binnenmilieu en productiviteit in kantoren, 2007, ISBN 978-90-5044 150-6.
- [6] SBR en Iiso, Binnenmilieufactoren voor kantoren, ISBN 90-5367-153-6.



1. Energie versus gemeten binnenmilieukwaliteit in de onderzochte kantoren.

Auteurs

Ing. Jan Peter Pols, ing. Machiel Karels en ir. Gert Harm ten Bolscher, DWA installatie-energieadvies.