

**BBA BINNENMILIEU**

**Literatuuronderzoek gebouwgebonden  
gezondheid, comfort, productiviteit en  
ziekteverzuim in relatie tot energiegebruik  
SenterNovem**

Onderzoekers: *ir. A.C. Boerstra  
drs. J.L. Leijten  
drs. L. Haans*

Periode onderzoek: *maart t/m juli 2006*

Datum rapportage: *15 september 2006*

Projectnummer: *06-017*

# INHOUD

|          |                                                                                                                                                                                               |          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>INLEIDING .....</b>                                                                                                                                                                        | <b>4</b> |
| <b>2</b> | <b>UITKOMSTEN LITERATUURONDERZOEK.....</b>                                                                                                                                                    | <b>8</b> |
| 2.1      | RAW & ROYS, 1990. FURTHER FINDINGS FROM THE OFFICE ENVIRONMENT SURVEY: PRODUCTIVITY .....                                                                                                     | 8        |
| 2.2      | WARGOCKI, 1998. HUMAN PERCEPTION, PRODUCTIVITY AND SYMPTOMS RELATED TO INDOOR AIR QUALITY .....                                                                                               | 10       |
| 2.3      | WYON, 2000. INDIVIDUAL CONTROL AT THE WORKPLACE: THE MEANS AND THE POTENTIAL BENEFITS .....                                                                                                   | 11       |
| 2.4      | WITTERSEH ET AL, 2002. THE EFFECTS OF MODERATE HEAT STRESS AND OPEN-PLAN OFFICE NOISE DISTRACTION ON OFFICE WORK .....                                                                        | 12       |
| 2.5      | WARGOCKI ET AL, 2003. CALL-CENTRE OPERATOR PERFORMANCE WITH NEW AND USED FILTERS AT TWO OUTDOOR AIR SUPPLY RATES .....                                                                        | 13       |
| 2.6      | SEPPÄNEN & FISK, 2005. INDOOR CLIMATE AND PRODUCTIVITY .....                                                                                                                                  | 14       |
| 2.7      | BAKÓ-BIRÓ, 2004. HUMAN PERCEPTION, SBS SYMPTOMS AND PERFORMANCE OF OFFICE WORK DURING EXPOSURE TO AIR POLLUTED BY BUILDING MATERIALS AND PERSONAL COMPUTERS .....                             | 15       |
| 2.8      | SEPPÄNEN ET AL, 2006. VENTILATION AND PERFORMANCE IN OFFICE WORK.....                                                                                                                         | 17       |
| 2.9      | TANABE, 2006. INDOOR TEMPERATURE, PRODUCTIVITY AND FATIGUE IN OFFICE TASKS .....                                                                                                              | 18       |
| 2.10     | LEVIN, 2006. ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE BUILDINGS .....                                                                                                            | 20       |
| 2.11     | MILTON ET AL, 2000. RISK OF SICK LEAVE ASSOCIATED WITH OUTDOOR AIR SUPPLY, HUMIDIFICATION, AND OCCUPANT COMPLAINTS.....                                                                       | 21       |
| 2.12     | PRELLER ET AL, 1990. SICK LEAVE DUE TO WORK-RELATED HEALTH COMPLAINTS AMONG OFFICE WORKERS IN THE NETHERLANDS .....                                                                           | 22       |
| 2.13     | LEIJTEN, 2006. 20 JAAR VELDONDERZOEK IN KANTOORGEBOUWEN .....                                                                                                                                 | 23       |
| 2.14     | MENDELL, 1993. NON-SPECIFIC SYMPTOMS IN OFFICE WORKERS: A REVIEW AND SUMMARY OF THE EPIDEMIOLOGICAL LITERATURE .....                                                                          | 25       |
| 2.15     | SUNDELL, 1994. ON THE ASSOCIATION BETWEEN BUILDING VENTILATION CHARACTERISTICS, SOME INDOOR ENVIRONMENTAL EXPOSURES, SOME ALLERGIC MANIFESTATIONS AND SUBJECTIVE SYMPTOM REPORTS.....         | 27       |
| 2.16     | LEYTEN & KURVERS, 2006. ROBUSTNESS OF BUILDINGS AND HVAC SYSTEMS AS A HYPOTHETICAL CONSTRUCT EXPLAINING DIFFERENCES IN BUILDING RELATED HEALTH AND COMFORT SYMPTOMS AND COMPLAINT RATES ..... | 28       |
| 2.17     | OSELAND, 1999. ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING OFFICE WORKER PERFORMANCE: A REVIEW OF EVIDENCE. 30                                                                                            |          |
| 2.18     | WYON, 1996. INDIVIDUAL MICROCLIMATE CONTROL: REQUIRED RANGE, PROBABLE BENEFITS AND CURRENT FEASIBILITY .....                                                                                  | 32       |
| 2.19     | ANDERSEN ET AL, 1974. HUMAN RESPONSE TO 78-HOUR EXPOSURE TO DRY AIR .....                                                                                                                     | 34       |
| 2.20     | ANDERSSON ET AL, 1975. HUMAN RESPONSES TO DRY, HUMIDIFIED AND INTERMITTENTLY HUMIDIFIED AIR IN LARGE OFFICE BUILDINGS.....                                                                    | 35       |
| 2.21     | SUNDELL & LINDVALL, 1993. INDOOR AIR HUMIDITY AND SENSATION OF DRYNESS AS RISK INDICATORS OF SBS.....                                                                                         | 36       |
| 2.22     | FANG ET AL, 2003. SICK BUILDING SYNDROME SYMPTOMS CAUSED BY LOW HUMIDITY .....                                                                                                                | 37       |
| 2.23     | LAGERCRANTZ ET AL, 2003. OBJECTIVE AND SUBJECTIVE RESPONSES TO LOW RELATIVE HUMIDITY IN AN OFFICE INTERVENTION STUDY.....                                                                     | 38       |
| 2.24     | FANG ET AL, 2004. IMPACT OF INDOOR AIR TEMPERATURE AND HUMIDITY IN AN OFFICE ON PERCEIVED AIR QUALITY, SBS SYMPTOMS AND PERFORMANCE .....                                                     | 39       |
| 2.25     | BOERSTRA ET AL, 2001. ORIËNTEREND ONDERZOEK BINNENMILIEU CONSEQUENTIES AANSCHERPING EPC EISEN UTILITEITSBOUW .....                                                                            | 40       |
| 2.26     | PEJTERSEN, 1996. SENSORY AIR POLLUTION CAUSED BY ROTARY HEAT EXCHANGERS .....                                                                                                                 | 41       |

|          |                                                                                                                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.27     | RUUD & CARLSSON, 1996. TRANSFER OF POLLUTANTS IN ROTARY AIR-TO-AIR HEAT EXCHANGERS – A STATE OF THE ART INVESTIGATION.....                                    | 42        |
| 2.28     | BLUYSSSEN, 2001. AIRLESS STUDY, PUBLISHABLE FINAL REPORT.....                                                                                                 | 43        |
| 2.29     | BLUYSSSEN ET AL, 1995. FINAL REPORT. EUROPEAN AUDIT PROJECT TO OPTIMIZE INDOOR AIR QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION IN OFFICE BUILDINGS.....                    | 46        |
| 2.30     | COX ET AL, 2002. FINAL REP. HEALTH OPTIMALISATION PROTOCOL FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS (HOPE) ...                                                          | 49        |
| 2.31     | ROLLOOS, 1999. ENERGIEBESPARING NIET TEN KOSTE VAN HET BINNENMILIEU .....                                                                                     | 51        |
| 2.32     | FANGER, 2001. HUMAN REQUIREMENTS IN FUTURE AIR-CONDITIONED ENVIRONMENTS.....                                                                                  | 53        |
| 2.33     | BOERSTRA & DE VRIES, 2003. GEZONDE, DUURZAME KANTOORGEBOUWEN .....                                                                                            | 55        |
| 2.34     | FISK & ROSENFELD, 1997. ESTIMATES OF IMPROVED PRODUCTIVITY AND HEALTH FROM BETTER INDOOR ENVIRONMENTS .....                                                   | 56        |
| 2.35     | WARGOCKI ET AL, 2005. THE EFFECTS OF CLASSROOM AIR TEMPERATURE AND OUTDOOR AIR SUPPLY RATE ON THE PERFORMANCE OF SCHOOL WORK BY CHILDREN.....                 | 58        |
| 2.36     | MENDELL & HEATH, 2005. DO INDOOR POLLUTANTS AND THERMAL CONDITIONS IN SCHOOLS INFLUENCE STUDENT PERFORMANCE? A CRITICAL REVIEW OF THE LITERATURE .....        | 59        |
| 2.37     | HESCHONG & MAHONE, 2003. WINDOWS AND CLASSROOMS: A STUDY OF STUDENT PERFORMANCE AND THE INDOOR ENVIRONMENT .....                                              | 60        |
| 2.38     | HESCHONG & MAHONE, 1999. DAYLIGHTING IN SCHOOLS: AN INVESTIGATION INTO THE RELATIONSHIP BETWEEN DAYLIGHTING AND HUMAN PERFORMANCE .....                       | 61        |
| 2.39     | BORAY ET AL, 1989. EFFECTS OF WARM WHITE, COOL WHITE AND FULL-SPECTRUM FLUORESCENT LIGHTING ON SIMPLE COGNITIVE PERFORMANCE, MOOD AND RATINGS OF OTHERS ..... | 62        |
| 2.40     | US DEPARTEMENT OF ENERGY, 2001. BENEFITS OF ENERGY EFFICIENT LIGHTING.....                                                                                    | 63        |
| 2.41     | HEDGE ET AL, 1995. EFFECTS OF LENSED-DIRECT AND PARABOLIC LIGHTING ON THE SATISFACTION, VISUAL HEALTH AND PRODUCTIVITY OF OFFICE WORKERS.....                 | 64        |
| 2.42     | LENSINK, 2002. BETER LICHT OP HET WERK KAN € 2 MILJARD BESPAREN .....                                                                                         | 65        |
| 2.43     | NSVV COMMISSIE LICHT & GEZONDHEID, 2003. LICHT EN GEZONDHEID VOOR WERKENDEN .....                                                                             | 66        |
| 2.44     | KATZEV, 1992. THE IMPACT OF ENERGY EFFICIENT OFFICE LIGHTING STRATEGIES ON EMPLOYEE SATISFACTION AND PRODUCTIVITY .....                                       | 67        |
| 2.45     | BUTALA & NOVAK, 1999. ENERGY CONSUMPTION AND POTENTIAL ENERGY SAVINGS IN OLD SCHOOL BUILDINGS.....                                                            | 68        |
| 2.46     | ROULET, 2006. INDOOR AIR QUALITY AND ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS .....                                                                                    | 69        |
| 2.47     | BROHUS, 2006. COMBINED OPTIMISATION OF INDOOR ENVIRONMENT AND ENERGY CONSUMPTION USING THE ECO-FACTOR .....                                                   | 71        |
| <b>3</b> | <b>ANALYSE + CONCLUSIES.....</b>                                                                                                                              | <b>72</b> |
| 3.1      | HYPOTHESE H1: GEZONDHEIDSBEVORDEREND IS ENERGIEPRESTATIE VERHOGENDE?.....                                                                                     | 72        |
| 3.2      | HYPOTHESE H2: ZIEKTEVERZUIMVERLAGEND IS ENERGIEPRESTATIE VERHOGENDE? .....                                                                                    | 74        |
| 3.3      | HYPOTHESE H3: PRODUCTIVITEITBEVORDEREND IS ENERGIEPRESTATIE VERHOGENDE?.....                                                                                  | 75        |
| 3.4      | OVERIGE CONCLUSIES .....                                                                                                                                      | 76        |
| <b>4</b> | <b>BELEIDSIMPLICATIES .....</b>                                                                                                                               | <b>78</b> |
|          | <b>LITERATUUR REFERENTIES.....</b>                                                                                                                            | <b>80</b> |
|          | <b>BIJLAGE 1: KENGETALLEN PRODUCTIVITEIT EN ZIEKTEVERZUIM.....</b>                                                                                            | <b>83</b> |

# 1 INLEIDING

In opdracht van het ministerie van VROM voert SenterNovem het Kompas programma voor energiebewust wonen en werken uit. Dit programma heeft als doel bij te dragen aan de vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving.

Het onderdeel Utiliteitsbouw van het Kompas programma beoogt relevante beslissers en beïnvloeders binnen de U-bouw te voorzien van instrumenten en informatie waarmee zij energiebesparing kunnen realiseren in de utiliteitsbouw.

Sinds enige jaren hanteren diverse programma's binnen Kompas de strategie om de motivatie voor energiebesparing te verhogen door het item te koppelen aan gezondheid in de meest brede zin des woords. De specifieke claims zijn als volgt samen te vatten: kiezen voor energiebesparing is (vaak) ook kiezen voor bevordering van de gezondheid van gebouwgebruikers, verhoging van het comfort, beïnvloeding van de productiviteit en verlaging van het ziekteverzuim.

BBA Binnenmilieu heeft in opdracht van SenterNovem een literatuuronderzoek uitgevoerd rond de genoemde thema's, waarbij zowel Nederlandse als buitenlandse literatuur bestudeerd is.

## *Doel*

Het doel van het literatuuronderzoek is toetsing (waar? niet waar?) van de volgende hypothesen:

- H1: Maatregelen gericht op verbetering van de gezondheid van gebouwgebruikers (bv. minder 'Sick building klachten') en verbetering van het comfort leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).
- H2: Maatregelen gericht op verlaging van het ziekteverzuim onder gebouwgebruikers leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).
- H3: Maatregelen gericht op verbetering van prestaties van gebouwgebruikers en verhoging van de productiviteit leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).

En passant zijn waar mogelijk aanvullende conclusies getrokken t.a.v. de wisselwerking energie – binnenmilieu – gezondheid en is een globale berekening gemaakt van de indirecte kosten in Nederland t.g.v. de suboptimale binnenmilieu-kwaliteit in utiliteitsgebouwen.

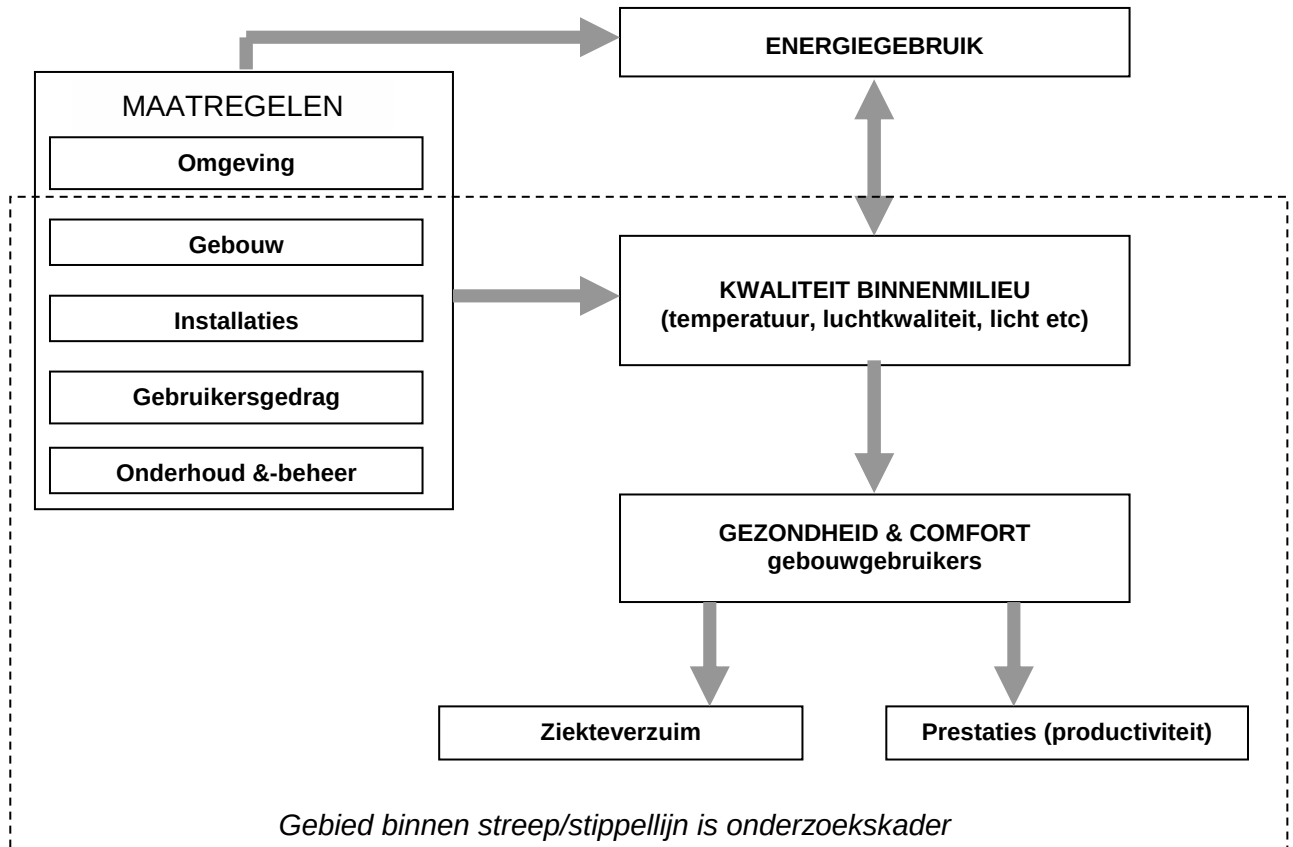
Bij het onderzoeken van de hypothesen is waar nodig onderscheid gemaakt in maatregelen gericht op:

- Ontwerp (gebouw, installaties);
- Gebruikersgedrag;
- Beheer & Onderhoud.

Voor alle duidelijkheid: de literatuurstudie heeft betrekking op utiliteitsgebouwen (met de nadruk op de situatie in kantoorgebouwen en onderwijsgebouwen). Woningbouw valt buiten het onderzoekskader.

### Onderzoekskader

In onderstaande figuur is het onderzoekskader schematisch weergegeven:



Ter verduidelijking:

De inventarisatie richtte zich met name op de relatie tussen specifieke maatregelen en de binnenmilieukwaliteit (en gezondheid, comfort, ziekteverzuim en prestaties). Er is niet naar specifieke literatuur gezocht die betrekking heeft op de relatie tussen specifieke maatregelen en het energiegebruik. Zie hiervoor diverse andere SenterNovem studies zoals bijvoorbeeld het onderbouwende rapport behorende bij de SenterNovem Maatregelenlijsten.

Deze studie richt zich met name op de relatie tussen specifieke maatregelen en de kwaliteit van het binnenmilieu (thermisch binnenklimaat, binnenluchtkwaliteit, licht etc.) en op de effecten die de binnenmilieukwaliteit weer heeft op gezondheid en comfort van gebouwgebruikers en daarmee op het ziekteverzuim en de prestaties (productiviteit).

### Onderzoeksmethodologie

Om de hypothesen te toetsen is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Hiertoe is vakliteratuur verzameld die enerzijds al in het bezit was van BBA (Proceedings van de internationale congressen Indoor Air en Healthy Buildings van de afgelopen 15 jaar, uitkomsten HOPE onderzoek TNO et al, etcetera) en anderzijds is een

literatuuronderzoek aangevraagd bij de universiteitsbibliotheek van de TU Delft. Daarnaast is door BBA op internet gezocht naar relevante artikelen (bv. via [www.blackwell-synergy.com](http://www.blackwell-synergy.com) en <http://hope.epfl.ch>) en is navraag gedaan bij diverse professionals, zowel nationaal als internationaal.

Door de universiteitsbibliotheek van de TU Delft is gebruik gemaakt van onderstaande zoektermen. Er is zowel in het Nederlands als in het Engels gezocht.

|                                                        |        |                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| energy conservation<br>energy sav*<br>energy efficien* | indoor | SBS<br>sick building syndrome<br>health<br>product*<br>comfort<br>absen*<br>personal influence<br>personal prod*<br>occupant prod*<br>occupant control<br>occupant influence<br>pay back time<br>return on investment |
|--------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Uit het eerste verkennend onderzoek (bestuderen van het onderwerp) kwam de database COMPENDEX in aanmerking, eventueel aangevuld met andere databases. Uit een tweede verkennend onderzoek bleek dat er ca. 166 hits in COMPENDEX zijn. Wanneer de termen 'residential' of 'domestic' werden uitgezonderd restten ca. 148 hits (publicatie periode 1990-2006 april). Hierna is een trial (o.a. titel en keywords) uitgeprint om de relevante literatuur te selecteren. Op basis hiervan zijn 43 artikelen geselecteerd. Hiervan was ca. 80% direct leverbaar uit de eigen collectie. Vervolgens zijn nog 20 artikelen aangevraagd waarvan ca. de helft direct leverbaar was.

Merk op dat sommige van de in het volgende hoofdstuk gepresenteerde studies van voor 1990 zijn, dit aangezien zoals gezegd een deel van de studies (landmark)studies betreft die al in bezit van BBA waren.

### *Formats*

De meest relevante verzamelde vakliteratuur is geëvalueerd en in de in hoofdstuk 2 weergegeven formats samengevat.

In de formats wordt als eerste de naam van de auteur(s), jaartal en titel van de publicatie genoemd. Daaronder het desbetreffende thema('s). In de daarop volgende rij wordt de soort studie, gebouwcategorie, sterkte van de studie en het land van herkomst weergegeven.

De sterkte van het onderzoek kan variëren van 1 ster tot 3 sterren. De betekenis is als volgt:

- |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ★ ☆ ☆ | Relatief zwakke studie, vanwege kleine onderzoekspopulatie en slechte onderzoeksmethodiek (bv. geen controlegroep, geringe meetduur en ontbreken van een nulmeting); in sommige gevallen is ook slechts 1 ster toegekend omdat het een meer opiniërend stuk betrof zonder eenduidige onderbouwing. |
| ★ ★ ☆ | Redelijk gefundeerde studie, onderzoek met een redelijke populatie of redelijk gedegen onderzoeksmethodiek.                                                                                                                                                                                        |
| ★ ★ ★ | Methodologisch sterke studie, goed uitgevoerd onderzoek vanwege voldoende grote onderzoekspopulatie en gedegen onderzoeksmethodiek, ook 'peer reviewed' artikelen gepubliceerd in internationale vakliteratuur krijgen 3 sterren.                                                                  |

Onderin het format wordt een samenvatting van de onderzoeksbevindingen weergegeven. Eventueel gevolgd door een relevante figuur / tabel. Er wordt afgesloten met een conclusie en de volledige literatuurverwijzing.

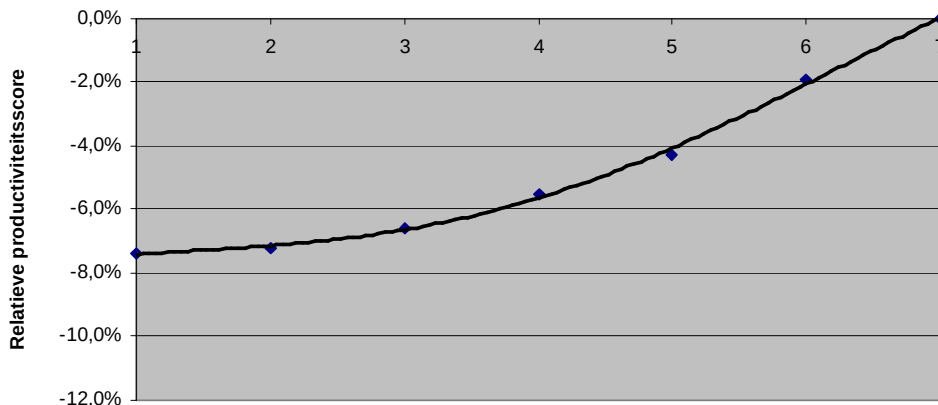
### *Leeswijzer*

Het rapport is als volgt ingedeeld. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de uitkomsten van het literatuuronderzoek. In hoofdstuk 3 worden de uitkomsten van het literatuuronderzoek samengevat en worden de overall conclusies gepresenteerd. In hoofdstuk 4 tenslotte worden beleidsimplicaties voor SenterNovem gegeven.

## 2 UITKOMSTEN LITERATUURONDERZOEK

In onderstaande formats wordt relevante literatuur besproken die betrekking hebben op energiebesparing, gezondheid en comfort van gebouwgebruikers, productiviteit en ziekteverzuim.

De literatuur wordt in willekeurige volgorde weergegeven.

| 2.1 Raw & Roys, 1990. Further findings from the office environment survey: productivity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                     |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|-----|
| Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Verenigd Koninkrijk |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| <b>Samenvatting bevindingen:</b><br>Veldonderzoek onder 4373 werknemers in 46 Britse kantoorgebouwen. De werknemers werd gevraagd zelf een schatting te geven van de invloed van de werkomgeving op hun productiviteit. Ook werd de werknemers gevraagd welke lichamelijke (SBS) klachten zij hebben. Verder werden gebouwenmerken vastgelegd zoals het aantal werkplekken per werkruimte en de mogelijkheid voor de werknemers om zelf de temperatuur op hun werkplek te regelen. Bij statistische analyse blijkt dat de zelfgerapporteerde productiviteit van de individuele werknemers gemiddeld hoger is indien: <ul style="list-style-type: none"><li>- er twee of minder gezondheidsklachten per persoon zijn</li><li>- er vijf of minder werkplekken per werkruimte zijn</li><li>- de werknemers zelf de temperatuur op hun werkplek kunnen regelen</li><li>- de werknemers zelf invloed hebben op de verse luchttoevoer (toegang tot te openen ramen e.d.).</li></ul> |                                     |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| <b>Figuur / tabel:</b> <div><p>Invloed ervaren <b>CONTROLE</b> over de <b>VENTILATIE</b> op relatieve productiviteitsscore ('self reported productivity') (bron: Raw, 1990)</p><p>1. = 'geen pers. controle'      4. = enige controle      7. = volledige pers. controle</p><table><thead><tr><th>Control Level</th><th>Relative Productivity Score (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>-8.0</td></tr><tr><td>2</td><td>-7.5</td></tr><tr><td>3</td><td>-7.0</td></tr><tr><td>4</td><td>-6.0</td></tr><tr><td>5</td><td>-5.0</td></tr><tr><td>6</td><td>-3.0</td></tr><tr><td>7</td><td>0.0</td></tr></tbody></table></div>                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                       |                                       | Control Level | Relative Productivity Score (%) | 1 | -8.0 | 2 | -7.5 | 3 | -7.0 | 4 | -6.0 | 5 | -5.0 | 6 | -3.0 | 7 | 0.0 |
| Control Level                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Relative Productivity Score (%)     |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -8.0                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -7.5                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -7.0                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -6.0                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -5.0                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -3.0                                |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.0                                 |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |
| Figuur 1: Invloed ervaren controle over de ventilatie op relatieve productiviteitsscore ('self reported productivity')                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                       |                                       |               |                                 |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |

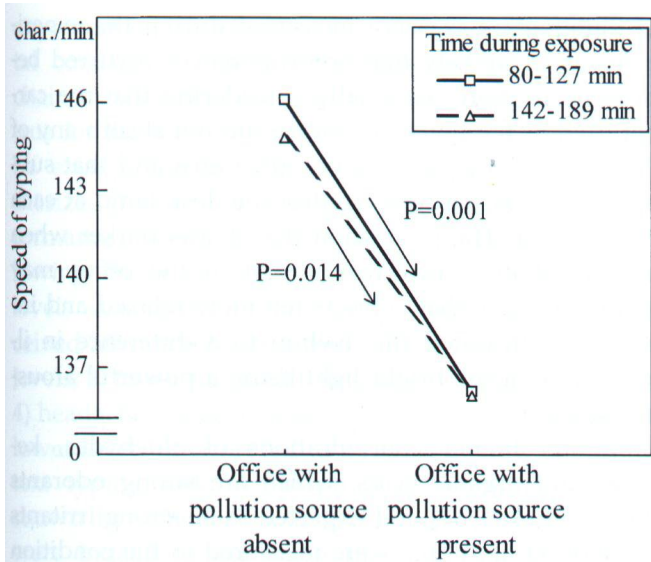


**Conclusie:**

Productiviteit is hoger naarmate er minder lichamelijke klachten (SBS-klachten) zijn.  
De productiviteit is hoger indien de werknemers hun omgeving kunnen beïnvloeden, i.c. wanneer zij de temperatuur kunnen regelen, de hoeveelheid verse luchttoevoer kunnen beïnvloeden en in kamerkantoren gehuisvest zijn.

**Literatuurverwijzing:**

Raw GJ, Roys MS. 1990. Further findings from the office environment survey: productivity. Proceedings Indoor Air 1990, Canada: Indoor Air 1990, Vol 1, pp 231-236.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |                        |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>2.2 Wargocki, 1998. Human perception, productivity and symptoms related to indoor air quality</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                        |                              |
| <b>Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |                        |                              |
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Denemarken |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> Een aantal proefpersonen doet gedurende enkele uren een aantal werkzaamheden zoals administratieve taken en tekstverwerking. De ruimte waarin zij dat doen wordt op een constante ventilatie, temperatuur en vochtigheid gehouden. Ook andere omgevingsparameters, zoals licht en geluid, blijven constant. Eén ding wordt wel gevarieerd: de ventilatielucht wordt voor dat deze bij de proefpersonen kwam wel of niet geleid langs een luchtvervuilingsbron: een hoeveelheid oud gebruikt tapijt in een hoeveelheid representatief voor een normaal kantoor.<br/> Vergeleken met de situatie zonder vervuilingbron leidt de aanwezigheid van het gebruikte tapijt tot een verlaging van de productiviteit van ca. 3% bij administratieve taken en ca. 7% bij tekstverwerking.</p> |                                     |                        |                              |
| <p><b>Figuur / tabel:</b></p>  <p><i>Figuur 2: Snelheid van tekstverwerken tijdens de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> keer van tekst typen als een functie van de aan- of afwezigheid van een vervuilingbron. De proefpersonen typten 6,5% minder karakters als de vervuilingbron aanwezig was.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                        |                              |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> De productiviteit is hoger indien de luchtkwaliteit beter is en er emissie-arme materialen zijn toegepast die eenvoudig zijn schoon te houden.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                        |                              |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Wargocki P. 1998. Human perception, productivity and symptoms related to indoor air quality. Ph. D. thesis, Technical University of Denmark.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                        |                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| <b>2.3 Wyon, 2000. Individual control at the workplace: the means and the potential benefits</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                     |                        |                                        |
| <b>Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                        |                                        |
| Soort studie:<br>Literatuur-overzicht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>verschillende landen |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Op grond van de objectief gemeten productiviteit in laboratoriumsituaties en een veldonderzoek wordt een schatting gemaakt van de invloed van een door de werknemers te gebruiken temperatuurregeling op de productiviteit.<br/>De volgende effecten van de door de werknemers te gebruiken temperatuurregeling op de productiviteit worden gevonden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beslissingen nemen in labsituatie: + 2,7%</li> <li>- Beslissingen nemen in veldsituatie: +2,8%</li> <li>- Gemengd kantoorwerk (beslissingen nemen + tekstverwerking) in labsituatie: 5,4%</li> <li>- Gemengd kantoorwerk (beslissingen nemen + tekstverwerking) in veldsituatie: 4-6%</li> </ul> |                                     |                        |                                        |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                        |                                        |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Productiviteit is hoger indien de werknemers hun omgeving kunnen beïnvloeden, in concreto: wanneer zij de temperatuur kunnen regelen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                     |                        |                                        |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Wyon DP. 2000. Individual control at the workplace: the means and the potential benefits. In: Clements-Croome D. ed. 2000. Creating the productive workplace, E &amp; FN SPON, 192-206.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                        |                                        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |                       |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| <b>2.4 Witterseh et al, 2002. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on office work</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                       |                              |
| <b>Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat, geluid</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |                       |                              |
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Denemarken |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> 30 proefpersonen gekleed voor thermisch comfort bij 22°C werden drie uur blootgesteld aan één van drie temperatuurcondities (22, 26 of 30°C) en één van twee geluidcondities (wel of geen opgenomen geluid uit een kantoortuin met een niveau van 55 dB(A)).<br/> Bij een opteltaak verlaagde het achtergrondgeluid het werktempo met 3%, proefpersonen die het te warm hadden maakten 56% meer fouten en er was een interactie-effect tussen achtergrondgeluid en temperatuur: het effect van warmte was minder sterk bij achtergrondgeluid.<br/> Achtergrondgeluid verhoogt de snelheid van proeflezen en typen, maar verhoogt daarbij ook klachten over vermoeidheid en concentratieproblemen bij deze taken.</p> |                                     |                       |                              |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                     |                       |                              |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> Een te hoog achtergrondgeluid verlaagt het werktempo van de opteltaak met 3% en er worden meer fouten gemaakt als mensen het te warm hebben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                       |                              |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. 2002. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on office work. Proceedings Indoor Air 2002, VS. Indoor air 2002: Vol 4, pp. 1084-1089.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                     |                       |                              |

## 2.5 Wargocki et al, 2003. Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates

Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit

Soort studie:  
Veldstudie

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

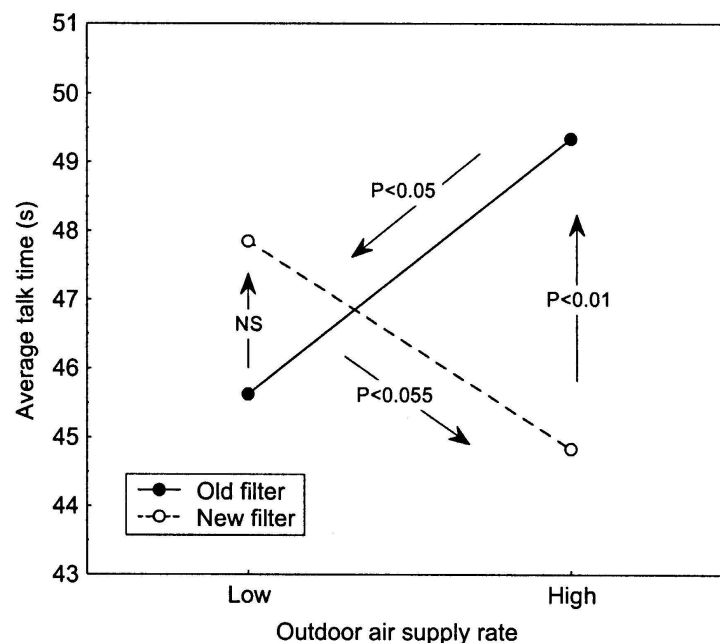
Sterkte studie:  
\*\*

Uitgevoerd in:  
Denemarken

### Samenvatting bevindingen:

Het onderzoek in een call center heeft betrekking op het gecombineerde effect van enerzijds hoge en lage ventilatie (9 vs. 90 m<sup>3</sup>/uur\*persoon) en anderzijds een schoon of een 6 maanden gebruikt luchtinlaatfilter. Het opvallendste resultaat was dat, als het filter schoon was, de productiviteit hoger was bij hogere ventilatie, maar dat, als het filter gebruikt was, de productiviteit hoger was bij lagere ventilatie (zie figuur). Blijkbaar geeft het gebruikte filter bij hogere ventilatie meer vervuiling af. Het verhogen van de ventilatie leidt bij een nieuw filter tot 7 % meer productiviteit en het vervangen van het gebruikte filter door een schoon filter bij hoge ventilatie tot 8 % meer productiviteit. Het effect van de vervuilingbron - het filter - is qua grootte vergelijkbaar met dat gevonden voor vervuild tapijt in Wargocki (1998). Het effect van de ventilatie is relatief hoog, maar dit is verklaarbaar door het relatief grote verschil in ventilatiehoeveelheden. Het effect van de ventilatiehoeveelheid is meegenomen in Seppänen et al. (2006).

### Figuur / tabel:



Figuur 3: Relatie verse luchttoevoer en gemiddelde afhandelingsstijd (spreektijd) in een call center. Zowel bij gebruik van een nieuw, schoon luchtfilter als een oud, vervuild filter.

### Conclusie:

Productiviteit is hoger indien de luchtkwaliteit beter is. Opvallend hierbij is dat de productiviteitswinst die behaald kan worden door bronaanpak groter is dan door het verhogen van de ventilatie. Verder is het effect van verhoogde ventilatie in sommige gevallen beperkt of zelfs negatief, doordat bij sommige vervuilingbronnen (o.a. luchtfilters) meer ventilatie tot meer emissie leidt.

### Literatuurverwijzing:

Wargocki P, Wyon DP, Fanger PO. 2003. Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates. Proc. Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 213-218.

## 2.6 Seppänen & Fisk, 2005. Indoor climate and productivity

**Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat**

Soort studie:  
Literatuur-overzicht

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Verschillende landen

### Samenvatting bevindingen:

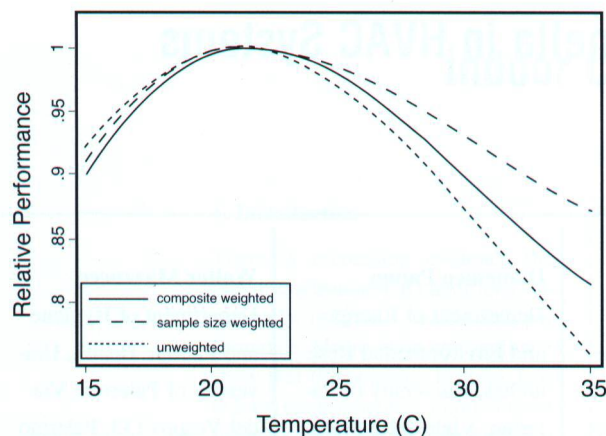
Literatuuroverzicht van veld- en laboratoriumonderzoeken naar de invloed van luchttemperatuur op de productiviteit van werknemers. Metingen van de productiviteit omvatten zelfgerapporteerde productiviteit, gesimuleerde kantoortaken zoals tekstverwerking en de duur van gesprekken bij call center-werk.

Op basis van de gecombineerde resultaten van de verschillende onderzoeken wordt het volgende geconcludeerd:

- Bij een luchttemperatuur tussen 20°C en 25°C is er geen invloed op de productiviteit.
- Boven 25°C neemt de productiviteit af met 2% per °C boven de 25°C.
- Beneden 20°C neemt de productiviteit af met 2% per °C beneden de 20°C.

Opgemerkt wordt dat deze resultaten gelden voor geconditioneerde ruimten. Voor niet geconditioneerde ruimten kunnen hieruit geen conclusies getrokken worden. Bekend is dat in natuurlijk geventileerde gebouwen werknemers hogere temperaturen accepteren dan in geconditioneerde gebouwen. Niet uitgesloten kan worden dat in natuurlijk geventileerde gebouwen de vermindering van productiviteit optreedt bij hogere temperatuur dan in geconditioneerde gebouwen.

### Figuur / tabel:



Figuur 4: Relatieve productiviteit versus temperatuur

### Conclusie:

Voor geconditioneerde gebouwen geldt dat bij een luchttemperatuur tussen 20°C en 25°C er geen invloed is op de productiviteit. Boven 25°C neemt de productiviteit met 2% per °C af en beneden 20°C neemt de productiviteit met 2% per °C af.

### Literatuurverwijzing:

Seppänen O, Fisk WJ. 2005. Indoor climate and productivity. *Rehva Journal* 3-4/2005, 8/11.

## 2.7 Bakó-Biró, 2004. Human Perception, SBS Symptoms and Performance of Office Work during Exposure to Air Polluted by Building Materials and Personal Computers

**Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit**

|                                     |                                     |                        |                              |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Denemarken |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

Een aantal proefpersonen doet gedurende vijf uur een aantal werkzaamheden zoals tekstverwerking en rekenopgaven. De ruimte waarin zij dat doen wordt op een constante temperatuur en vochtigheid gehouden. Ook andere omgevingsparameters, zoals licht en geluid, blijven constant. Twee dingen worden wel gevarieerd: de ventilatiehoeveelheid was ofwel 18 ofwel 54 m<sup>3</sup> verse lucht per uur per persoon. Verder werd de ventilatielucht voor dat deze bij de proefpersonen kwam wel of niet geleid langs een luchtvervuilingsbron: nieuwe conventionele (CRT) beeldschermen, ook in een aantal representatief voor een normaal kantoor.

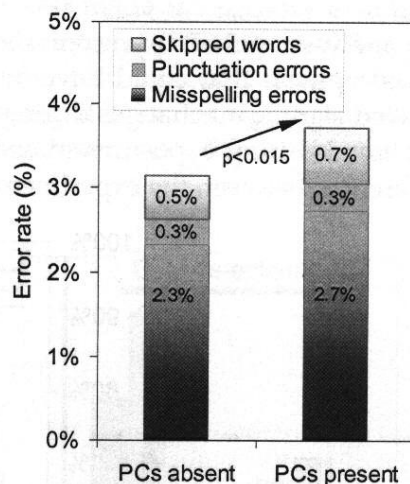
Het effect van de luchtvervuiling door nieuwe CRT-schermen is dat er meer fouten gemaakt worden (figuur 5) en dat de tijd benodigd voor tekstverwerking met 9% toeneemt (figuur 6).

Het effect van de ventilatiehoeveelheid is meegenomen in Seppänen et al. (2006), zie hierna.

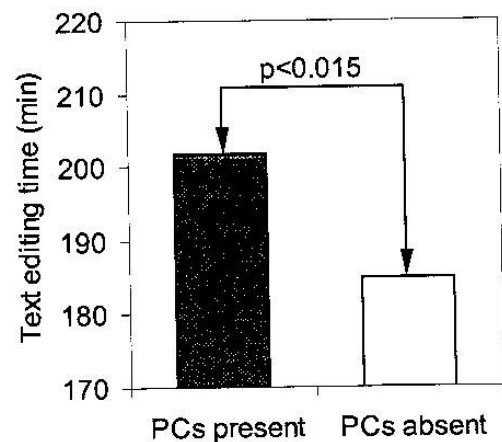
Uit het gecombineerde effect van luchtvervuiling en ventilatie blijkt dat er een vast verband is tussen luchtkwaliteit en prestatie: voor iedere vermindering van het aantal ontevreden over de luchtkwaliteit met 10% neemt de prestatie met 0,8% toe (figuur 7).

Opvallend is dat het verhogen van de ventilatie bij de aanwezigheid van vervuilingbronnen de luchtkwaliteit minder verbetert dan theoretisch verwacht. Oorzaak hiervan is dat sommige vervuilingbronnen bij toenemende ventilatie juist meer verontreinigen af gaan geven.

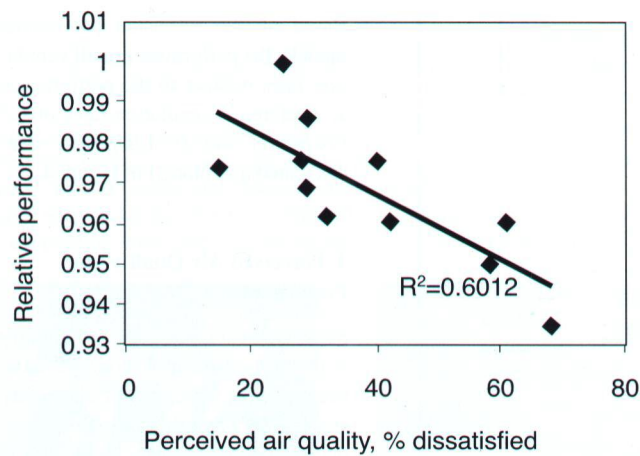
### Figuur / tabel:



Figuur 5: Effect van luchtvervuiling door PC's op foutenpercentage



Figuur 6: Effect van luchtvervuiling door PC's op tijdsduur afhandeling tekstbewerkingstaak



*Figuur 7: De relatieve verandering in productiviteit (tekstverwerken) afhankelijk van de waargenomen binnenluchtkwaliteit, uitgedrukt in percentage ontevreden*

**Conclusie:**

Productiviteit is hoger naarmate en minder klachten over de luchtkwaliteit onder de werknemers zijn. Daarnaast is de productiviteit hoger indien de luchtkwaliteit beter is (geen luchtvervuilingsbronnen aanwezig). Opvallend hierbij is dat de productiviteitswinst die behaald kan worden door bron aanpak groter is dan door het verhogen van de ventilatie. Verder is het effect van verhoogde ventilatie in sommige gevallen beperkt of zelfs negatief, doordat bij sommige vervuilingbronnen meer ventilatie tot meer emissie leidt of doordat hogere ventilatie bij vervuilde luchttoevoerfilters zelfs tot lagere luchtkwaliteit leidt.

**Literatuurverwijzing:**

Bakó-Biró Z. 2004. Human Perception, SBS Symptoms and Performance of Office Work during Exposure to Air Polluted by Building Materials and Personal Computers. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.



## 2.8 Seppänen et al, 2006. Ventilation and performance in office work

**Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit**

Soort studie:  
Literatuur-overzicht

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

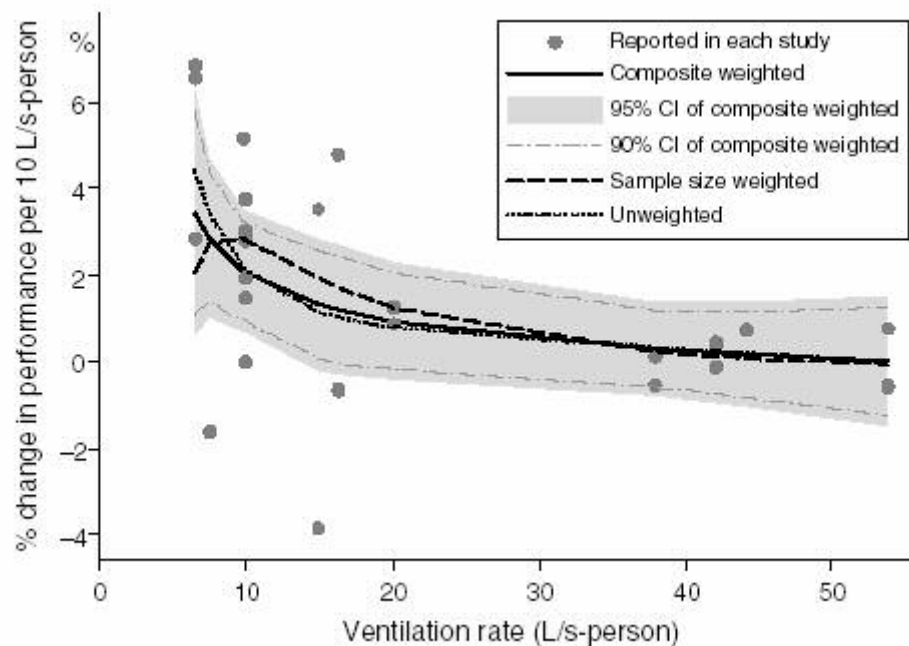
Uitgevoerd in:  
Verschillende landen

### Samenvatting bevindingen:

Literatuuroverzicht van veld- en laboratoriumonderzoeken naar de invloed van ventilatie (de hoeveelheid verse lucht per tijdseenheid per persoon) op de productiviteit van werknemers. In de veldonderzoeken wordt de productiviteit gemeten d.m.v. de lengte van de gesprekken van call center-medewerkers. In de laboratoriumonderzoeken d.m.v. gesimuleerde kantoortaken zoals tekstverwerking. De ventilatiehoeveelheden in de verschillende onderzoeken variëren van 1,3 tot 78,7 l/s per persoon. Statistisch significante resultaten kunnen alleen vastgesteld worden tussen 6,5 en 15 l/s per persoon. De resultaten van de verschillende onderzoeken worden gewogen volgens het aantal proefpersonen per onderzoek en de representativiteit van de onderzochte taak voor echt kantoorwerk, waarbij aangenomen wordt dat call center-werk representatiever is dan gesimuleerde kantoortaken.

Vergeleken met een ventilatie van 10 l/s per persoon is de productiviteit bij 6,5 l/s per persoon gemiddeld 1% lager en bij 15 l/s per persoon gemiddeld 1% hoger.

### Figuur / tabel:



Figuur 8: De procentuele verandering in productiviteit in relatie tot de hoeveelheid verse luchttoevoer per persoon

### Conclusie:

Productiviteit is hoger indien de luchtkwaliteit beter is en er (per persoon) meer verse lucht wordt toegevoerd.

### Literatuurverwijzing:

Seppänen O, Fisk WJ, Lei QH. 2006. Ventilation and performance in office work. Indoor Air, Vol 16, pp. 28-36.

## 2.9 Tanabe, 2006. Indoor temperature, productivity and fatigue in office tasks

Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat

Soort studie:  
Veldstudie

Gebouwcategorie:  
Kantoren

Sterkte studie:  
\*\*

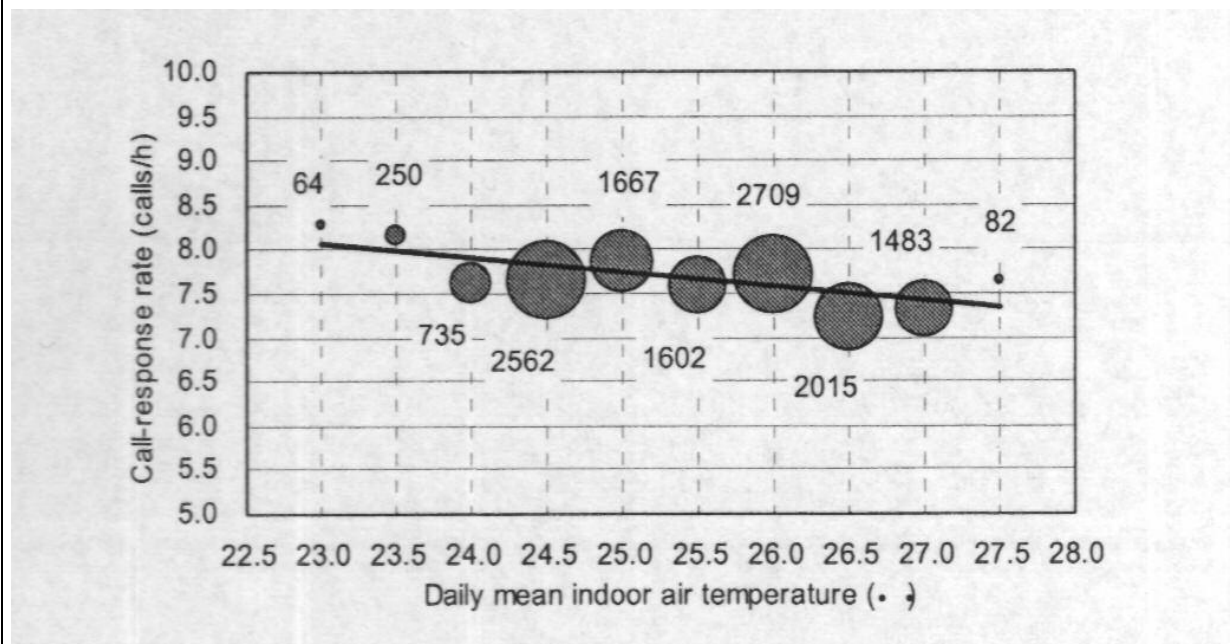
Uitgevoerd in:  
Japan

### Samenvatting bevindingen:

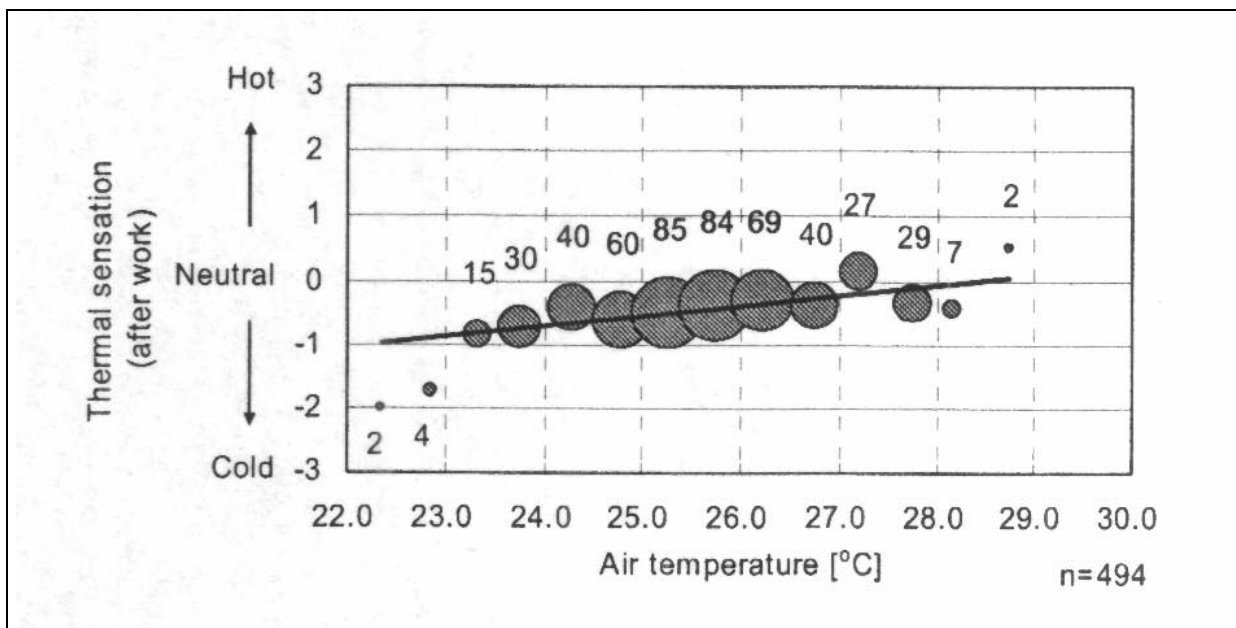
De relatie tussen de binnentemperatuur en de prestatie is in twee situaties onderzocht:

- 1) In een airconditioned call center blijkt dat het gemiddeld aantal gesprekken per uur lager is, indien de temperatuur binnen hoger is, zie figuur 9. Het gemiddelde aantal gesprekken per uur is bij een binnentemperatuur van 26°C 2,1% lager dan bij 25°C. Dit komt goed overeen met het door Seppänen & Fisk (2005) gevonden effect.
- 2) In een kantoorgebouw zonder airconditioning blijkt de neutrale temperatuur bij 27°C te liggen. Bij een temperatuur daaronder is het gemiddelde oordeel koeler dan neutraal, zie figuur 10. Prestatie wordt gemeten door een via de PC aangeboden letterplaatsingstest. In deze situatie blijkt de hoogste prestatie bij de neutrale temperatuur van 27°C te liggen, bij een lagere temperatuur ligt de prestatie lager, zie figuur 11.

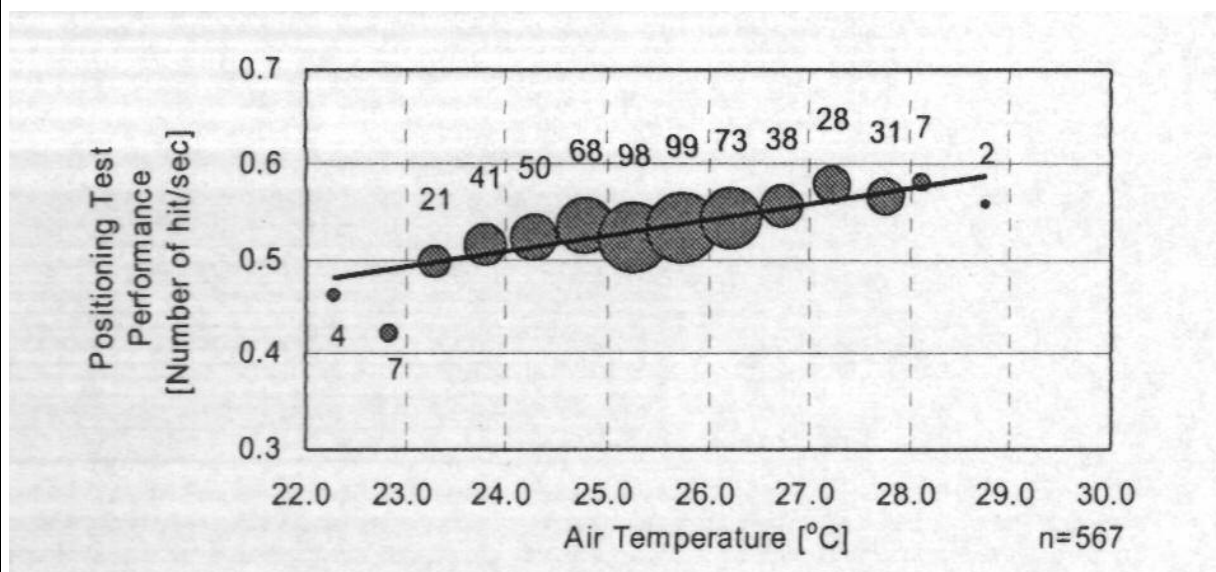
Figuur / tabel:



Figuur 9: Relatie tussen de binnenluchttemperatuur en het gemiddeld aantal gesprekken per uur in een call center



Figuur 10: Luchttemperatuur en oordeel t.a.v. thermisch comfort (na het werk)



Figuur 11: Luchttemperatuur en prestatie op de letterplaatsingstest

**Conclusie:**

Dit steunt de hypothese bij de samenvatting van Seppänen & Fisk (2005) dat de daar gevonden relatie geldt voor airconditioned gebouwen en dat in *free running* gebouwen de prestatie het hoogst is bij de neutrale temperatuur, die in de zomer in *free running* gebouwen hoger ligt dan in airconditioned gebouwen.

**Literatuurverwijzing:**

Tanabe S. 2006. Indoor temperature, productivity and fatigue in office tasks. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 1, p 49-56.

| 2.10 Levin, 2006. Environmental impacts of technologies for sustainable buildings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                              |                       |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              |                       |                          |
| Soort studie:<br>Beschouwing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Gebouwcategorie:<br>Algemeen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> Wijst erop dat het verband tussen productiviteit en ventilatie zoals weergegeven in de figuur in Seppänen et al. (2006) een grote mate van spreiding bevat, vooral bij de lagere ventilatiehoeveelheden (onder 20 l/s p.p.). De auteur verzet zich ertegen om te pleiten voor hogere ventilatie om een hogere productiviteit te verkrijgen. Hogere ventilatie leidt tot meer energieverbruik en dus tot hogere CO<sub>2</sub> uitstoot. Beter dan de ventilatie verhogen is te onderzoeken onder welke omstandigheden met lagere ventilatie een hogere productiviteit verkregen kan worden, bijvoorbeeld door het wegnemen van luchtvervuilingsbronnen in de luchtbehandelingsinstallatie en in de werkruimtes.<br/> (Dit standpunt wordt gesteund door de overige artikelen in dit rapport, waaruit blijkt dat bij een hogere ventilatie dan gebruikelijk een gemiddelde productiviteitsverhoging van 1% verkregen kan worden, terwijl het wegnemen van vervuilingbronnen, zoals inrichtingsmaterialen, kantoorapparatuur en vervuilde luchttoevoerfilters, een productiviteitsverhoging van 5-9% oplevert).</p> |                              |                       |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                              |                       |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> Realiseer productiviteitsverhoging in de eerste plaats door het wegnemen van luchtvervuilingsbronnen, niet door verhogen van de ventilatie.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              |                       |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Levin H. 2006. Environmental impacts of technologies for sustainable buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 5, p 45-50.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |                       |                          |

| 2.11 Milton et al, 2000. Risk of sick leave associated with outdoor air supply, humidification, and occupant complaints                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |                        |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Betreft: Ziekteverzuim, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                     |                        |                      |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>VS |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Deze samenvatting beperkt zich tot de resultaten voor kantoorwerkers.<br/>Veldonderzoek onder ca. 600 kantoorwerkers van één grote onderneming verdeeld over verschillende gebouwen en werkplekken. Gecorrigeerd voor persoonlijke eigenschappen als geslacht en leeftijd werden de volgende effecten gevonden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- luchtbevochtigers in de installatie: 1,6 procentpunt hoger verzuim</li> <li>- lagere ventilatie (12 l/s*persoon vs. 24 l/s*persoon): 0,6 procentpunt hoger verzuim</li> <li>- gebied met veel vs. gebied met weinig SBS klachten: 0,6 procentpunt hoger verzuim</li> </ul> <p>Wat betreft de luchtbevochtigers: de meeste waren van het type waarbij koud water verdampt of verneveld wordt.</p> |                                     |                        |                      |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                        |                      |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Ziekteverzuim is lager naarmate er minder lichamelijke klachten (SBS-klachten) zijn.<br/>Ziekteverzuim is lager indien de luchtkwaliteit beter is en er geen luchtbevochtiging in de installatie wordt toegepast.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                      |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Milton DK, Glencross PM, Walters MD. 2000. Risk of sick leave associated with outdoor air supply, humidification, and occupant complaints. Indoor Air 2000, Vol 10, pp. 212-221.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |                        |                      |

| 2.12 Preller et al, 1990. Sick leave due to work-related health complaints among office workers in the Netherlands                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                        |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Betreft: Ziekteverzuim, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                             |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Nederland |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b></p> <p>Er is een veldstudie verricht in 61 kantoorgebouwen, onder 7043 kantoorwerkers. Door middel van een enquête is informatie verzameld over werkgerelateerde gezondheidsklachten, ziekteverzuim en werksatisfactie. Middels een inspectie is informatie verzameld over gebouw- en installatiekarakteristieken. Een statistische analyse van de uitkomsten leerde het volgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beïnvloeding temperatuur. Kantoorwerkers die niet beschikken over mogelijkheden om zelf hun temperatuur te beïnvloeden rapporteren meer ziekteverzuim dan kantoorwerkers met mogelijkheden tot temperatuurbeïnvloeding (odds ratio: 1,2-1,5).</li> <li>▪ Centrale bevochtiging. In gebouwen zonder centrale bevochtiging is het ziekteverzuim lager dan in gebouwen met mechanische ventilatiesystemen met stoom- of sproei-bevochtiging (odds ratio: 0,7-0,8).</li> <li>▪ Beeldschermwerk. Het ziekteverzuim onder kantoorwerkers die meer dan 4 uur per dag beeldschermwerk verrichten is hoger dan onder kantoorwerkers die dit minder dan 4 uur per dag doen (odds ratio: 1,2-1,3).</li> </ul> <p>Verder bleek het geslacht van invloed te zijn op het ziekteverzuim (vrouwen vaker ziek dan mannen), de leeftijd (jonge kantoorwerkers vaker ziek dan oudere kantoorwerkers), de opleiding (hoger opgeleiden minder vaak ziek dan lager opgeleiden), de werksatisfactie (mensen met hoge werksatisfactie minder vaak ziek dan mensen met een lage werksatisfactie) en allergieën &amp; hooikoorts (allergische kantoorwerkers vaker ziek dan niet-allergische kantoorwerkers).</p> <p>De volgende factoren bleken geen significante invloed te hebben op het ziekteverzuim: type ventilatiesysteem (natuurlijk vs. mechanisch vs. volledige airconditioning), recirculatie, dragen van contactlenzen, passief roken, aantal personen per werkkamer en 'fleece factor' (aanwezigheid van textiele vloerbedekking, gordijnen, open kasten).</p> |                                     |                        |                             |
| <p><b>Figuur / tabel:</b></p> <p>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                        |                             |
| <p><b>Conclusie:</b></p> <p>Gebouwen zonder (centrale) bevochtiging met goede mogelijkheden voor persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur geven een lager ziekteverzuim. Beide factoren hebben ook een positief effect op het ziekteverzuim.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                        |                             |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b></p> <p>Preller L, Zweers T, Brunekreef B, Boleij JSM. 1990. Sick leave due to work-related health complaints among office workers in the Netherlands. Proceedings Indoor Air 1990, Canada: Indoor Air 1990, Vol. 1, p. 227-290.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                        |                             |



## 2.13 Leijten, 2006. 20 jaar veldonderzoek in kantoorgebouwen

**Betreft: SBS klachten algemeen, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit**

Soort studie:  
Meta-analyse

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
n.v.t.

### Samenvatting bevindingen:

Het literatuuroverzicht heeft betrekking op alle sinds 1984 uitgevoerde veldonderzoeken in kantoorgebouwen. Tabel 1 toont dat deze onderzoeken, die in verschillende delen van Europa en in de VS zijn uitgevoerd, een vergelijkbaar patroon laten zien. De volgende kenmerken leiden zeer consistent tot gemiddeld meer klachten:

- Koeling van de ventilatielucht;
- Bevochtiging van de ventilatielucht.

Kenmerken die min of meer consistent tot gemiddeld meer klachten leiden zijn recirculatie, inductie-units, onvoldoende beïnvloedbaarheid van de temperatuur per ruimte, gesloten gevel, grotere aantallen werknemers per ruimte en beeldschermwerk (meer uren/slechte software).

Deze verbanden zijn ook gevonden in onderzoeken waarbij multivariaat getoetst is en waarbij gecorrigeerd is voor *confounders* als werkplekkenmerken en persoonsvariabelen, waaronder werkbeleving. Op zich kan men op grond van in transversale, niet experimentele onderzoeken gevonden verbanden niet besluiten tot causaliteit, hoewel het uitsluiten van belangrijke *confounders* deze conclusie wel dichterbij brengt. En de aanwijzingen voor causaliteit worden nog sterker indien er plausibele causale mechanismen zijn, en die zijn er in alle gevallen:

- Koeling van de ventilatielucht leidt condensatie bij de warmtewisselaars of verderop in het kanaal en daardoor tot microbiologische groei. Ook worden soms chemicaliën gebruikt om de warmtewisselaars tegen corrosie te beschermen, die dan de ventilatielucht vervuilen.
- Bevochtiging leidt afhankelijk van het systeem tot microbiologische groei in de bevochtiger en tot condensatie en microbiologische groei verderop in het kanaal.
- Recirculatie leidt tot het verspreiden van plaatselijke verontreinigingen door het hele gebouw. Bovendien leidt het tot mengen van verontreinigingen uit verschillende bronnen, die dan met elkaar reageren waardoor *indoor smog* ontstaat. Bovendien leidt recirculatie door gebrek aan controle over de regelkleppen in veel gevallen tot te lage verse luchthoeveelheden.
- Inductie-units zijn zeer gevoelig voor afwijkingen van de ontwerpaannames en voor tekortkomingen in het onderhoud waardoor zij in de praktijk veel minder goed presteren dan op de tekentafel en in de proefkamer. Zij leiden daarom vaak tot onvoldoende ventilatie, te hoge temperatuur, te lage temperatuur, onvoldoende regelbaarheid van de temperatuur, tocht en/of geluidhinder.
- Onvoldoende beïnvloedbaarheid van de temperatuur door de gebruikers vergroot de kans op te hoge of te lage temperatuur. Verder is het gebrek aan invloed op de omgeving een stressor die de gezondheid schaadt.
- Een gesloten gevel ontnemt de werknemers de mogelijkheid om de werkomgeving, i.c. luchtsnelheid, luchttemperatuur en toevoer van buitenlucht, zelf op een inzichtelijke wijze te beïnvloeden en vormt dus een stressor. Te openen ramen bieden de werknemers juist de mogelijkheid om de omgeving ten goede te beïnvloeden:
  - i. Indien er vervuilsbronnens in het ventilatiesysteem zitten, is de lucht die door het raam binnenkomt minder vervuild dan lucht die door het ventilatiesysteem gegaan is. De werknemers kunnen als zij daar behoefte aan hebben (= de luchtkwaliteit als onvoldoende wordt ervaren) extra lucht van buiten het gebouw in de werkruimte brengen.
  - ii. Indien de buitentemperatuur niet te hoog is, kan door het te openen raam koelere lucht in de werkruimte worden gebracht, daardoor daalt de enthalpie van de lucht in de werkruimte en neemt de ervaren luchtkwaliteit toe.
- Dat in groepskantoren (meer dan 3 of 4 werkplekken) gemiddeld veel meer lichamelijk klachten en klachten over de omgeving voorkomen dan in kamerkantoren heeft verschillende oorzaken:
  - i. In een groepskantoor zijn de mogelijkheden voor de werknemers om de omgeving te beïnvloeden zeer beperkt. Als er al te openen ramen en een temperatuurregeling zijn, zijn die in zo'n grote ruimte met zoveel personen niet effectief bruikbaar. Dit verlaagt de psychische en medische tolerantie voor luchtverontreinigingen, onder andere doordat het immuunsysteem verzwakt wordt door gebrek aan persoonlijke controle over de omgeving.
  - ii. Geluidhinder en gebrek aan privacy is in groepskantoren onvermijdelijk en verlaagt de tolerantie voor andere stressoren, waaronder luchtverontreinigingen.
  - iii. Hoe groter de ruimte, hoe meer verschillende soorten verontreinigingsbronnen er zijn, ook dit vergroot de kans op klachten over de luchtkwaliteit.
- Beeldschermwerk vormt in het algemeen een belasting, zeker wanneer hardware, software, meubilair, verlichting en zonwering niet aan hoge eisen voldoen.

Behalve deze grote lijnen zijn er ook inconsistenties geconstateerd, bijvoorbeeld de resultaten betreffende natuurlijke ventilatie vs. eenvoudige mechanische ventilatie. Sommige onderzoeken tonen lagere klachterniveaus bij mechanische ventilatie, andere bij natuurlijke ventilatie. Tot nader order is de conclusie dat zowel met natuurlijke ventilatie als met (hybride) mechanische ventilatie een goed binnenmilieu gerealiseerd kan worden, als goed rekening gehouden wordt met de randvoorwaarden.

**Figuur / tabel:**

*Tabel 1: Samenhangen van klachten met gebouw- en werkplekkenmerken*

|                        |     | # gebouw | # respondent | Mech. Vent. <sup>o</sup> | Mech. koeling <sup>oo</sup> | Bevocht. <sup>ooo</sup> | Recirculatie | Inductie-units | Geen invloed | Gesloten gevel | Groepskantoor | Beeldsch.-werk |
|------------------------|-----|----------|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
| Hedge 1984 *           | UK  | 5        | 1273         |                          | +                           | +                       |              |                |              |                |               |                |
| Finnigan e.a. 1987 *   | UK  | 8        | 951          |                          | +                           | +                       |              |                |              |                |               |                |
| Harrison e.a. 1987 *   | UK  | 27       | 2587         |                          | +                           | +                       |              |                |              |                |               |                |
| Skov e.a. 1987 *       | Den | 14       | 2778         |                          | +                           | +                       |              |                |              |                |               | +              |
| Burge e.a. 1987        | UK  | 42       | 4373         | -                        | +                           | +                       |              | +              | +            |                | +             |                |
| Wilson e.a. 1987 **    |     |          |              |                          |                             |                         |              |                |              |                |               |                |
| Kroeling 1988          | Dui | > 10     | ±3000        |                          | +                           | + ?                     |              |                |              | +              |               |                |
| Preller e.a. 1990      | Ned | 61       | 7043         | + / -                    | +                           | +                       | 0            | +              | +            | + §            | +             | +              |
| Zweers e.a. 1992 ****  |     |          |              |                          |                             |                         |              |                |              |                |               |                |
| TNO 1992               | Ned | 19       | 1330         |                          | 0                           | +                       |              |                | +            | +              |               |                |
| Teeuw 1993 **          |     |          |              |                          |                             |                         |              |                |              |                |               |                |
| Fisk e.a. 1993 **      | USA | 12       | 880          | -                        | +                           | + ?                     |              |                |              |                | +             |                |
| Jaakola e.a. 1995 **** | Fin | 41       | 2678         | +                        | +                           | +                       | +            |                |              |                |               |                |
| Bluyssen e.a. 1995     | Eur | 56       | 6552         | -                        | +                           | +                       | +            |                |              |                |               | +              |
| Groes 1995 ****        |     |          |              |                          |                             |                         |              |                |              |                |               |                |
| Bischof e.a. 2003 **** | Dui | 16       | 4074         | + &                      |                             |                         |              | +\$            | +            | +              | + @           | +              |

+ meer lichamelijke klachten (en klachten over binnenmilieu)  
- minder lichamelijke klachten (en klachten over binnenmilieu)  
0 geen effect  
lege cel: niet onderzocht/niet gerapporteerd  
\* resultaten inclusief heranalyse Mendell e.a. (1990)  
\*\* multivariate analyse gebouwkenmerken  
\*\*\* multivariate analyse gebouw- en persoonskenmerken  
“ ook klachten over binnenmilieu  
o mechanische ventilatie zonder koeling en bevochtiging vergeleken met uitsluitend natuurlijk ventilatie  
oo voor zover na te gaan koeling van ventilatielucht  
ooo voor zover na te gaan zowel bij sproei/verdampings- als bij stoombevochtiging  
? op grond van de rapportage waarschijnlijk maar niet zeker  
§ alleen bij klachten over thermisch comfort  
& mechanische ventilatie mogelijk ook met koeling en bevochtiging vergeleken met uitsluitend natuurlijk ventilatie  
@ minste klachten bij 2-4 personen  
\$ ook: alle inductie-units onvoldoende onderhouden

**Conclusie:**

Kenmerken die zeer consistent tot gemiddeld meer gebouwgerelateerde klachten leiden zijn koeling en bevochtiging van de ventilatielucht. Kenmerken die min of meer consistent tot gemiddeld meer klachten leiden zijn recirculatie, inductie-units, onvoldoende beïnvloedbaarheid van de temperatuur per ruimte, gesloten gevel, grotere aantallen werknemers per ruimte en beeldschermwerk (meer uren/slechte software). Tevens is geconcludeerd dat screenende metingen betreffende binnenmilieu zinloos zijn, dat bronaanpak vóór alles gaat en dat mensen hun omgeving moeten kunnen beïnvloeden.

**Literatuurverwijzing:**

Leijten JL. 2006. 20 jaar veldonderzoek in kantoorgebouwen. Facility Management jaarboek 2006, pp. 58-60.



## 2.14 Mendell, 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiological literature

Betreft: SBS klachten algemeen, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit

|                               |                                     |                        |                              |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Soort studie:<br>Meta-analyse | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Wereldwijd |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

Door middel van een heranalyse van 32 veldstudies van derden is onderzocht welke statistisch bewezen risico-factoren er aan zijn te wijzen voor a-specifieke gezondheidsklachten (Sick Building klachten) in kantoorgebouwen.

De meta-analyse leerde dat er sprake is van consistente bevindingen (in meerdere studies aangetoond) ten aanzien van de volgende risico-factoren:

- De aanwezigheid van airconditioning (mechanische ventilatie met koeling);
- Relatief hoge temperaturen (m.n. 's winters);
- Het gebruik van textiele vloerbedekking;
- Relatief veel kantoorwerkers in 1 ruimte (meer dan 2 à 4 per kamer);
- Intensief beeldschermwerk (meer dan 4 à 6 uur per dag);
- Een verse luchttoevoer van minder dan 10 l/s per persoon (36 m<sup>3</sup>/h/p.p.).

Zijn de genoemde risico-factoren aanwezig, dan is sprake van aantoonbaar, statisch bewezen, hoger kans op 'SBS klachten'.

Ten aanzien van het laatste punt (invloed hoeveelheid verse luchttoevoer): zie ook de figuur hieronder. Ook waren er een aantal studies die een verband aantoonde tussen verbeterde schoonmaakmethoden en het aantal klachten (minder klachten bij verbetering schoonmaak).

De heranalyse leerde verder dat het beeld inconsistent is (verschillende studies geven verschillende bevindingen) waar het de volgende zaken betreft:

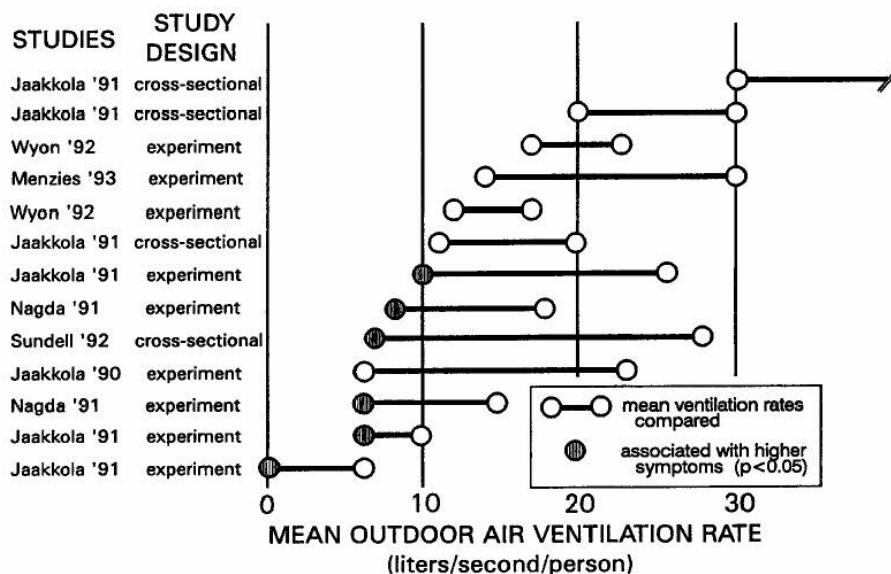
- Het gebruik van bevochtiging;
- De toepassing van apparatuur voor ionisatie van de binnenlucht.

Ten aanzien van de invloed van persoonlijke factoren waren de verschillende studies redelijk consistent.

Met name de volgende risico-factoren zijn geassocieerd met meer klachten:

- Geslacht (vrouwen meer klachten dan mannen);
- Werkstress / ontevredenheid t.a.v. werkhoud (meer klachten naarmate men ontevredener is);
- Allergieën en astma (meer SBS klachten bij kantoorwerkers met allergieën en astma).

### Figuur / tabel:



Figuur 12: Overzicht van studies naar verse luchthoeveelheden en SBS-klachten

**Conclusie:**

In gebouwen met airconditioning (koeling) komen meer a-specifieke gezondheidsklachten (SBS klachten) voor dan in gebouwen zonder volledige luchtbehandeling. Een risico-factor (voor SBS klachten) is verder een (te) hoge temperatuur in de winter en onvoldoende verse luchttoevoer (minder dan 36 m<sup>3</sup>/h per persoon). De eerste 2 factoren (gebruik airconditioning en hoge (lucht) temperatuur in de winter) hebben beide (tevens) een ongunstig effect op het energiegebruik. Factor nr. 3 (onvoldoende verse luchttoevoer) daarentegen heeft (m.n. tijdens de wintermaanden) een positief effect op het energiegebruik.

**Literatuurverwijzing:**

Mendell MJ. 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiological literature. Indoor Air 1993, Vol. 3, pp. 227-236.

## 2.15 Sundell, 1994. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports

**Betreft: SBS klachten algemeen, luchtkwaliteit**

Soort studie:  
Literatuurreview

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen &  
woningen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Zweden en Denemarken

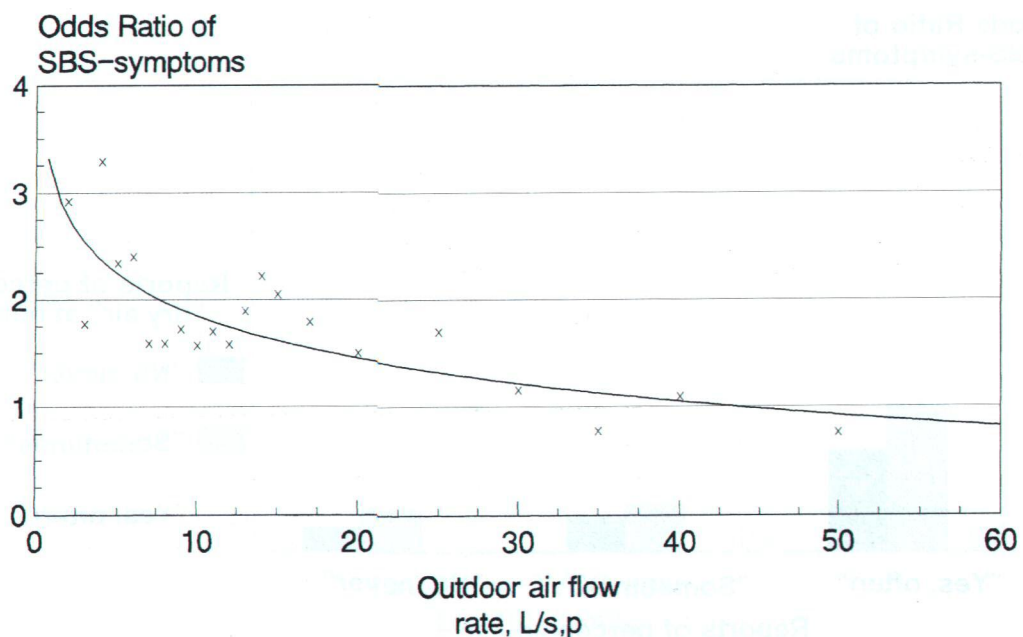
### Samenvatting bevindingen:

Het onderzoek omvat 3 verschillende studies die betrekking hebben op gebouwen en de gebruikers. Alle studies maken gebruik van enquêtes, klinische onderzoeken, gebouwonderzoeken en metingen.

Uit de studies blijkt dat weinig verse luchttoevoer in kantoorgebouwen geassocieerd is met een toename van sick building syndrome klachten (zgn. SBS). Ventilatie die minder dan 10 uur per dag in gebruik is, de aanwezigheid van kopieerapparaten, video display terminal werk, weinig psychosociale condities op het werk, vrouw zijn en gerapporteerde astma, eczeem en huidovergevoeligheid voor zonlicht zijn geassocieerd met een toenemend risico op SBS klachten. Het type ventilatie systeem, recirculatie en de aanwezigheid van warmtewielen zijn niet geassocieerd met een toenemende kans op SBS klachten. Meting van TVOC kan niet gezien worden als indicator van luchtvervuiling, vanuit gezondheidskundig oogpunt, bij lage blootstellingswaarden. 'Indoor air chemistry' is echter een belangrijk proces in de mogelijke transformatie producten van VOC.

Het gevoel van 'droge lucht' werd geassocieerd met SBS klachten, maar niet met de fysische luchtvochtigheid.

### Figuur / tabel:



Figuur 13: De odds-ratio van SBS klachten uitgezet tegen de verse luchttoevoerhoeveelheden (gecorrigeerd voor astma, type huid, werkkenmerken en aanwezigheid van kopieermachines)

### Conclusie:

De hoeveelheid verse luchttoevoer is geassocieerd met een toename van SBS-klachten. Hetzelfde geldt voor o.a. ventilatie die minder dan 10 uur per dag in gebruik is en de aanwezigheid van kopieerapparaten.

### Literatuurverwijzing:

Sundell J. 1994. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports. Indoor Air, supplement 2/94.

## 2.16 Leyten & Kurvers, 2006. Robustness of buildings and HVAC systems as a hypothetical construct explaining differences in building related health and comfort symptoms and complaint rates

Betreft: SBS klachten, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit

|                                 |                                     |                      |                          |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Soort studie:<br>Technical note | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

Ontwerpers gaan er meestal vanuit dat de door hun ontworpen gebouwen en installaties in de praktijk net zo goed werken als op de tekentafel of in de proefkamer. Als dat niet zo is ligt dat volgens hen niet aan het ontwerp maar aan de beheerder of de gebruikers. Echter, de veldonderzoeken laten zien dat hoe meer installatietechniek wordt toegepast, juist om een zo goed mogelijk binnenmilieu te realiseren, des te groter is de kans op klachten. We zien hier dus een discrepantie tussen hoge prestaties van bepaalde ontwerpen op de tekentafel en in de proefkamer en een onverwacht lage prestatie van diezelfde ontwerpen in echte in gebruik zijnde gebouwen. Bovendien is die discrepantie niet in alle gevallen hetzelfde. Eenvoudige klimaatsystemen, gecombineerd met goede bouwfysica, voldoen beter aan onze verwachtingen dan complexere ontwerpen. In dit artikel wordt de mate waarin een ontwerp in het echte gebruik voldoet aan de ontwerpdoelen gedefinieerd als de *robuustheid* van dat ontwerp. De veldonderzoeken en ook de praktijkervaring van adviseurs die onderzoek doen in echte in gebruik zijnde gebouwen laten zien dat veel ontwerpen die perfect functioneren op de tekentafel en in de proefkamer systematisch minder goed functioneren als zij moeten presteren in een echt in gebruik zijnd kantoor. Dit kan zo zijn wegens één of meer van de volgende redenen.

#### *Overgevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpaannames*

Sommige ontwerpen zijn overgevoelig voor (kleine) afwijkingen van de ontwerp aannames. Een duidelijk voorbeeld hiervan zijn inductie-units. Bij inductie-units is het heel belangrijk dat de eigenschappen van de units, zoals de hoeveelheid en de temperatuur van de ingeblazen lucht en de vorm van de *nozzles* (inblaaspijpjes) en de inblaasroosters precies aangepast zijn aan de eigenschappen van de werkruimte, zoals de vormgeving van het plafond en de plaats van de ramen. Wanneer deze zaken niet precies aan elkaar zijn aangepast, wordt het luchtstromingspatroon verstoord en ontstaan er te hoge luchtsnelheden in de verblijfszone en daardoor klachten over tocht of koude voeten. In de praktijk komen zulke misaanpassingen geregeld voor. Wanneer gedurende het bouwproces een ander inblaasrooster of een andere plafondstructuur wordt gekozen, wat makkelijk kan gebeuren, wordt het luchtstromingspatroon verstoord. Verwarmings- en ventilatiesystemen die technisch eenvoudiger zijn, zijn veel minder gevoelig voor dit soort afwijkingen van de ontwerpaannames en daarom robuuster.

#### *Onrealistische onderhoudseisen*

Sommige ontwerpen vereisen meer onderhoud dan andere. Om twee extremen naast elkaar te zetten: Het aanbrengen van thermisch open plafonds teneinde de bouwmasa te vergroten en zo temperatuuroverschrijdingen te beheersen is een zeer robuuste maatregel. Indien goed uitgevoerd is er weinig of geen onderhoud nodig. Eveneens robuust is het verminderen van het glaspercentage in de gevel. Aan de andere kant vereist een koelsectie geregeld onderhoud. Extra hoge eisen worden gesteld door installatieonderdelen waar microbiologische groei op kan treden, zoals sproeibevochtigers. Zulke onderdelen verlagen de robuustheid van het systeem. De robuustheid wordt nog verder verlaagd door onderdelen zoals de condensatiegootjes in inductie-units. Deze bevinden zich verspreid over het hele gebouw, wat sterk de kans vermindert dat zij goed worden onderhouden. Over het algemeen vereisen maatregelen waarbij de bouwfysica wordt geoptimaliseerd minder onderhoud en daarom zijn zij robuuster dan uitgebreide luchtbehandelingssystemen. Verder zijn gecentraliseerde systemen robuuster dan systemen die overal verspreid over het gebouw voorkomen.

#### *Integratie van koeling/verwarming en ventilatie*

Wanneer koeling/verwarming en ventilatie op een of andere manier geïntegreerd zijn, is de kans op disfunctioneren groter dan wanneer koeling/verwarming en ventilatie zo veel mogelijk gescheiden zijn. Eén voorbeeld is inductie-units, waar het verminderen van de luchttoevoer, bijvoorbeeld om tochtklachten te verminderen, ook de koelcapaciteit vermindert. Een ander voorbeeld is variabel-luchtvolume-systemen (VAV-systemen), waarbij het variëren van de luchttoevoer om de temperatuur constant te houden tot onvoldoende toevoer van verse lucht kan leiden (zie het volgende kopje).

#### *Variëren van luchttoevoerhoeveelheden*

In de praktijk worden luchttoevoerhoeveelheden vaak veel minder nauwkeurig geregeld dan op de tekentafel wordt aangenomen. Anders gezegd: het variëren van luchtvolumes binnen de installatie verlaagt de robuustheid van de installatie. Dit is vooral zo bij VAV-systemen, waar de onderdelen die de volumes regelen over het hele gebouw verspreid zijn, zodat adequate controle en onderhoud in de praktijk nauwelijks haalbaar zijn. Nu worden in VAV-systemen de luchtvolumes gevarieerd om de ruimtetemperatuur te regelen, dus het betreft hier ook een

voorbeeld van het integreren van koeling/verwarming en ventilatie, zoals besproken onder het vorige kopje.

*Gebrek aan transparantie werking installaties voor werknemers en beheerders*

Een luchtbehandelingsinstallatie is transparant wanneer (relatieve) leken op een basaal niveau kunnen begrijpen hoe het systeem werkt alleen door en naar te kijken en het te gebruiken en wanneer zij kunnen zien dat het systeem niet goed werkt en, tot op zekere hoogte, wat er mis mee is. Een paar voorbeelden:

- De meeste leken hebben enig basaal begrip van de werking van verwarmingsradiatoren. De meeste dingen die mis kunnen gaan met radiatoren kunnen door de werknemers zelf waargenomen worden.
- De werking van een te openen raam is ook inzichtelijk voor de meeste mensen. Men kan direct zien hoe ver het open staat, of het vast zit en of het het gebruik van de lichtwering hindert. Wanneer te openen ramen tocht veroorzaken, is meestal eenvoudig vast te stellen om welke ramen het gaat en hoe ver de ramen opengezet kunnen worden voordat er problemen ontstaan.
- Indien de buitenzonwering niet goed werkt kunnen de werknemers dat direct zien.

Vergelijk dit met VAV-systemen, waarbij het soms zelfs voor experts moeilijk is om vast te stellen wat er mis is wanneer er klachten zijn. Daarom zijn radiatoren, te openen ramen en buitenzonwering transparanter, en daardoor ook robuuster, dan VAV-systemen of andere complexere systemen. De crux is dat bij een transparant systeem de klachtenbehandeling veel makkelijker is. Wanneer de werknemers hun klachten kunnen indienen in termen als "de radiator blijft koud" of "het raam zit vast" in plaats van "de lucht is te droog" of "ik krijg hier altijd hoofdpijn", is de kans veel groter dat het gebouwbeheer de klachten serieus neemt en juist interpreteert. Hetzelfde geldt voor externe deskundigen, indien deze ingeschakeld worden.

*Te weinig aanpak aan de bron*

Wanneer luchtverontreinigingen worden aangepakt door ventilatie, blijft het risico dat de concentratie van de luchtverontreiniging(en) te hoog is, bijvoorbeeld door onvoldoende ventilatie, door onvoldoende ventilatie-efficiëntie, doordat de sterkte van de bron(nen) te laag is ingeschat of doordat er tussen de verontreinigingen onvoorziene chemische reacties optreden die irriterende stoffen produceren. Wanneer de luchtverontreinigingen aan de bron worden aangepakt, d.w.z. wanneer de bronnen er in het geheel niet zijn, kan men er heel zeker van zijn dat die verontreiniging niet op zal treden. Aanpak aan de bron is dus een bijzondere vorm van robuustheid.

**Figuur / tabel:**

-

**Conclusie:**

Het comfort en de gezondheid van kantoorgebouwen kunnen verhoogd worden door robuuste oplossingen te kiezen. Robuuste oplossingen zijn ook energiezuiniger:

Hoge robuustheid impliceert dat luchtverontreinigingen worden aangepakt aan de bron. Hiermee worden bronnen zoals koeling en bevochtiging van de ventilatielucht vermeden. Ook kan bij een strikte bronaanpak de hoeveelheid verse lucht laag worden gehouden.

Hoge robuustheid impliceert dat warmtebronnen, zonbelasting en interne bronnen, worden aangepakt en dat gebruik wordt gemaakt van thermisch actieve bouwmassa en nachtventilatie.

Hoge robuustheid impliceert de scheiding van enerzijds verwarming en koeling en anderzijds ventilatie. Een concrete invulling hiervan is het toepassen van stralingsverwarming, die hoog comfort door lage luchttemperatuur combineert met energiezuinigheid.

**Literatuurverwijzing:**

Leyten JL, Kurvers SR. 2006. Robustness of buildings and HVAC systems as a hypothetical construct explaining differences in building related health and comfort symptoms and complaint rates. *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp. 701-707.

## 2.17 Oseland, 1999. Environmental factors affecting office worker performance: a review of evidence

**Betreft: Productiviteit, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit, licht**

Soort studie:  
Literatuurstudie

Gebouwcategorie:  
Utiliteitsgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
n.v.t.

### Samenvatting bevindingen:

De literatuurstudie had tot doel om te bepalen hoe groot het effect van verschillende binnenmilieu parameters is op de productiviteit van kantoorwerkers. Hiertoe is een review uitgevoerd van zowel laboratorium- als veldstudies. Daarbij werd en passant ook gekeken naar (uitkomsten van) studies in industriële werkomgevingen en naar meer algemene theorie over arbeidsproductiviteit en werkomstandigheden.

Enige conclusies uit het onderzoeksrapport:

- In het Verenigd Koninkrijk wordt door kantoororganisaties gemiddeld genomen 75 tot 85% van de uitgaven besteed aan salarissen en andere personeelsgebonden kosten. Slechts 5 tot 10% van de bedrijfskosten hebben betrekking op huisvestingskosten (huur, afschrijving, onderhoud, energie e.d.).
- Dit betekent dat bij een doelmatige verbetering van de fysieke werkomstandigheden (binnenmilieu verbeterende renovatie) de (verborgen) opbrengsten (verhoging productiviteit) vaak vele malen hoger zijn dan de kosten. Maatregelen die de productiviteit met een paar procent verhogen verdienen zich in de regel in 1 tot 2 jaar weer terug.
- Ten onrechte wordt door bedrijfsleven en overheid vaak alleen aandacht besteed aan de invloed van organisatorische factoren op de productiviteit (managementstijl, werkdruk, trainingen e.d.) en niet of nauwelijks aan de fysieke werkomgeving. In deze context haalt de auteur Maslow aan, die stelde: 'Behaviour is determined by several classes of determinants of which motivation is one and environmental forces is another'. Anders gezegd: medewerkers kunnen niet overgaan tot wat Maslow zelf-actualisatie noemt om op vol vermogen te functioneren zolang er niet is voldaan aan fysiologische basisbehoeften en de werkomgeving niet 'in orde' is.
- Het algemene beeld uit de onderzochte literatuur is dat werkplekontwerp en werkomgeving een effect van minimaal 15% heeft op de productiviteit. Terwijl sommige studies (na werkplek verbetering) ook toenames van 30-50% laten zien.
- Het effect van individuele werkplek/binnenmilieu factoren op de productiviteit is door de auteur in een tabel samengevat, met verwijzing naar de oorspronkelijke studies. In de tabel hierna is een deel van de oorspronkelijke tabel weergegeven.

**Figuur/tabel:**

*Tabel 2: Gemeten effecten van verschillende werkplek-interventies op de productiviteit*

| Interventie                                                                                                 | Bron          | Productiviteits-effect |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| Verhoging verlichtingsniveau en verbetering visueel comfort bij papierwerk                                  | Barnaby       | +2,8%                  |
| Introductie van indirecte verlichting (uplighters) bij beeldschermwerk                                      | Hedge         | +3,0%                  |
| Algemene verbetering verlichting in een ontwerpersstudio                                                    | Browning      | +15%                   |
| Introductie van akoestisch absorberende panelen in een typekamer                                            | Wilson        | +29%                   |
| Aanbrengen van koeling in een elektronische werkplaats                                                      | Wyon          | +3,5%                  |
| Verhoging verse luchttoevoer in een kantoor                                                                 | Kemp & Dingle | +3,0%                  |
| Verbetering binnenluchtkwaliteit (tot niveau van nieuwe normen) in kantoorgebouwen                          | Dorgan        | +4,0%                  |
| Verplaatsing van een organisatie van een natuurlijk geventileerd gebouw naar een gebouw met airconditioning | Sterling      | -6,0%                  |
| Introductie van individuele beïnvloeding van temperatuur en verse luchttoevoer                              | Drake et al   | +9,0%                  |
| Introductie van individuele beïnvloeding van temperatuur en verse luchttoevoer                              | Kroner et al  | +2,8%                  |
| Verbeterd ergonomisch ontwerp van werkplekken                                                               | Springer      | +10,0%                 |
| Verhoging privacy / verplaatsing kantoorwerkers van kantoorruimte naar kamerkantoren                        | Brill et al   | +12,3%                 |

**Conclusie:**

Werkplek ontwerp en binnenmilieu kwaliteit heeft een aanzienlijk effect op de productiviteit. In sommige situaties kan de productiviteit met 15% of meer verhoogd worden door de juiste verbetermaatregelen. De meeste organisaties geven 10 tot 15 keer meer uit aan personeel dan aan huisvesting. Vandaar dat werkplek/binnenmilieu-verbeterende maatregelen die zijn geselecteerd op productiviteitsverhogende potentie zich in de regel in relatief korte tijd terug verdienen.

**Literatuurverwijzing:**

Oseland N.A., 1999. Environmental factors affecting office worker performance: a review of evidence. Technical memorandum TM24. CIBSE, Londen, Verenigd Koninkrijk.



## 2.18 Wyon, 1996. Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility

Betreft: Comfort, thermisch binnenklimaat

|                                              |                                     |                       |                               |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Soort studie:<br>Heranalyse 4<br>veldstudies | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Zweden + VS |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

Op basis van een theoretische analyse van de PMV-PPD relatie (zie bv. NEN 7730:2005) en (deels door dezelfde auteur uitgevoerde) veldonderzoeken is bepaald wat de productiviteits-effecten zijn van 'Individual Climate Control'. Het betreft hier een werktafel gebonden klimaat-systeem waarmee de temperatuur in het eigen microklimaat rond de werkplek is te beïnvloeden. Oftewel: individuele temperatuur-beïnvloeding pur sang.

Het is algemeen bekend dat de gewenste temperatuur sterk kan verschillen van persoon tot persoon. Stel dat het groepsgemiddelde optimum in een bepaalde situatie 22 °C is (bij dezelfde werkzaamheden en gelijklopende kledingisolatie) dan zijn er per 100 'blootgestelden' altijd nog rond de 5 mensen die een temperatuur van 20 °C of lager prefereren terwijl 5 anderen liever een temperatuur van 24 °C of hoger gewild zouden hebben.

In het artikel wordt aangetoond dat >90% van de gebouwgebruikers een individueel thermisch neutraal (= optimaal comfortabel) binnenklimaat kan worden aangeboden indien voorzien is in individuele beïnvloeding met  $\pm 2$  °C rond het groepsgemiddelde optimum, terwijl dit >99% van de gebouwgebruikers wordt bij individuele beïnvloeding met  $\pm 3$  °C rond het groepsgemiddelde optimum.

Met verwijzing naar o.a. een veldstudie bij een verzekeringsbank (specifiek bij een afdeling waar verzekerings claims worden afgehandeld) kon worden bewezen dat bij hoofdzakelijk mentale arbeid het effect van de introductie van een 'Individual Climate Control' waarmee de temperatuur met  $\pm 3$  °C is te beïnvloeden op de (gemeten) productiviteit rond de 3% is. Betreft het meer repetitief werk (bv. tekstverwerken, typen, data-entry) dan zou een effect gevonden zijn van rond de 7%. Was er sprake geweest van een startsituatie waarbij niet al een temperatuur aangeboden zou zijn die rond het thermisch neutrale groepsgemiddelde lag, dan zouden de effecten nog veel groter geweest zijn (bv. 10-20% indien de startsituatie op PMV = +3 had gelegen).

### Figuur / tabel:



Figuur 14: tafel met 'Individual Climate Control System'



**Conclusie:**

Om te bereiken dat alle gebouwgebruikers (99%) de temperatuur naar wens in kunnen stellen zal moeten worden voorzien in individuele beïnvloeding van de temperatuur met  $\pm 3$  °C (zomer en winter). Dit leidt niet alleen tot meer comfort op de eigen werkplek maar ook tot een hogere productiviteit. Afhankelijk van het type werk dat verricht wordt ligt de productiviteit 3-7% hoger in gebouwen met individuele regeling van de temperatuur t.o.v. gebouwen zonder persoonlijke beïnvloeding.

**Literatuurverwijzing:**

Wyon DP. 1996. Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 1, pp. 1067-1072.

## 2.19 Andersen et al, 1974. Human response to 78-hour exposure to dry air

Betreft: SBS klachten, luchtkwaliteit

Soort studie:  
Laboratoriumstudie

Gebouwcategorie:  
Algemeen

Sterkte studie:  
\*\*

Uitgevoerd in:  
Denemarken

### Samenvatting bevindingen:

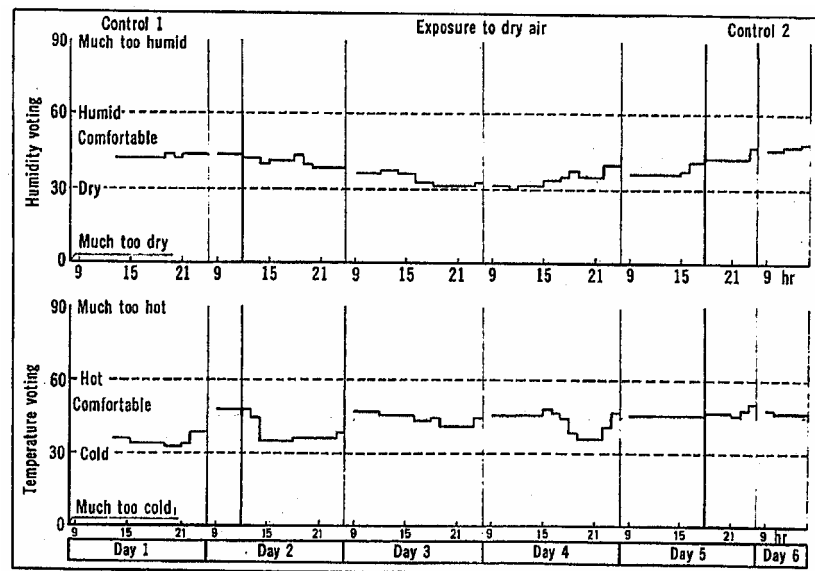
Andersen onderzoekt het effect van droge lucht op de productie van neusslijm, luchtweerstand in de neus, maximale luchtstroom door de neus bij inspanning en discomfort bij blootstelling aan schone lucht van 23°C. Na een expositie van 27 uur aan 50% relatieve vochtigheid (RV), volgde een expositie van 78 uur aan 9% RV en daarna nog 20 uur aan 50% RV.

Er werden geen invloed van de RV op de productie van neusslijm, luchtweerstand in de neus en maximale luchtstroom door de neus bij inspanning gevonden.

Het oordeel van de proefpersonen over de vochtigheid van de lucht varieerde sterk, was nauwelijks gerelateerd aan de RV en het gemiddelde oordeel lag altijd in het comfortgebied.

De auteurs concluderen dat er geen fysiologische noodzaak is voor het bevochtigen van de lucht.

### Figuur / tabel:



Figuur 15: Variatie over de tijd over het gemiddelde vochtigheid oordeel (bovenste grafiek) en temperatuur oordeel (onderste helft). De comfortzones lopen van 30 tot 60. Het maximale comfort in beide grafieken ligt omstreeks 45.

### Conclusie:

Er is geen fysiologische noodzaak voor het bevochtigen van de lucht.

### Literatuurverwijzing:

Andersen I et al. 1974. Human response to 78-hour exposure to dry air. Arch Environ Health, Vol 29, Dec 74, pp. 319-324.

| 2.20 Andersson et al, 1975. Human responses to dry, humidified and intermittently humidified air in large office buildings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                     |                       |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Betreft: SBS klachten, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                       |                          |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Zweden |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>In een veldonderzoek in meerdere kantoorgebouwen worden 600 werknemers, zonder dat zij dat weten blootgesteld aan verschillende condities:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Continue bevochtiging van de toevoerlucht;</li> <li>▪ Niet-continue bevochtiging van de toevoerlucht;</li> <li>▪ Geen bevochtiging van de toevoerlucht.</li> </ul> <p>Resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Klachten over droge lucht treden op bij luchttemperatuur boven 22°C, ongeacht de RV. Wanneer boven 22°C wordt bevochtigd, nemen de klachten over droge lucht toe;</li> <li>▪ Niet-continue bevochtiging bij temperatuur boven 22°C kan de klachten over droge lucht iets verminderen zonder zelf tot nieuwe klachten te leiden.</li> </ul> <p>Aanbevelingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De beste manier om klachten over droge lucht te voorkomen is de luchttemperatuur niet boven 22°C laten komen. Optimaal is 21°C;</li> <li>▪ Indien de luchttemperatuur om de één of andere reden toch boven 22°C moet zijn, is niet-continue bevochtiging van de toevoerlucht beter dan continue bevochtiging van de toevoerlucht.</li> </ul> |                                     |                       |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                       |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Boven de 21°C neemt de ervaren luchtkwaliteit af bij stijgende luchttemperatuur.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                       |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Andersson LO et al. 1975. Human responses to dry, humidified and intermittently humidified air in large office buildings. Swedish Building Research.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                     |                       |                          |

| <b>2.21 Sundell &amp; Lindvall, 1993. Indoor air humidity and sensation of dryness as risk indicators of SBS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                        |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Betreft: SBS klachten, luchtkwaliteit</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                        |                          |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Zweden |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> Het betrof hier een studie waarbij de volgende acties zijn verricht:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uitzetten van een vragenlijst onder 4943 kantoorwerkers;</li> <li>▪ Binnenklimaatmetingen in 540 kantoor kamers in 160 gebouwen;</li> <li>▪ TVOC-metingen in 85 kamers (TVOC = Total Volatile Organic Compounds, een soort totaalmeting van het aantal Vluchtige Organische Verbindingen in de lucht).</li> </ul> <p>De resultaten van het onderzoek zijn als volgt samen te vatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Het gevoel van droge lucht hing sterk samen met het voorkomen van SBS-symptomen;</li> <li>▪ Er was geen samenhang tussen de gemeten luchtvochtigheid en het voorkomen van SBS-symptomen of het gevoel van droge lucht;</li> <li>▪ Er is wel een samenhang met het gevoel van droge lucht en de vermindering van TVOC ("lost" TVOC) in de ruimte. (De verklaring hiervoor is dat VOC's reageren met ozon wat leidt tot verbindingen die irriterender zijn dan de VOC's zelf).</li> </ul> |                                     |                        |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                     |                        |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> Klachten over droge lucht worden niet veroorzaakt door lage RV, maar door luchtverontreinigingen. Het gevoel van droge lucht hangt wel sterk samen met het voorkomen van SBS-symptomen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                     |                        |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Sundell J, Lindvall T. 1993. Indoor air humidity and sensation of dryness as risk indicators of SBS. Indoor Air, Vol 3, pp. 382-390.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                          |

## 2.22 Fang et al, 2003. Sick Building Syndrome symptoms caused by low humidity

Betreft: SBS klachten, luchtkwaliteit

Soort studie:  
Laboratoriumstudie

Gebouwcategorie:  
Algemeen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Denemarken

### Samenvatting bevindingen:

SBS-symptomen werden onderzocht bij schone lucht van 22°C met 5%, 15%, 25% en 35% RV en bij vervuilde lucht, representatief voor een normale kantooromgeving, van 18°C, 22°C en 26°C met een constant vochtgehalte van 2,4g/kg droge lucht, overeenkomend met 35% RV bij 22°C.

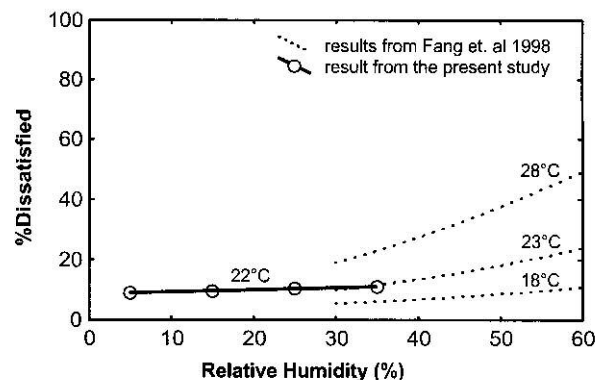
De resultaten waren als volgt:

- Blootstelling aan lage RV ( $\leq 15\%$ ) veroorzaakt geen SBS-symptomen bij normale, gezonde mensen;
- Blootstelling aan RV  $\leq 15\%$  versterkt SBS-symptomen bij personen die gevoelig zijn voor het binnenmilieu, zoals contactlensdragers en mensen met hooikoorts of droge huid;
- Blootstelling aan hogere luchttemperatuur (26°C) verhoogt het gevoel van droge lucht en hiermee samenhangende symptomen bij personen die gevoelig zijn voor het binnenmilieu;
- Luchtverontreiniging op normaal niveau verergert het effect van lage RV op SBS-symptomen bij personen die gevoelig zijn voor het binnenmilieu.

Uit eerder onderzoek waarnaar verwezen werd (zie ook de figuur) blijkt:

- Boven 15% RV neemt de ervaren luchtkwaliteit af bij stijgende RV (hoe vochtiger de lucht, hoe meer ontevredenheid);
- Boven de 21°C neemt de ervaren luchtkwaliteit af bij stijgende RV (hoe hoger de luchttemperatuur, hoe meer ontevredenheid).

### Figuur / tabel:



Figuur 16: Verband tussen relatieve vochtigheid, luchttemperatuur en luchtkwaliteit

### Conclusie:

Klachten over droge lucht worden in de regel niet veroorzaakt door lage RV, maar door te hoge temperaturen ( $>21^\circ\text{C}$ ). Een relatieve vochtigheid (RV) onder 10-15% kan SBS-symptomen opleveren bij gevoelige personen of bv. dragers van contactlenzen. Boven 15% RV neemt de ervaren luchtkwaliteit af bij stijgende RV. Boven de  $21^\circ\text{C}$  neemt de ervaren luchtkwaliteit af bij stijgende RV.

### Literatuurverwijzing:

Fang L, Wyon DP, Fanger PO. 2003. Sick Building Syndrome symptoms caused by low humidity. Proceedings Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 1-6.

| 2.23 Lagercrantz et al, 2003. Objective and subjective responses to low relative humidity in an office intervention study                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                     |                        |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Betreft: SBS klachten, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                     |                        |                          |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Zweden |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Experimenteel veldonderzoek naar het effect van de zonder bevochtiging optredende relatieve vochtigheid RV 10-20%) en door bevochtiging verhoogde RV (23-24%).</p> <p>De resultaten van het onderzoek zijn als volgt samen te vatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>RV <math>\geq</math> 10% veroorzaakt niet meer discomfort dan bij willekeurige andere omstandigheden;</li> <li>Er werden geen effecten gevonden van lage RV op objectieve metingen van de fysiologische werking van ogen, huid en neuskanaal.</li> </ul> <p>Conclusies van de auteurs:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Er is geen aanwijzing dat kunstmatige bevochtiging in de winter het comfort of de gezondheid van werknemers bevordert.</li> <li>Er is geen rechtvaardiging voor het opnemen van een minimumwaarde voor RV in richtlijnen.</li> </ul> |                                     |                        |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                        |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Een relatieve vochtigheid (RV) boven 10-15% levert niet meer SBS-symptomen of comfortklachten op. Verder is er geen aanwijzing dat kunstmatige bevochtiging in de winter het comfort of de gezondheid van werknemers bevordert en er is geen rechtvaardiging voor het opnemen van een minimumwaarde voor RV in richtlijnen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Lagercrantz L. et al. 2003. Objective and subjective responses to low relative humidity in an office intervention study. Proceedings Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 163-168.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                        |                          |

## 2.24 Fang et al, 2004. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance

Betreft: Comfort, luchtkwaliteit

Soort studie:  
Laboratoriumstudie

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

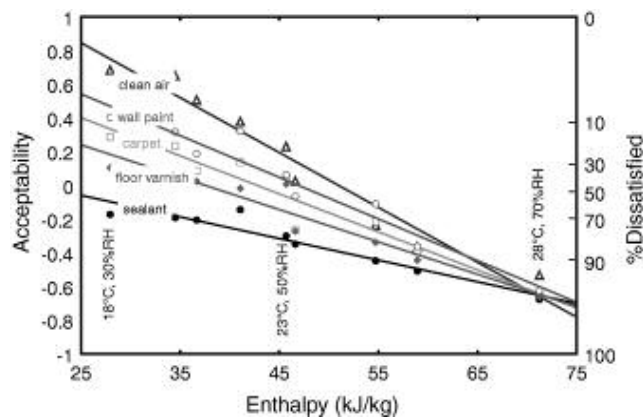
Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Denemarken

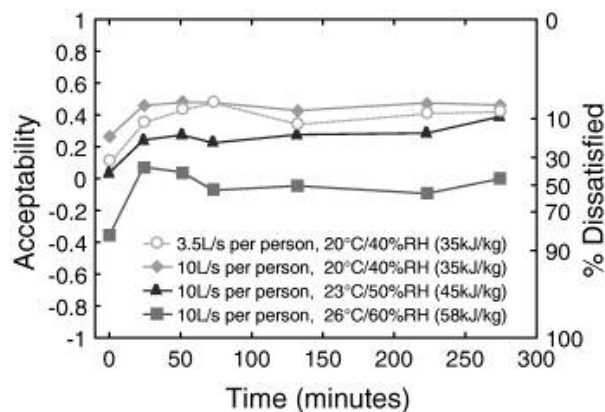
### Samenvatting bevindingen:

De toevoerlucht werd geleid langs vervuild tapijt dat qua hoeveelheid representatief was voor een normaal kantoor. Bij een gelijkblijvende ventilatie van 10 l/s per persoon is de ervaren luchtkwaliteit lager naarmate de enthalpie (warmte-inhoud) van de lucht hoger is, zie figuur 17. Verder bleek dat de ervaren luchtkwaliteit bij een ventilatie van 3,5 l/s per persoon en een lage enthalpie van 35 kJ/kg (i.c. 20°C, 40% RV) beter is dan bij een ventilatie van 10 l/s per persoon en een hogere enthalpie van 45 kJ/kg (23°C, 50% RV) of 58 kJ/kg (26°C, 60% RV), zie figuur 18.

### Figuur / tabel:



Figuur 17: Lineaire correlatie tussen acceptatie en enthalpie van 5 lucht samples



Figuur 18: De acceptatie van lucht onder verschillende omstandigheden

### Conclusie:

Biedt de mogelijkheid om de ventilatie, en dus het energieverbruik, te verlagen door de enthalpie te verlagen. Dit geldt zelfs bij een realistisch niveau van luchtverontreiniging. Een voor de hand liggende vorm hiervan is het toepassen van stralingsverwarming, waarbij in de winter met een lagere luchttemperatuur thermisch comfort gerealiseerd kan worden.

### Literatuurverwijzing:

Fang L. Wyon D.P. Clausen G. Fanger P.O. 2004. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air Journal 2004; 14 (Suppl 7): 74-81.



| 2.25 Boerstra et al, 2001. Oriënterend onderzoek Binnenmilieu consequenties aanscherping EPC eisen utiliteitsbouw                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                        |                       |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Betreft: Gezondheid, energie, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                        |                       |                              |
| Soort studie:<br>Literatuuronderzoek & expert judgement                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Gebouwcategorie:<br>Diverse U-gebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Wereldwijd |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b></p> <p>De inschatting is dat de gevolgen van een 10-15% aanscherping van de EPC-eisen voor utiliteitsbouw op de kwaliteit van het binnenmilieu, met name ten aanzien van de luchtkwaliteit minimaal zullen zijn.</p> <p>De auteurs zien uit oogpunt van binnenmilieu geen redenen om af te zien van aanscherping van de EPC-eisen. Over het algemeen verwachten zij geen negatieve invloed van aanscherping op de gezondheid en het comfort en welzijn van gebouwgebruikers <i>onder de voorwaarde dat rond de aanscherping goede voorlichting wordt gegeven over de wijze waarop eventuele risico's kunnen worden vermeden.</i></p> <p>Veel maatregelen die mogelijk extra geselecteerd worden ten gevolge van aanscherping van de energieprestatie-eisen, zijn <i>gunstig</i> uit binnenmilieu-oogpunt. Bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Toepassing van de lage temperatuur verwarming (en hoge temperatuur koeling);</li> <li>▪ Extra thermische isolatie van uitwendige scheidingsconstructies (inclusief beglazing), met name (grootste binnenmilieu winst) wanneer het isolatie van begane grond vloeren betreft;</li> <li>▪ Toepassing van energiezuinige verlichting en energiezuinige regelstrategieën (is beperking van interne warmtelast, dus minder temperatuurproblemen etc.);</li> <li>▪ Minder toepassing van mechanische koeling.</li> </ul> <p>Er is alleen sprake van <i>gezondheidsrisico's</i> indien ten gevolge van aanscherping gekozen wordt voor de volgende (extra) maatregelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ te sterke vermindering van de hoeveelheid verse luchttoevoer per persoon / te sterke terugregeling (winter) van ventilatiedebieten (waarbij het niveau onder 35 m<sup>3</sup>/h/pp komt);</li> <li>▪ toepassing van recirculatie;</li> <li>▪ toepassing van warmtewielen;</li> <li>▪ te sterke beperking van de grootte van daglichtopeningen (met name wanneer de daglichtfactor onder de ca. 3% komt).</li> </ul> <p>Verder <i>kunnen</i> er problemen optreden (alleen bij onoordeelkundige uitvoering) op de volgende gebieden: toepassing zonneboilers zonder adequate naverwarmingsvoorziening (in verband met Legionella risico's), toepassing van relatief donker zonwerend glas (ongunstige LTA / ZTA combinatie van het glas, te lage LTA waarde).</p> <p>Een aandachtspunt is verder het aspect temperatuur-overschrijding in de zomer.</p> |                                        |                       |                              |
| <p><b>Figuur / tabel:</b></p> <p>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |                       |                              |
| <p><b>Conclusie:</b></p> <p>De gevolgen van het aanscherpen van de EPC-eisen voor de utiliteitsbouw zijn minimaal op de kwaliteit van het binnenmilieu, met name ten aanzien van de luchtkwaliteit. <u>Mits</u> goede voorlichting wordt gegeven over de wijze waarop eventuele risico's (zoals toepassing van recirculatie, warmtewielen) vermeden kunnen worden.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |                       |                              |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b></p> <p>Boerstra AC, Raue AK, Bosch JS. 2001. Oriënterend onderzoek - Binnenmilieu consequenties aanscherping EPC eisen utiliteitsbouw. Novem bv, Utrecht.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                        |                       |                              |

| 2.26 Pejtersen, 1996. Sensory air pollution caused by rotary heat exchangers                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              |                       |                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Betreft: Comfort, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              |                       |                              |
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Gebouwcategorie:<br>Algemeen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Denemarken |
| <b>Samenvatting bevindingen:</b><br>De <i>sensory pollution load</i> van een vochtoverdragend en een niet-vochtoverdragend warmtewiel wordt in laboratorium onderzocht. De auteur concludeert dat warmtewielen van beide types sterk kunnen bijdragen aan de <i>sensory pollution load</i> doordat zij verontreinigingen uit de afvoerlucht adsorberen en afgeven aan de toevoerlucht. |                              |                       |                              |
| <b>Figuur / tabel:</b><br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                              |                       |                              |
| <b>Conclusie:</b><br>Warmtewielen kunnen sterk bijdragen aan de verontreiniging van de toevoerlucht. Het gebruik van warmtewielen wordt daarom afgeraden met name in gebouwen met (lokaal) sterke verontreinigingsbronnen.                                                                                                                                                             |                              |                       |                              |
| <b>Literatuurverwijzing:</b><br>Pejtersen J. 1996. Sensory air pollution caused by rotary heat exchangers. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 3, pp. 459-464.                                                                                                                                                                                                   |                              |                       |                              |

| 2.27 Ruud & Carlsson, 1996. Transfer of pollutants in rotary air-to-air heat exchangers – a state of the art investigation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                        |                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Betreft: Gezondheid, luchtkwaliteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                          |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Zweden |
| <b>Samenvatting bevindingen:</b><br>Veldonderzoek naar 82 in gebruik zijnde wamtwielen. Conclusies van de auteurs: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vochtoverbrengende wamtwielen brengen meer vervuilingen over dan niet-vochtoverbrengende wamtwielen.</li> <li>- Niet-vochtoverbrengende wamtwielen kunnen na een paar jaar gebruik vochtoverbrengend worden.</li> <li>- Bij gebruik van een wamtwiel moet, uitgaande van de minimumstandaard voor verse luchttoevoer, deze met 20% verhoogd worden.</li> </ul> |                                     |                        |                          |
| <b>Figuur / tabel:</b><br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                     |                        |                          |
| <b>Conclusie:</b><br>Zowel vochtoverbrengende als niet-vochtoverbrengende wamtwielen vervuilen de toevoerlucht. Het gebruik van wamtwielen wordt daarom afgeraden met name in gebouwen met (lokaal) sterke verontreinigingsbronnen.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                          |
| <b>Literatuurverwijzing:</b><br>Ruud S, Carlsson T. 1996. Transfer of pollutants in rotary air-to-air heat exchangers – a state of the art investigation. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 3, pp. 977-982.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                        |                          |

## 2.28 Bluyssen, 2001. Airless study, publishable final report

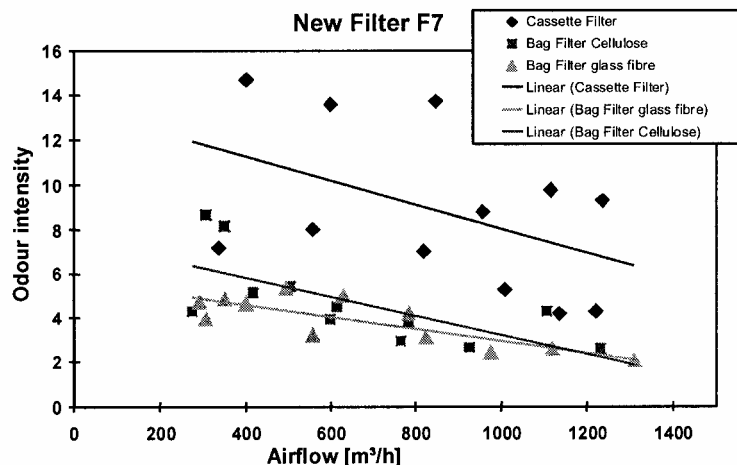
| Betreft: Comfort, gezondheid, luchtkwaliteit              |                                                               |                        |                                           |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|
| Soort studie:<br>Literatuurstudie +<br>Laboratoriumstudie | Gebouwcategorie:<br>Algemeen met nadruk<br>op kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>diverse Europese landen |

### Samenvatting bevindingen:

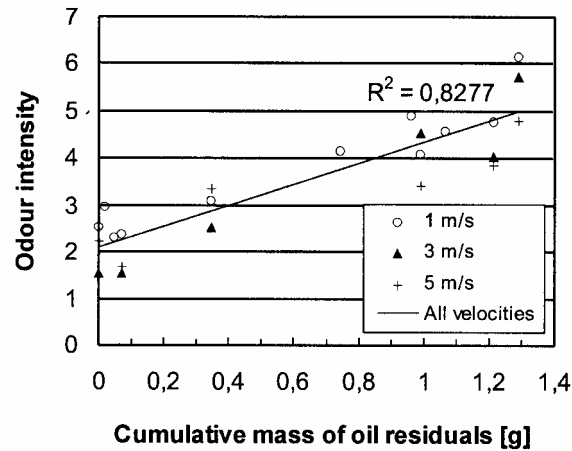
Onderzoeksproject naar onderdelen van het ventilatiesysteem als luchtvervuilingsbron. Belangrijkste conclusies:

- Filters zijn één van de voornaamste bronnen van verontreiniging in ventilatiesystemen. DE verontreiniging van nieuwe filters neemt af in de tijd en vervolgens neemt deze weer toe. De oorzaak van verontreiniging door filters nadat zij een tijdje in gebruik zijn, is nog niet geheel duidelijk. Het lijkt erop dat micro-organismen niet de enige bron zijn. Omgevingscondities zoals luchtstroom (debiet en periodiek/continue) en temperatuur hebben geen invloed op de waargenomen luchtkwaliteit van de lucht die een filter gepasseerd is.
- Afhankelijk van het productieproces bevatten nieuwe spiralo-buizen, flexibele kanalen en andere onderdelen van kanalen kleine hoeveelheden olieresidu. Deze olielaag is zeer dun en onzichtbaar, maar emitteert een onaangename geur. Emissies van stof/vuil dat zich tijdens het verblijf op de bouwplaats ophoopt, lijken minder belangrijk. De organische stof die zich tijdens het gebruik van een ventilatiesysteem ophopen in luchtkanalen, kunnen echter wel een belangrijke bron van verontreiniging zijn. Het effect van de luchtstroom (debiet) op de waargenomen luchtkwaliteit was klein.
- Luchtbevochtigers verontreinigen de passerende lucht significant indien de bevochtiger niet correct wordt gebruikt en/of de luchtbevochtigers niet goed worden onderhouden. Periodieke schoonmaak is absoluut noodzakelijk, evenals het gebruik van vers water.
- Verwarmings- en koelbatterijen zonder water in de condensopvang zijn niet een bron van verontreiniging. Koelbatterijen met water in de condensopvang zijn microbiologische reservoirs, die wel een bron van verontreiniging kunnen zijn.
- Warmtewielen kunnen op drie manieren stoffen transporteren van de afvoer- naar de toevoerlucht: met lucht die door het wiel wordt meegenomen, door lekkage tussen het wiel en de scheidingswand en door adsorptie-desorptie op het oppervlak van het wiel. Lekkage kan worden voorkomen door een goede installatie en het gebruik van een spuisectie. Adsorptie-desorptie van VOC's kan echter altijd optreden, zelfs wanneer het wiel goed geïnstalleerd is. De VOC's met de hoogste kookpunten zijn hierbij de koplopers: het hoogste recirculatievoud werd gevonden voor fenol (30%).

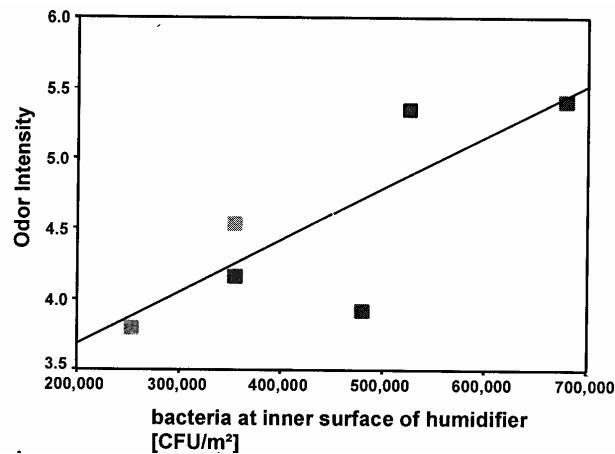
Figuur / tabel:



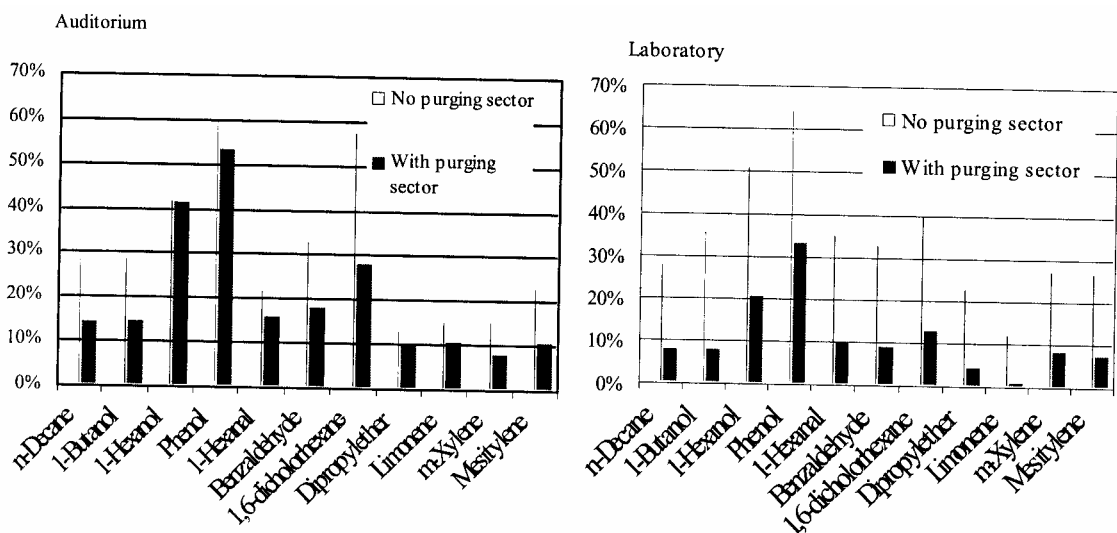
Figuur 19: Vergelijking van verschillende nieuwe filters (filter klasse F7)



Figuur 20: Correlatie tussen de geurintensiteit en de massa van olie residuen in de geteste kanalen



Figuur 21: Concentratie bacteriën aan de binnenzijde van de bevochtiger gecorreleerd met de geurintensiteit



Figuur 22: Gemiddelde VOC recirculatievouden gemeten in beide units; met en zonder zuiveringssectie

**Conclusie:**

Filters zijn één van de voornaamste bronnen van verontreiniging in ventilatiesystemen.

Afhankelijk van het productieproces bevatten nieuwe spiralo-buizen, flexibele kanalen en andere onderdelen van kanalen kleine hoeveelheden olieresidu die een onaangename geur emitteren. Ook de organische stof die zich tijdens het gebruik van een ventilatiesysteem ophopen in luchtkanalen, kunnen een belangrijke bron van verontreiniging zijn.

Luchtbevochtigers verontreinigen de passerende lucht significant indien de bevochtiger niet correct wordt gebruikt en/of de luchtbevochtigers niet goed worden onderhouden. Verwarmings- en koelbatterijen zonder water in de condensopvang zijn niet een bron van verontreiniging.

Er zijn drie manieren waarop warmtewielen stoffen kunnen transporteren van de afvoer naar de toevoerlucht.

**Literatuurverwijzing:**

Bluyssen Ph M. 2001. AIRLESS - PUBLISHABLE FINAL REPORT. TNO Building and Construction Research, Contract JOR3-CT97-0171.

## 2.29 Bluysen et al, 1995. Final report. European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings

**Betreft: SBS klachten, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

|                             |                                     |                        |                          |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Soort studie:<br>Veldstudie | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>Europa |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

In opdracht van de Europese Commissie is in het stookseizoen van 1993-1994 een onderzoek uitgevoerd naar de binnenmilieukwaliteit en het energiegebruik in 56 kantoorgebouwen verspreid over 9 Europese landen. Het energiegebruik en diverse binnenmilieuparameters (CO, CO<sub>2</sub>, Vluchtige Organische verbindingen, ventilatievouden, temperatuur, etc.) zijn gemeten. Daarnaast zijn de gebouw- en installatie-kenmerken in kaart gebracht en zijn de gebruikerservaringen geobjectiveerd gebruik makend van standaard binnenklimaatquêtes.

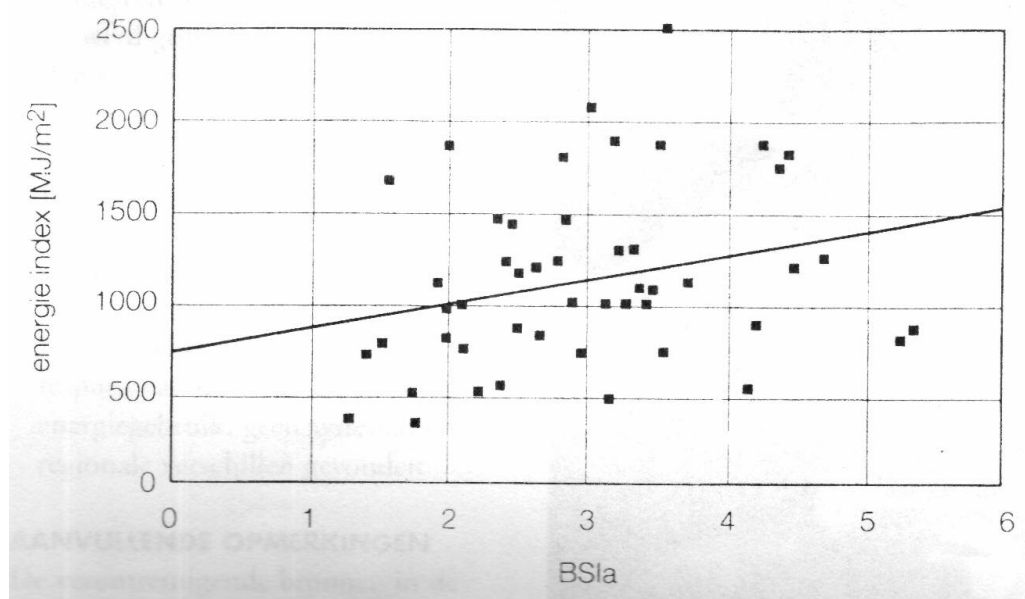
Een samenvatting van de onderzoeksuitkomsten:

- Gemiddeld vond 27% van de respondenten de binnenluchtkwaliteit niet acceptabel op het moment van onderzoek; terwijl 32% de binnenluchtkwaliteit niet acceptabel vond tijdens de maand voor het onderzoek.
- Verder vond men het gemiddeld genomen iets te warm tijdens de onderzoeksperiode.
- De uitkomsten van de binnenklimaatenquête zijn samengevat in tabel 3. De meest voorkomende gebouwgerelateerde klachten waren: droge ogen, verstopte neus, droge/geïrriteerde keel, droge huid, (ongewone) hoofdpijn en (ongewone) moeheid/lusteloosheid. Rond de 30% van de respondenten had hier tijdens de maand voor het onderzoek of op het onderzoeksmoment zelf last van.
- De 'Building Symptom Index (BSI)' oftewel het gemiddeld aantal gerapporteerde symptomen (uit een lijst met 12, zie de tabel) bedroeg 3,3 voor de periode van een maand voorafgaand aan het onderzoek en 2,1 op het moment van het onderzoek. Men kan dus stellen dat de Europese kantoorwerker in het stookseizoen gemiddeld genomen 2 à 3 gebouwgerelateerde gezondheidsklachten heeft (ook wel 'Sick Building klachten' genoemd).
- Wat betreft de uitkomsten van de fysieke metingen: de gemiddeld gemeten CO<sub>2</sub> concentratie lag tussen de 500 en 880 ppm (ter indicatie: de algemeen gehanteerde bovengrens is 1000 ppm); de CO-concentratie lag overal ver onder de algemeen gehanteerde grenswaarde van 25 ppm; de ventilatievoud verschilde sterk van gebouw tot gebouw, er werden waarden gemeten in de range 0,5 tot 4 terwijl men normaliter een ventilatievoud van rond 2 als richtwaarde aanhoudt; de temperatuur lag gemiddeld genomen tussen de 22 en 24 °C (standaard eis voor de wintersituatie is een temperatuur tussen 20 en 24 °C); met uitzondering van enkele gebouwen in Zweden en Griekenland bleven in alle gebouwen de stofconcentraties onder de grenswaarde van 120 microgram/m<sup>3</sup>.
- Wat betreft het energiegebruik: het gemiddelde gebruik lag op iets meer dan 1000 MJ/m<sup>2</sup>; een kwart van de onderzocht gebouwen had een verbruik van minder dan 800 MJ/m<sup>2</sup> terwijl het meest energieonzuinige kwart een energiegebruik van 1400 MJ/m<sup>2</sup> of meer had. Er kon geen verband worden aangetoond tussen energiegebruik en het bouwjaar of het klimaat (de locatie). De natuurlijk geventileerde gebouwen bleken een beduidend lager energiegebruik te hebben dan de mechanische geventileerde gebouwen. De aanwezigheid van koeling of warmteterugwinning leek geen grote invloed te hebben op het energiegebruik (bij vergelijking binnen de groep gebouwen met mechanische ventilatie).
- Wat betreft het verband tussen energiegebruik en gebouwgerelateerde gezondheidsklachten: evaluatie van de onderzoeksuitkomsten leerde dat een hoog energiegebruik niet noodzakelijkerwijs in een lagere 'Building Symptom Index' (lees: minder gezondheidsklachten) resulteert. Zie figuur 23 hieronder. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat er gebouwen bestaan die zowel goed scoren t.a.v. gezondheid als t.a.v. energiegebruik, terwijl er weer andere gebouwen zijn die op beide punten juist slecht scoren. Het onderzoek leert dat het bij een goed ontwerp en beheer wel degelijk mogelijk is kantoorgebouwen te realiseren die zowel gezond als energiezuinig zijn.

Figuur / tabel:

Tabel 3: Uitkomsten European Audit onderzoek: gebouwgerelateerde symptomen voor alle onderzochte gebouwen per land

| Land                   | NL  | DK  | UK  | GR  | FR  | CH  | SF  | N   | D   | Gem.* |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| <b>Afgelopen maand</b> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
| droge ogen             | 35% | 42% | 45% | 47% | 30% | 44% | 28% | 40% | 40% | 39%   |
| tranende ogen          | 10% | 12% | 22% | 21% | 30% | 19% | 18% | 10% | 15% | 17%   |
| verstopte neus         | 25% | 23% | 50% | 31% | 41% | 39% | 28% | 25% | 38% | 33%   |
| loopneus               | 11% | 13% | 27% | 17% | 32% | 19% | 16% | 10% | 18% | 18%   |
| droge/geïrr. keel      | 29% | 30% | 42% | 36% | 47% | 42% | 24% | 31% | 41% | 36%   |
| benauwdheid            | 12% | 5%  | 14% | 30% | 26% | 16% | 8%  | 8%  | 12% | 15%   |
| griepsymptomen         | 18% | 14% | 31% | 33% | 38% | 27% | 16% | 14% | 31% | 25%   |
| droge huid             | 16% | 23% | 24% | 27% | 29% | 26% | 22% | 33% | 28% | 25%   |
| geïrr. huid            | 6%  | 5%  | 14% | 14% | 22% | 8%  | 11% | 9%  | 12% | 11%   |
| hoofdpijn              | 33% | 42% | 58% | 55% | 54% | 39% | 21% | 38% | 36% | 42%   |
| moe/lusteloosheid      | 37% | 42% | 61% | 61% | 63% | 49% | 41% | 59% | 52% | 52%   |
| andere symptomen       | 11% | 11% | 15% | 6%  | 15% | 14% | 13% | 11% | 11% | 12%   |
| <b>Op dit moment</b>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
| droge ogen             | 27% | 33% | 27% | 27% | 22% | 28% | 27% | 27% | 20% | 26%   |
| tranende ogen          | 3%  | 3%  | 6%  | 7%  | 16% | 7%  | 9%  | 5%  | 3%  | 7%    |
| verstopte neus         | 26% | 27% | 36% | 21% | 28% | 36% | 37% | 29% | 38% | 31%   |
| loopneus               | 7%  | 9%  | 12% | 10% | 18% | 13% | 14% | 9%  | 10% | 11%   |
| droge/geïrr. keel      | 27% | 29% | 30% | 27% | 31% | 35% | 30% | 31% | 24% | 29%   |
| benauwdheid            | 8%  | 3%  | 6%  | 20% | 19% | 11% | 7%  | 7%  | 7%  | 10%   |
| griepsymptomen         | 11% | 7%  | 9%  | 14% | 15% | 19% | 18% | 10% | 25% | 14%   |
| droge huid             | 21% | 39% | 30% | 21% | 25% | 34% | 51% | 39% | 29% | 32%   |
| geïrr. huid            | 10% | 10% | 12% | 9%  | 15% | 11% | 19% | 12% | 9%  | 12%   |
| hoofdpijn              | 17% | 24% | 27% | 23% | 23% | 15% | 13% | 17% | 13% | 19%   |
| moe/lusteloosheid      | 22% | 29% | 41% | 31% | 31% | 27% | 28% | 48% | 24% | 31%   |
| andere symptomen       | 8%  | 9%  | 10% | 6%  | 8%  | 9%  | 8%  | 10% | 5%  | 8%    |
| *Gem. = gemiddeld      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |



Figuur 23: Uitkomsten European Audit onderzoek: de totale energie-index (elektriciteit + gas e.d.) versus de Building Symptom Index (BSI)



**Conclusie:**

Bij het verbeteren van de energieprestatie en bijvoorbeeld het aanscherpen van de EPC-eisen zal altijd terdege aandacht besteed moeten worden aan consequenties t.a.v. gezondheid en comfort. Specifieke aandachtsgebieden in dit verband zijn: minimum verse luchttoevoer (min. 30 m<sup>3</sup>/h pp.) en recirculatie (alleen met mate), temperatuur in de zomer (beperking risico oververhitting) en bevochtiging (meestal niet nodig).

**Literatuurverwijzing:**

Bluyssen P.M., de Oliveira Fernandes E., Fanger P.O., Groes L., Clausen G. Roulet C.A., Bernard C.A., Valbjorn O., 1995. Final report. European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings. TNO bouw, Delft.

## 2.30 Cox et al, 2002. Final report. Health Optimisation Protocol for Energy-efficient buildings (HOPE)

**Betreft: Gezondheid, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

Soort studie:  
Veldstudie

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Europa

### Samenvatting bevindingen:

In opdracht van de Europese Commissie is in het stookseizoen van 1999-2000 een onderzoek uitgevoerd naar de binnenmilieukwaliteit, gebouwgerelateerde gezondheidsklachten en het energiegebruik in 64 kantoorgebouwen verspreid over 9 Europese landen. Merk op dat als onderdeel van het HOPE onderzoek ook de gezondheids- en energieprestatie in woongebouwen is onderzocht. Hier wordt verder niet op ingegaan in deze samenvatting.

Het energiegebruik in de 64 kantoorgebouwen is bepaald middels bestudering van historische gegevens (energiemonitoringsgegevens, energierekeningen). De 'gezondheid' van de gebouwen is in kaart gebracht middels enerzijds binnenklimaatquêtes en anderzijds meting van bepaalde binnenmilieu-parameters (fijn stof, CO, CO<sub>2</sub>, Ozon). Ook zijn de gebouwen geïnspecteerd op risicofactoren.

Van de onderzochte kantoorgebouwen was 75% vooraf specifiek geselecteerd op de aanwezigheid van energiebesparende maatregelen, terwijl de overige 25% 'gemiddelde' gebouwen betrof.

Eén van de belangrijkste onderzoeksvragen was: 'Zijn de energiezuinige gebouwen gezonder of juist ongezonder dan de overige gebouwen?'.

Analyse van de onderzoeksresultaten leerde dat de kantoorgebouwen met een relatief laag energiegebruik significant beter scoorden op aspecten als 'gemiddeld aantal gebouwgerelateerde gezondheidsklachten per gebouwgebruiker' en 'ervaren overall comfort'.

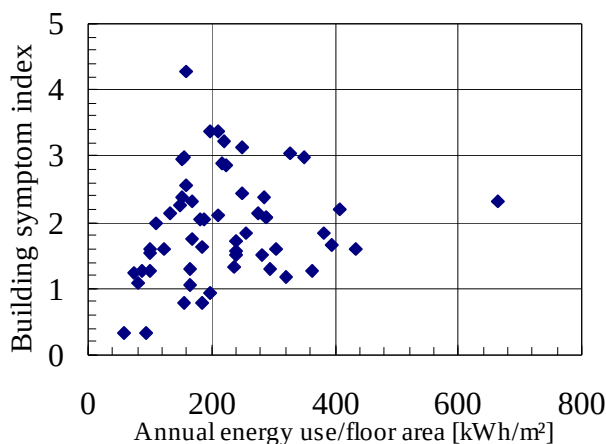
In de figuur hieronder is weergegeven hoe het jaarlijkse energiegebruik zich verhoudt tot het gemiddeld aantal gebouwgerelateerde gezondheidsklachten (Building Symptom Index, voor uitleg zie Bluysen et al, 1995).

De figuur leert dat er gebouwen zijn die op beide aspecten (energie en gezondheid) heel goed scoren, terwijl andere gebouwen juist heel slecht scoren op beide. De auteurs concluderen dan ook dat de standaardaanname dat 'een goed binnenmilieu meer energie kost' dus een misverstand is. Bij een goed ontwerp, goede uitvoering en doordacht beheer en onderhoud kunnen gezondheid en energie-efficiency heel goed samen gaan...

Het rapport geeft ook praktische handvaten om tot gebouwen te komen die zowel energiezuinig als gezond zijn:

- Kies in de ontwerpfase van nieuwe gebouwen zoveel mogelijk voor passieve maatregelen in plaats van actieve maatregelen. Dus bv. een goed afgewogen glaspercentage, zonwerende maatregelen en dan pas eventueel additionele installatietechnische maatregelen ter voorkoming van oververhitting.
- Zorg voor voldoende mogelijkheden tot persoonlijke beïnvloeding (bv. te openen ramen)
- Goede opleveringscontroles en 'fine tuning' van klimaatinstallaties bij ingebruikname is essentieel;
- Continue monitoring van de bouwprestatie (op zowel energiegebruik als comfort / gezondheid) voorkomt dat eventuele problemen te lang voortduren.

**Figuur / tabel:**



*Figuur 24: Uitkomsten HOPE onderzoek: gemiddeld genomen aantal gebouwgerelateerde symptomen (Building Symptom Index) versus het gemiddelde energiegebruik in kantoorgebouwen*

**Conclusie:**

De relatie tussen energiegebruik van kantoorgebouwen en gezondheid van gebouwgebruikers is relatief 'ad random'. De standaardaanname dat 'een goed binnenmilieu meer energie kost' is dus een misverstand, zo leert veldonderzoek. Bij een goed ontwerp, goede uitvoering en doordacht beheer en onderhoud kunnen gezondheid en energie-efficiency heel goed samen gaan.

**Literatuurverwijzing:**

Cox C., Bluysen P.M. Roulet C.A. et al, 2002. Final report. Health Optimisation Protocol for Energy-efficient buildings (HOPE). TNO Bouw, Delft. Zie ook <http://hope.epfl.ch/>

### 2.31 Rolloos, 1999. Energiebesparing niet ten koste van het binnenmilieu

**Betreft: Gezondheid, comfort, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

Soort studie:  
Inventariserend

Gebouwcategorie:  
Utiliteitsgebouwen alg.

Sterkte studie:  
\*\*

Uitgevoerd in:  
Nederland

#### Samenvatting bevindingen:

In opdracht van de sector Utiliteitsbouw van Novem is een inventariserend onderzoek verricht naar de relatie energiebesparing - binnenmilieu. De centrale vraag was: 'Is verdergaande energiebesparing in utiliteitsgebouwen wel mogelijk zonder afbreuk te doen aan de kwaliteit van het binnenmilieu in deze gebouwen?'.

Rolloos concludeerde dat de belangrijkste 'uitdagingen' liggen in de hoek van:

- Verse luchttoevoer (en in dit verband ook toepassing van recirculatie);
- Temperatuur zomer (risico op oververhitting);
- Bevochtiging.

In het document wordt o.a. een strategie voor het bereiken van een goed binnenmilieu EN een efficiënt gebruik van energie gepresenteerd. In prioriteitsvolgorde worden de volgende strategische aanbevelingen gedaan:

- Stel vroeg in het ontwerp (PvE) prestatie-eisen ten aanzien van niet alleen de energieprestatie, maar ook het thermisch binnenklimaat, de binnenluchtkwaliteit, licht en geluid;
- Reduceer de externe warmtelast (adequate zonwering, niet te grote ramen e.d.);
- Optimaliseer de thermische isolatie van de gebouwschil;
- Kies (qua luchtkwaliteit) laag-emitterende materialen en processen (bv. emissiearme interieurmateriaal);
- Plaats emitterende bronnen (printers e.d.) bij elkaar en pas lokale afzuiging toe;
- Reduceer de interne warmtelast t.g.v. apparatuur (computers) en verlichting;
- Gebruik waar mogelijk passieve middelen voor verlichting (= daglicht), koeling (= bouwmasa, beperkte externe warmtelast), verwarming (= goede thermische isolatie) en ventilatie (= natuurlijke ventilatie).
- Indien gekozen wordt voor actieve middelen voor verlichting, koeling, verwarming en ventilatie: kies energie-efficiënte technologieën;
- Zorg voor toevoer van een goede kwaliteit buitenlucht (bv. middels aanzuiging hoog op het gebouw);
- Beschouw de mogelijkheid voor warmterugwinning (wtw) maar geef de voorkeur aan wtw systemen die 100% scheiding tussen retourlucht en toevoerlucht garanderen (twin coils, platenwisselaars e.d.);
- Sta in voor acceptabele binnenlucht door een passende ventilatiestrategie en voldoende verse luchttoevoer;
- Zorg voor zelfverklarende en faalveilige technische systemen;
- Zorg voor passende oplevering (controle) en overdracht, goed onderhoud en een reguliere inspectie van de werking van systemen, plus een goede instructie van de gebouwbeheerder en de eindgebruikers.

De algemene conclusies die getrokken werden waren als volgt:

- Om een acceptabele binnenluchtkwaliteit te garanderen moet per persoon (tijdens gebruikstijd) minimaal 30m<sup>3</sup>/h aan verse lucht toegevoerd worden. Het verwachte aantal ontevredenen door geurhinder (bij binnenkomst) is dan rond 20% (waarde gebaseerd op veldstudies van derden). Wordt een betere luchtkwaliteit nagestreefd (rond 10% ontevredenen) dan moet minimaal 60 m<sup>3</sup>/h/p.p. geventileerd worden.
- Terugregeling van de buitenluchttoevoer en recirculatie wordt in EPC-berekeningen positief gewaardeerd. Hierbij zijn uit gezondheids/comfort-oogpunt echter wel 3 kanttekeningen te plaatsen: i. Het ventilatiesysteem dient zo afgesteld te zijn dat te allen tijde (tijdens gebruikstijd) minimaal 30 m<sup>3</sup>/h/p.p. aan buiten lucht wordt toegevoerd, ii. Wanneer er gerecirculeerd wordt betekend dit sowieso een achteruitgang in luchtkwaliteit, dit is deels te compenseren door een retourfilter te plaatsen in het retourcircuit, iii. Bij variabele debietregeling moet terdege aandacht worden besteed aan het inblaaspatroon (kwaliteit inblaasornament) om tochtoverlast te voorkomen.
- In grote bijeenkomstruimten (vergaderzalen, auditoria, collegezalen e.d.) biedt vraaggestuurde ventilatie (bv. middels CO<sub>2</sub>-sensoren) veel voordelen. Zowel t.a.v. het energiegebruik als de kwaliteit van het binnenmilieu.
- Bij goed geïsoleerde gebouwen met dubbel glas (HR glas) is (het risico op) oververhitting een (extra) aandachtspunt.
- Bevochtiging van de binnenlucht is in veel situaties niet nodig uit gezondheids/comfort oogpunt (droge lucht klachten zijn te voorkomen door bv. het vermijden van een te hoge luchttemperatuur binnen 's winters, voldoende verse luchttoevoer en toepassing van emissie-arme interieurmateriaal). Het niet-bevochtigen levert daarnaast energie-voordelen op.

**Figuur / tabel:**

-

**Conclusie:**

Bij het verbeteren van de energieprestatie en bijvoorbeeld het aanscherpen van de EPC-eisen zal altijd terdege aandacht besteed moeten worden aan consequenties t.a.v. gezondheid en comfort. Specifieke aandachtsgebieden in dit verband zijn: minimum verse luchttoevoer (min. 30 m<sup>3</sup>/h pp.) en recirculatie (alleen met mate), temperatuur in de zomer (beperking risico oververhitting) en bevochtiging (meestal niet nodig).

**Literatuurverwijzing:**

Rolloos. 1999. Energiebesparing niet ten koste van het binnenmilieu. TNO Bouw, Delft.

## 2.32 Fanger, 2001. Human requirements in future air-conditioned environments

**Betreft: Gezondheid, comfort, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

|                                   |                                             |                      |                          |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Soort studie:<br>Opiniërend essay | Gebouwcategorie:<br>Utiliteitsgebouwen alg. | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|--------------------------|

### Samenvatting bevindingen:

Fanger presenteert een overzicht van de laatste bevindingen op het gebied van binnenmilieu, gezondheid, productiviteit en energiegebruik. Hij begint met de constatering dat de binnenluchtkwaliteit in veel mechanische geventileerde gebouwen en gebouwen met airconditioning ronduit matig is en vaak leidt tot 'Sick Building klachten'. Ondanks het feit dat in veel van deze gebouwen gewoon voldaan wordt aan geldende richtlijnen en normen voor verse luchttoevoer en temperatuurbeheersing. Hij presenteert 5 'principles of excellence' die gebruikt kunnen worden bij het ontwerp van toekomstige gebouwen. Principes, waarmee WEL een excellente binnenluchtkwaliteit is te realiseren. Overigens zonder dat dit ten koste gaat van het energiegebruik. In tegendeel zelfs, met de meest van de genoemde principes is en passant een *lager* energiegebruik te bewerkstelligen.

Dit zijn de 5 principes die Fanger presenteert:

1. *Ontwerp het binnenmilieu specifiek op stimulering van de productiviteit.* In essentie komt dit principe erop neer dat bij het ontwerp van gebouwen niet bv. de gewenste energieprestatie centraal staat of het voldoen aan bestaande normen en richtlijnen maar het primaire proces dat in het (toekomstige) gebouw verricht wordt. Uit veldstudies en laboratoriumstudies is immers bekend dat een goede luchtkwaliteit en een adequaat thermisch binnenklimaat de productiviteit ten goede komt. De (vaak verborgen) opbrengsten die hiermee gepaard gaan wegen altijd op tegen de (extra) investeringen die nodig zijn om een meer dan gemiddeld goed binnenmilieu te realiseren.
2. *Zorg voor bronaanpak (luchtkwaliteit).* Het vermijden van onnodige verontreinigingsbronnen in gebouwen (denk aan sterk emitterende interieurmaterialen, snel verontreinigende ventilatiesystemen e.d.) is de meest eenvoudige methode om bij gelijkblijvende (of zelfs verminderde) ventilatiehoeveelheden een veel betere binnenluchtkwaliteit te realiseren.
3. *Voer buitenlucht koel en droog toe.* Bestaande ventilatienormen gaan ervan uit dat de luchtvochtigheid weinig invloed heeft op de waargenomen luchtkwaliteit, vandaar dat er meestal geen specifieke eisen gesteld worden in deze normen t.a.v. de luchtvochtigheid. Recente studies (o.a. Fang et al, 1999) hebben echter aangetoond dat de luchtvochtigheid in combinatie met de luchttemperatuur (= de enthalpie) wel degelijk van invloed is op de waargenomen luchtkwaliteit (sensatie bij inademing). De bevindingen zijn als volgt samen te vatten: koele en droge lucht wordt bij inademing als aangenamer en schoner ervaren dan warme, vochtige lucht (althans zolang men niet onder ca. 18 °C en een luchtvochtigheid van 20-30% r.v. komt).
4. *Lever de verse buitenlucht daar toe waar deze 'geconsumeerd' wordt.* Normaliter voert men op kamerniveau ca. 35 m<sup>3</sup>/h verse lucht toe per persoon terwijl hiervan slechts 1% (!) daadwerkelijk in en uitgeademd wordt. Het vierde principe is erop gericht om verse lucht toe te voeren dicht bij de ademzone bv. middels zogenaamde 'Personalized Air (PA)' systemen die in werktafels zijn geïntegreerd. Hierbij is het essentieel dat de verse lucht met niet te hoge snelheid wordt toegevoerd e.e.a. ter voorkoming van toechthinder (gezicht).
5. *Voorzie in individuele beïnvloeding.* Traditioneel wordt ontworpen op een gemiddeld aangename ruimtetemperatuur gericht op een compromis waarbij zo min mogelijk personen ontevreden zijn (PMV PPD benadering zoals vastgelegd in NEN-EN ISO 7730). Door grote individuele verschillen in temperatuurbeleving (en verschillen in kledingisolatie) zal het met deze benadering nooit lukken om meer dan 80 à 90% van de gebouwgebruikers tevreden te stellen. Het 5<sup>e</sup> principe is erop gericht om 100% tevredenheid te bereiken. En wel door te voorzien in mogelijkheden voor individuele (na)regeling van de temperatuur in het eigen 'microklimaat'. Dit kan bv. bereikt worden door een PA-systeem te voorzien van een tweetal knoppen waarmee zowel de luchthoeveelheid/luchtsnelheid als de inblaas temperatuur van werkplek tot werkplek te beïnvloeden. Een eenvoudiger mogelijkheid voor persoonlijke beïnvloeding is het voorzien in (wand) thermostaatknoppen (werkt m.n. in ruimten met niet meer dan 2 à 3 personen) in combinatie met een te openen raam.

**Figuur / tabel:**

-

**Conclusie:**

Het gebouw van de toekomst kenmerkt zich door de '5 principles of excellence benadering van Fanger':  
1. Ontwerp het binnenmilieu primair op stimulering van de productiviteit, 2. Zorg voor bronaanpak (emissie-arme materialen, goed onderhoudbare ventilatiesystemen), 3. Voer buitenlucht koel en droog toe, 4. Lever de buitenlucht daar waar deze geconsumeerd wordt (personalized air), en 5. Voorzie in mogelijkheden voor individuele beïnvloeding (van temperatuur en evt. ook verse luchttoevoer). Met deze benadering is te bereiken dat de binnenluchtkwaliteit in utiliteitsgebouwen vele malen beter wordt dan deze nu is terwijl tegelijkertijd het energiegebruik omlaag gaat.

**Literatuurverwijzing:**

Fanger PO. 2001. Human requirements in future air-conditioned environments. International Journal of Refrigeration nr. 24, pp 148-153.

### 2.33 Boerstra & De Vries, 2003. Gezonde, duurzame kantoorgebouwen

**Betreft: SBS klachten, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat, licht, geluid**

Soort studie:  
Beschrijving  
voorbeeldprojecten

Gebouwcategorie:  
Kantoorgebouwen

Sterkte studie:  
\*

Uitgevoerd in:  
Nederland

#### Samenvatting bevindingen:

In 4 - tussen 1995 en 2000 gebouwde – kleinschalige, innovatieve kantoorgebouwen waarvan bekend is dat de energieprestatie beduidend beter is dan gemiddeld is onderzoek gedaan naar de gebruikerservaringen en het aantal binnenklimaatklachten.

Het onderzoek vond plaats in de volgende 4 gebouwen:

- Kantoor Rijkswaterstaat, Terneuzen
- XX Office, Delft
- Waterschapshuis Vallei & Eem, Leusden
- De Thermo-Staete, Bodegraven

Om de gezondheidsprestatie van de 4 gebouwen te objectiveren is in de gebouwen een enquête gehouden onder de gebouwgebruikers. De uitkomsten zijn vergeleken met de gemiddelde klachtenpercentages in een Nederlands kantoorgebouw (referentie gebaseerd op de uitkomsten van het onderzoek van de Landbouw Universiteit Wageningen in 69 kantoorgebouwen, zie Preller et al, 1992).

Er is gebruik gemaakt van de door BBA ontwikkelde 'rapportcijfermethode' (score 1 t/m 10, waarbij de referentiewaarde steeds 6 is voor een gemiddeld kantoorgebouw). Voor ieder binnenmilieu-aspect afzonderlijk (bv. behaaglijkheid zomer, behaaglijkheid winter, tocht, geluid ventilatiesysteem, kwaliteit uitzicht) is steeds de 'aspect-score' bepaald.

De veldstudie leerde dat alle 4 de gebouwen beduidend beter scoren dan gemiddeld op de aspecten binnenlucht, thermisch binnenklimaat, licht en geluid. Conclusie: energiezuinigheid en een gezond binnenmilieu kan heel goed samen gaan; bestaande voorbeeldgebouwen in Nederland zijn hiervan het bewijs.

#### Figuur / tabel:

*Tabel 4: Overzicht van de binnenmilieu scores per aspect van de 4 onderzochte kantoorgebouwen*

|                             | Rijkswaterstaat-kantoor | XX Office  | Waterschapshuis Vallei & Eem | De Thermo-Staete | Referentie |
|-----------------------------|-------------------------|------------|------------------------------|------------------|------------|
| EPC                         | 1,09                    | 1,00       | 0,92                         | 0,60             | 1,60*      |
| Gebouwgelerateerde klachten | <b>7,2</b>              | 5,9        | 5,6                          | <b>6,9</b>       | 6,0        |
| Thermisch binnenklimaat     | 5,2                     | 5,5        | <b>7,2</b>                   | <b>8,0</b>       | 6,0        |
| Luchtkwaliteit              | <b>8,0</b>              | <b>7,9</b> | 6,4                          | 5,9              | 6,0        |
| Geluidhinder                | 5,1                     | 5,8        | <b>7,1</b>                   | 6,2              | 6,0        |
| Licht/uitzicht              | 6,1                     | 5,0        | 4,3                          | <b>8,1</b>       | 6,0        |
| Binnenmilieuprestatie index | 6,3                     | 6,0        | 6,1                          | <b>7,0</b>       | 6,0        |

\* Deze referentie is het wettelijk niveau ten tijde van de bouw

#### Conclusie:

Bestaande voorbeeld-gebouwen (kantoor RWS Terneuzen, XX Office Delft, Waterschapshuis Vallei & Eem Leusden en de Thermo-Staete Bodegraven) zijn het levende bewijs dat een goede energieprestatie goed samen kan gaan met een gezond binnenmilieu en weinig binnenklimaatklachten.

#### Literatuurverwijzing:

Boerstra AC, De Vries G. 2003. Gezonde, duurzame kantoorgebouwen. Cahier V2 Praktijkboek Gezonde Gebouwen. SBR/ISSO, Rotterdam.



## 2.34 Fisk & Rosenfeld, 1997. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments

**Betreft: Productiviteit, luchtkwaliteit**

Soort studie:  
Literatuurreview

Gebouwcategorie:  
Utiliteits- en  
woningbouw

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Wereldwijd

### Samenvatting bevindingen:

Amerikaanse studie. Schatting, op basis van statistische gegevens en specifieke studies naar effecten binnenmilieuverbeterende maatregelen op productiviteit, ziekteverzuim etc.

Hoofdconclusie: er is sterk bewijs dat eigenschappen van gebouwen en gebouwinstallaties (verwarming, koeling, daglichttoetreding, verlichting, ventilatie etc) een grote invloed hebben op het aantal ziektegevallen per jaar door aandoeningen aan de luchtwegen (denk aan griep, verkoudheid), allergie en astma symptomen, sick building symptoms, en productiviteit van werknemers in (werk)gebouwen. Met de huidige kennis, zo stellen de auteurs, is slechts een ruwe schatting te geven van de kostenbesparingen (op salariskosten en andere zachte gebouwexploitatiekosten) die zijn te behalen met verbetering van de binnenmilieukwaliteit in de Amerikaanse gebouwen.

De auteurs schatten dat voor de Verenigde Staten alleen al een kostenbesparing op jaarbasis is te behalen van 6 à 19 miljard dollar door binnenmilieu verbeteringen gericht op verlaging van de overdracht (via de lucht) van infectieziekten (lees: meer en kwalitatief betere ventilatie, beter luchtfiltering, minder hoge bezettingsgraad, etc etc). Van de huidige kosten die op jaarbasis gemaakt worden in relatie tot allergieën en astma (medische kosten, maar ook 'lost working days') is naar schatting 1 tot 4 miljard dollar af te halen door verbetering van het binnenmilieu in de gebouwen in de VS. Verder is er 10 tot 20 miljard dollar te verdienen door aanpak van gebouwen met een hoog aantal gebouwgebruikers met 'Sick Building Symptoms'. En aan de kant van verbetering van de prestaties van gebouwgebruikers (verder niet gerelateerd aan gebouwgerelateerde gezondheidsklachten) door aanpassing van het binnenmilieu is nog eens 12 tot 125 miljard dollar te verdienen.

Let op: bij de genoemde cijfers zijn woonhuizen OOK meegenomen.

Voorbeeldberekeningen van de auteurs laten zien dat de opbrengsten van binnenmilieu verbeteringen een factor 18 tot 47 hoger liggen dan de kosten van de verbeteringen zelf. In de meeste gevallen betekent dit een terugverdientijd van minder dan 1 à 2 jaar.

Vertalen we de hierboven genoemde cijfers naar de Nederlandse situatie (vermenigvuldiging met 17/300) dan ziet de situatie er uit als samengevat in onderstaande tabel.

### Figuur / tabel:

*Tabel 5: Schatting kosten slecht binnenmilieu in Nederland, gebaseerd op Amerikaanse cijfers Fisk et al, bedragen in miljarden euro's (1 dollar is gelijkgesteld aan 1 euro, uitgaande van koers anno 1997)*

| Kostenpost                                                                                                               | VS            | NL (afgeleid)  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| Onnodige overdracht infectieziekten via binnenlucht *                                                                    | 6-19          | 0,3-1,1        |
| Onnodige (binnenmilieu geïnduceerde) astma-aanvallen en allergieën *                                                     | 1-4           | 0,06-0,2       |
| Vermijdbare gevallen van SBS                                                                                             | 10-20         | 0,6-1,1        |
| Onnodige belemmering productiviteit gebouwgebruikers (los van ziekteverzuim veroorzaakt via de 3 bovengenoemde 'routes') | 12-125        | 0,7-7,1        |
| <b>TOTAAL</b>                                                                                                            | <b>29-168</b> | <b>1,9-9,4</b> |

\* deels voor rekening van woonhuizen

**Conclusie:**

Uitgaande van schatting van gemiddeld 5 miljard per jaar voor NL komt dit neer op € 1000 verborgen (en onnodige) kosten per jaar in U-bouw werkende Nederlander (uitgaande van ca 5 miljoen Nederlanders, werkend in kantoren, scholen en in andere niet industriële omgevingen). Vergelijk: per werkzame persoon in niet industriële U-bouw wordt op jaarbasis in NL ca € 350 aan energiekosten uitgegeven (bron: website SenterNovem).

Merk op dat het productiviteitseffect van bv. een te hoge temperatuur binnen en bv. visueel discomfort (licht) niet mee is genomen bij deze schatting.

**Literatuurverwijzing:**

Fisk B, Rosenfeld F. 1997. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments  
Indoor Air 1997. Vol 7, pp. 158-172.

### 2.35 Wargocki et al, 2005. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children

**Betreft: Productiviteit (leerprestaties), luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

Soort studie:  
Veldonderzoek

Gebouwcategorie:  
Schoolgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Denemarken

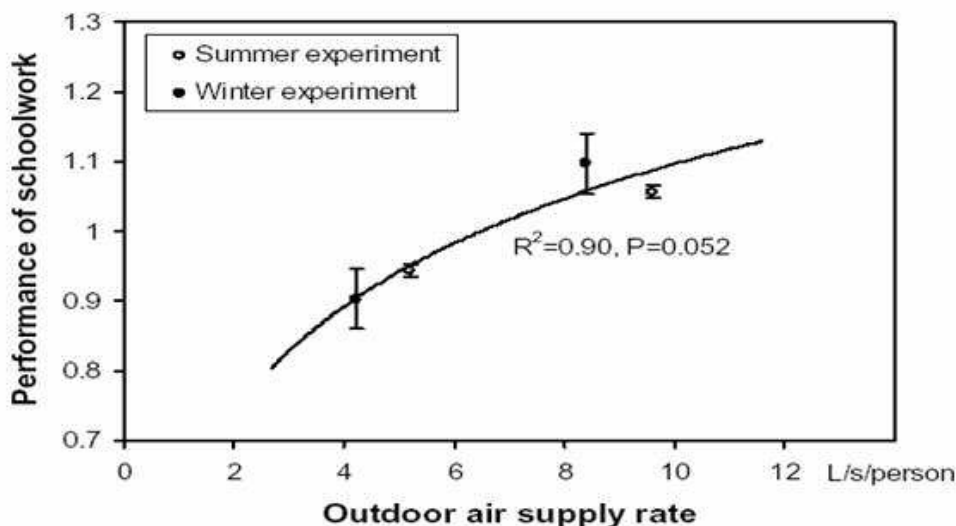
#### Samenvatting bevindingen:

Het betreft een veld interventie onderzoek in twee klaslokalen met 10 jaar oude kinderen. De gemiddelde luchttemperatuur is gereduceerd van 23,6 °C naar 20 °C (d.m.v. het installeren van split unit airconditioning) en de luchttoevoerhoeveelheden zijn verhoogd van 5,2 naar 9,6 l/s per persoon. De taken die gemeten werden hebben betrekking op 8 verschillende disciplines, van wiskunde tot lezen. De taken waren afgenomen tijdens normale lessen. Daarnaast hebben kinderen iedere week op visueel-analoge schaal ingevuld wat de intensiteit van eventueel SBS klachten was. Tevens is het ziekteverzuim bijgehouden, het gedrag is geobserveerd, de ouders hebben een logboek bijgehouden etc. Zowel het verlagen van de temperatuur als het verbeteren van de hoeveelheid verse luchttoevoer afzonderlijk, verbeterde de presentaties op diverse testen. Ook het gecombineerde effect laat een verbetering van de prestaties op diverse testen zien.

Het experiment laat zien dat verbeterde binnenmilieu condities in een klaslokaal de prestaties van kinderen substantieel verbeteren. Het verdubbelen van de toegevoerde verse buitenlucht verhoogde de prestaties met 15%! Verder bleek dat ook het verlagen van de temperatuur in de zomer een positief effect heeft op de schoolprestaties van leerlingen.

Opmerking: het onderzoek is uitgevoerd in Deense basisscholen. Echter, de resultaten zijn te extrapoleren naar andere Europese landen, gezien vergelijkbare binnenmilieu condities in klaslokalen, vergelijkbare niveaus van educatie en vergelijkbare lesprogramma's.

#### Figuur / tabel:



Figuur 25: Relatie tussen de hoeveelheid verse luchttoevoer en de leerprestaties

#### Conclusie:

Het verlagen van de temperatuur in de zomer en het verhogen van de toegevoerde verse buitenlucht in klaslokalen heeft een positief effect op de schoolprestaties van leerlingen.

#### Literatuurverwijzing:

Wargocki P, Wyon DP, Matysiak B, Irgens S. 2005. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. Proceedings Indoor Air 2005, China, Indoor air 2005: Vol. 1, pp. 368-372.

## 2.36 Mendell & Heath, 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature

**Betreft: Productiviteit (leerprestaties), luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat**

Soort studie:  
Review artikel

Gebouwcategorie:  
Schoolgebouwen

Sterkte studie:  
\*\*\*

Uitgevoerd in:  
Wereldwijd

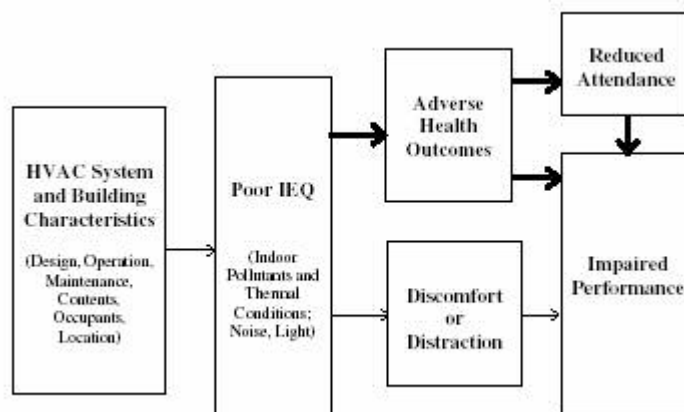
### Samenvatting bevindingen:

Een overzicht van alle wetenschappelijke onderzoeken die iets kunnen zeggen over de invloed van binnenluchtverontreinigingen en thermisch binnenklimaat in scholen op de leerprestaties van de leerlingen. Alle onderzoeken van over de hele wereld over dit onderwerp zijn bij elkaar gezocht en die artikelen die voldoen aan de hoogste wetenschappelijke standaarden zijn uitgezocht. Op deze onderzoeken, enkele tientallen, zijn hun conclusies gebaseerd.

De onderzoeken zijn geanalyseerd m.b.v. een model (zie figuur 26) dat ervan uitgaat dat eigenschappen van het schoolgebouw, zoals het ventilatiesysteem of het onderhoud, problemen met het binnenklimaat veroorzaken. De problemen met het binnenklimaat veroorzaken zowel gezondheidsklachten (bijv. hoofdpijn of astma) als comfortklachten (bijv. te warm of bedompt). De gezondheidsklachten leiden zowel tot ziekmeldingen als tot verminderde leerprestaties. De comfortklachten leiden tot verminderde schoolprestaties. Tenslotte leiden in het model ziekmeldingen op zich ook tot verminderde schoolprestaties. Dit laatste wordt bevestigd door de geanalyseerde onderzoeken: zeker bij hoger onderwijs maar waarschijnlijk ook bij basis- en middelbaar onderwijs blijkt dat herhaalde ziekmeldingen ook de leerprestaties tijdens de aanwezigheid verminderen. Dit effect blijft ook zichtbaar als gecorrigeerd wordt voor de effecten van motivatie en persoonlijkheid, dus alles wijst erop dat het een echt effect is.

De grote lijn is dat leerprestaties verminderd worden door te weinig ventilatie, te hoge temperaturen, chemische verontreinigingen in de lucht, waterschade en vochtigheid in het gebouw en te weinig schoonmaak.

### Figuur / tabel:



Figuur 26: Het model waarmee Mendell en Heath de verschillende onderzoeken geanalyseerd hebben

### Conclusie:

Leerprestaties worden verminderd door te weinig ventilatie, te hoge temperaturen, chemische verontreinigingen in de lucht, waterschade en vochtigheid in het gebouw en te weinig schoonmaak.

### Literatuurverwijzing:

Mendell MJ, Heath GA. 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. Indoor Air 2005, Vol. 15, pp. 27-52.

| <b>2.37 Heschong &amp; Mahone, 2003. Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                       |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Betreft: Productiviteit (leerprestaties), licht, luchtkwaliteit</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |                       |                      |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Gebouwcategorie:<br>Schoolgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>VS |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Deze studie onderzoekt het verband tussen binnenmilieufactoren, m.n. daglicht, en leerprestaties van leerlingen. De leerprestaties van meer dan 8000 3<sup>e</sup> tot 6<sup>e</sup> graad studenten in ca. 450 klaslokalen in 36 basisscholen in het Fresno Unified School District zijn geanalyseerd.<br/>Uit de analyse blijkt dat de visuele leeromgeving erg belangrijk is voor leren, evenals de auditieve leeromgeving. Zo heeft een aangenaam uitzicht een positief effect op leerprestaties en zorgt schittering op het schoolbord voor slechtere leerprestaties. Directe zoninstraling leidt tot slechtere leerprestaties vanwege de kans op schittering en thermisch discomfort. Ook het ontbreken van screens of gordijnen heeft een negatieve invloed.<br/>Slechte ventilatie en binnenluchtkwaliteit hebben een negatieve invloed op leerprestaties. Daarnaast blijkt dat fysische karakteristieken van de klaslokalen net zo goed de leerprestaties te beïnvloeden als andere factoren die wel meer publieke politieke aandacht krijgen, zoals aantal computers, aanwezigheid van leerlingen en leerkrachten.</p> |                                    |                       |                      |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |                       |                      |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>De visuele leeromgeving heeft een invloed op de leerprestaties van leerlingen, evenals de auditieve leeromgeving. Ook voor binnenluchtkwaliteit en thermisch comfort zijn effecten aangetoond. Bij de bouw van een nieuwe school zou daarom veel meer rekening gehouden moeten worden met binnenmilieu aspecten.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                    |                       |                      |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Heschong Mahone Group. 2003. Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment. California Energy Commission, VS.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |                       |                      |

| 2.38 Heschong & Mahone, 1999. Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |                                                                                                                       |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Betreft: Productiviteit (leerprestaties), licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |                                                                                                                       |                      |
| Soort studie:<br>Veldstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Gebouwcategorie:<br>Schoolgebouwen | Sterkte studie:<br>**                                                                                                 | Uitgevoerd in:<br>VS |
| <b>Samenvatting bevindingen:</b><br>Deze studie bestudeert het effect van daglicht op leerprestaties. Van 3 district basisscholen van leerlingen van de 2 <sup>e</sup> tot de 5 <sup>e</sup> graad is data verzameld. In totaal zijn van meer dan 21.000 leerlingen data verzameld. Uit de studie blijkt dat in 1 districtschool, waar herfst en lente resultaten geanalyseerd zijn, leerlingen met het meeste daglicht in hun klaslokaal 20% meer voortgang boekten op wiskunde testen en 26% op leestesten gedurende 1 jaar dan leerlingen met de minste hoeveelheid daglicht in hun klaslokaal. Studenten in klaslokalen met de grootste ramen boekten 15% meer voortgang in wiskunde en 23% meer op leestesten. Studenten met een goed ontworpen daglichtkoepel in het klaslokaal verbeterden met 19-20%. Ook van het kunnen openen van ramen in klaslokalen gaat een positief effect uit (7-8%). In de andere 2 districtscholen waar einde jaars resultaten geanalyseerd zijn blijkt eveneens een positieve invloed uit te gaan van daglicht op de leerprestaties. Leerlingen in klaslokalen met het meeste daglicht scoorden 7 tot 18% hoger dan leerlingen in klaslokalen met minder daglicht. |                                    |                                                                                                                       |                      |
| <b>Figuur / tabel:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |                                                                                                                       |                      |
| <b>Daylighting Conditions In Classrooms</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                    | <b>Percent Average Improvement (Probability that Observed Association with Improved Test Scores Is Due to Chance)</b> |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    | <b>Reading</b>                                                                                                        | <b>Math</b>          |
| Classrooms with most overall daylighting (from skylight and windows) relative to classrooms with least overall daylighting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                    | 26% (0.1%)                                                                                                            | 20% (0.1%)           |
| Classrooms with most window area compared to classrooms with least window area                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                    | 23% (0.1%)                                                                                                            | 15% (0.1%)           |
| Skylight A (diffused illumination with manual operation for controlling illumination level) relative to no skylight                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    | 19% (0.3%)                                                                                                            | 20% (0.1%)           |
| Skylight B (direct illumination with no controls) relative to no skylight                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    | -21% (5.1%)                                                                                                           | —                    |
| Operable windows, relative to classrooms without operable windows                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                    | 8% (0.4%)                                                                                                             | 7% (0.1%)            |
| <i>Figuur 27: Verbeteringen in de test scores van leerlingen in klaslokalen met meer daglicht, in 1 districtschool waar herfst en lente resultaten geanalyseerd zijn.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                       |                      |
| <b>Conclusie:</b><br>De hoeveelheid daglicht heeft een positief effect op leerprestaties. In zijn algemeenheid geldt: hoe beter de daglichttoetreding, hoe beter de prestaties.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |                                                                                                                       |                      |
| <b>Literatuurverwijzing:</b><br>Heschong Mahone Group. 1999. Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance. Detailed Report. Heschong Mahone Group, VS.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |                                                                                                                       |                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                       |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>2.39 Boray et al, 1989. Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                       |                          |
| <b>Betreft: Productiviteit, comfort, licht</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                     |                       |                          |
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>Canada |
| <b>Samenvatting bevindingen:</b><br>Deze studie was ontworpen om te bepalen of licht kleur van TL verlichtingsbuizen (warm wit, koel wit, full spectrum licht (oftewel kunstlicht dat deels UV bevat)) van invloed is op het welzijn en de prestaties bij uitvoering van simpele cognitieve taken.<br>De laboratorium studie leerde dat er geen significante verschillen zijn t.a.v. gebruikerstevredenheid en productiviteit voor de beschouwde verlichtingstypen. |                                     |                       |                          |
| <b>Figuur / tabel:</b><br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                       |                          |
| <b>Conclusie:</b><br>De lichtkleur (van verlichting) heeft geen effect op de productiviteit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                       |                          |
| <b>Literatuurverwijzing:</b><br>Boray P.F., Gifford R. en Rosenblood L., 1989. Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others. Journal of Environmental Psychology (1989), nr. 9, pp. 297-308.                                                                                                                                                                                |                                     |                       |                          |

| 2.40 US Departement of Energy, 2001. Benefits of energy efficient lighting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                        |                        |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Betreft: Productiviteit, energie, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                        |                        |                               |
| Soort studie:<br>Literatuur review                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Gebouwcategorie:<br>Utiliteitsgebouwen | Sterkte studie:<br>*** | Uitgevoerd in:<br>VS + Canada |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Deze beperkte literatuurstudie, uitgevoerd in opdracht van het US Departement of Energy, had tot doel inzicht te geven in de welzijns- en productiviteit-effecten van energie-efficiënte verlichting. Hiertoe is de anno 2001 beschikbare vakliteratuur geëvalueerd op relevante bronnen.<br/>Hieronder wordt een deel van de literatuur review uitkomsten beschreven:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In Amerikaanse kantoren wordt gemiddeld genomen 400 keer zoveel geld uitgegeven aan salariskosten als aan elektriciteit. Vandaar de stelling van de auteurs dat bij de introductie van energie-efficiënte verlichting ook <i>altijd</i> gekeken moet worden naar de mogelijke effecten (verbetering, verslechtering) van de maatregel op de productiviteit.</li> <li>▪ Diverse van de gevonden studies leerden dat de gebruikerstevredenheid t.a.v. het visueel comfort beduidend hoger is wanneer er (deels) gewerkt wordt met uplighters (indirecte verlichting).</li> <li>▪ Individuele gebouwgebruikers variëren enorm waar het de verlichtingsvoorkeur betreft (verlichtingsniveau, verdeling, lichtkleur). Diverse veld- en labstudies hebben laten zien dat individuele controle over de verlichting een positief effect heeft op beleving en gebruikerstevredenheid. Tegelijkertijd blijkt individuele controle over de verlichting tot een lager energiegebruik te leiden. In 1 studie werd 35 tot 42% op verlichtingsenergie bespaart, alleen door de introductie van individuele controle.</li> <li>▪ Visueel discomfort in Amerikaanse kantoren t.g.v. verblinding en spiegelingen door 'downlighters' komt veel voor, met name in ruimten waar hoofdzakelijk computerwerk verricht wordt. Het discomfort risico is m.n. afhankelijk van de kwaliteit van de toegepaste verlichtingsarmaturen en de kwaliteit van de toegepaste beeldschermen (bv. flatscreens geven minder problemen).</li> <li>▪ Sommige studies laten zien dat hoofdpijn en oogklachten vaker voorkomen in gebouwen met niet hoog-frequente TL verlichting (magnetische ballast in plaats van elektronische ballast).</li> <li>▪ Diverse van de gevonden bronnen toonden aan dat licht (m.n. verlichtingssterkte en lichtkleur) een effect heeft op het bioritme. Echter, om dit effect in de praktijk ook door te laten werken zijn beduidend hogere verlichtingsniveaus nodig dan standaard in Amerikaanse utiliteitsgebouwen. De auteurs concluderen dat m.n. bij het werken in meerdere diensten (dag / avond / nacht) het doelgerichte gebruik van variërende kunstlichtniveaus tot minder vermoeidheid, hogere alertheid en betere prestaties kan leiden.</li> <li>▪ Meerdere studies tonen aan dat niet alleen goed kunstlicht essentieel is, maar ook daglichttoetreding en uitzicht. Zowel waar het de gebruikerstevredenheid betreft als de productiviteit.</li> </ul> |                                        |                        |                               |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                        |                               |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Gezondheidsbevorderende, productiviteitsverhogende en energiebesparende verlichting kenmerkt zich door: een hoge mate van individuele beïnvloeding, toepassing van hoogwaarde verlichtingsarmaturen (of uplighters) ontworpen op het voorkomen van verblinding en spiegelingen bij beeldschermwerk, het gebruik van hoogfrequente voorschakelapparatuur en gebruik van een afgewogen mix van daglicht en kunstlicht.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                        |                        |                               |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>US Departement of Energy, 2001. Benefits of energy efficient lighting (web based summary). USDE, Washington DC, VS.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                        |                        |                               |



| <b>2.41 Hedge et al, 1995. Effects of lensed-direct and parabolic lighting on the satisfaction, visual health and productivity of office workers</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                       |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Betreft: Productiviteit, gezondheid, comfort, licht</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                       |                      |
| Soort studie:<br>Interventiestudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>VS |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>De interventie studie had tot doel in kaart te brengen wat de welzijns-, gezondheids- en productiviteits-effecten zijn in een kantoorgebouw van vervanging van een direct verlichtingssysteem (met downlighters) door een indirect verlichtingssysteem (met uplighters). Het verlichtingsniveau (horizontaal gemeten op de werktafels) bleef gelijk.<br/>Als onderdeel van de studie zijn voor en na de interventie vragenlijsten afgenomen bij de gebouwgebruikers van het bewuste kantoorgebouw. De vragen hadden betrekking op zaken als werkinhoud, gebouwgerelateerde gezondheidsklachten, gebruikerervaringen t.a.v. de werkomgeving, werk stress, werk tevredenheid en 'self-reported productivity'. Tevens zijn er voor en na de renovatie metingen uitgevoerd (visueel comfort, thermisch binnenklimaat e.d.).<br/>Hieronder zijn de belangrijkste uitkomsten samengevat:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ongeveer 2/3<sup>e</sup> van de betrokken medewerkers gaf aan een voorkeur te hebben voor het indirecte verlichtingssysteem.</li> <li>▪ Bij gebruik van indirecte verlichting bleek men beduidend minder problemen te hebben met spiegeling van kunstlicht in computerbeeldschermen dan met directe verlichting.</li> <li>▪ Het aantal klachten t.a.v. vermoeide ogen en problemen met scherpstelling (focus) lag beduidend lager bij de indirecte verlichting.</li> <li>▪ De (zelf ingeschatte) productiviteit lag significant hoger bij de indirecte verlichting.</li> </ul> |                                     |                       |                      |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                       |                      |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Indirecte verlichting (gebruik van uplighters) leidt tot meer gebruikerstevredenheid, minder visueel discomfort (m.n. bij beeldschermwerk), minder oogklachten en een hogere ('self reported') productiviteit.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                     |                       |                      |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>Hedge A., Sims W.R., Becker F.D., 1995. Effects of lensed-direct and parabolic lighting on the satisfaction, visual health and productivity of office workers. Ergonomics (1995), Vol. 38, Nr. 2, pp. 260-280.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |                       |                      |

| 2.42 Lensink, 2002. Beter licht op het werk kan € 2 miljard besparen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                        |                      |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Betreft: Gezondheid, productiviteit, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                        |                      |                          |
| Soort studie:<br>Opiniërend artikel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Gebouwcategorie:<br>Utiliteitsgebouwen | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> Het artikel baseert zich o.a. op Amerikaanse en Scandinavische onderzoeken en een interview met dhr. Schoutens, directeur van de Stichting Licht &amp; Gezondheid.<br/> Het artikel stelt dat de economische effecten van de zogenaamde 'winterblues' (depressie tijdens de wintermaanden o.a. ten gevolge van gebrek aan blootstelling aan daglicht) nog sterk onderschat worden. Uit onderzoek is bekend dat 11,5% van de Nederlandse bevolking wordt getroffen door seizoensgebonden vermoeidheid en stemmingsstoornissen. Lichttherapie (periodieke blootstelling aan hoge verlichtingsniveaus met de juiste lichtkleur) blijkt bij 75 tot 80% van de 'patiënten' te werken.<br/> De auteur stelt dat aanpak van het 'winterblues' probleem, bv. door aanpassing van kunstlichting en de introductie van lichtprogramma's op het werk, tot een substantiële verlaging van het ziekteverzuim en een verhoging van de productiviteit in Nederland kan leiden. De mogelijke besparing die hiermee gemoeid is bedraagt 2 miljard euro op jaarbasis.</p> |                                        |                      |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                        |                      |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> Een beter afgestemd gebruik van kunstlicht (en daglicht) en de introductie van lichtprogramma's, zowel thuis als op het werk (in utiliteitsgebouwen), kan tot een vermindering leiden van het aantal Nederlanders met 'winterblues'. Dit zal een substantieel effect hebben op het ziekteverzuim en de productiviteit.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                        |                      |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Lensink, S., 2002. Beter licht op het werk kan € 2 miljard besparen. Tijdschrift Licht, december 2002, pp. 6 - 7.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                        |                      |                          |

| 2.43 NSVV commissie Licht & Gezondheid, 2003. Licht en Gezondheid voor werkenden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                        |                      |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Betreft: Gezondheid, productiviteit, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                      |                          |
| Soort studie:<br>Literatuurstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Gebouwcategorie:<br>Utiliteitsgebouwen | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>Deze publicatie van de Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV) geeft een samenvatting van de meest recente inzichten t.a.v. licht en gezondheid. Hierbij uitgebreid verwijzend naar de (internationale) vakliteratuur.</p> <p>Een selectie van de in de publicatie gepresenteerde informatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Naarmate de leeftijd stijgt, nemen de oogprestaties af. O.a. doordat de lichtgevoeligheid van het oog vermindert. Hiermee zal men bij het ontwerp van ruimten voor ouderen rekening mee moeten houden.</li> <li>▪ Indien de visuele werkomstandigheden niet optimaal zijn, zal dit (na enige tijd) leiden tot klachten over hoofdpijn, overmatige vermoeidheid of een branderig gevoel achter de ogen. Wat weer ten koste gaat van de arbeidsprestatie.</li> <li>▪ De verlichtingssterkte is het belangrijkste criterium dat bepaalt of het oog zijn taak naar behoren kan verrichten. Echter, ook andere factoren zijn van grote invloed op het ervaren visueel comfort en daarmee de arbeidsprestaties. Bijvoorbeeld: de gelijkmatigheid van de verlichting (verschil in verlichtingssterkte binnen de vertrekbe grenzingen), de luminantie verhoudingen in het zichtveld (rekening houdend met eventueel aanwezige hinderlijke reflecties), de mate waarin sprake is van verblinding (door daglicht of kunstlicht), de lichtverdeling in ruimtes (volkomen diffuus of sterke puntbronnen), verhouding tussen daglicht en kunstlicht, eventuele stroboscopische effecten (flikkering van kunstlicht) en de kleureigenschappen (lichtkleur, kleurindruk, kleurweergaveindex).</li> <li>▪ Licht heeft niet alleen effect op de waarneming maar ook op bv. stemming en het bioritme. Uit onderzoek is bekend dat verlichtingsniveaus (en fluctuaties daarvan) een grote invloed hebben op de aanmaak van het slaaphormoon Melatonine en het stresshormoon Cortisol. Daarmee heeft daglicht en kunstlicht dus ook effect op zaken als alertheid, het ongevalsrisico en de arbeidsproductiviteit.</li> <li>▪ Diverse experimenten hebben aangetoond dat kunstmatige blootstelling verhoging van het verlichtingsniveau (orde van grootte van 5000 lux) de Melatonine productie beïnvloedt en daarmee het welzijn en de arbeidsproductiviteit. Daarom zijn er inmiddels diverse NSVV projecten gestart met bewuste sturing van het (kunst)verlichtingsniveau, biodynamische variatie van het verlichtingsniveau over de dag en variatie in kleurtemperatuur. Zowel in kantoren en bv. call centers als in meldkamers en bv. ruimten in gezondheidszorggebouwen. Met name de toepassing in ruimten waarin ook nachtdiensten plaats vinden lijkt veelbelovend.</li> </ul> |                                        |                      |                          |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                        |                      |                          |
| <p><b>Conclusie:</b><br/>Goede verlichting is meer dan alleen een voldoende hoog verlichtingsniveau realiseren. Ook zaken als de juiste luminantie verhoudingen, het voorkomen van hinderlijke reflecties en verblinding en een adequate lichtverdeling zijn belangrijk. In bepaalde situaties zal ook rekening gehouden moeten worden met de bioritme effecten van licht en kan gedacht worden aan periodieke verhoging van het verlichtingsniveau en manipulaties met de lichtkleur.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                      |                          |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/>NSVV commissie Licht &amp; Gezondheid, 2003. Licht en Gezondheid voor werkenden. NSVV, Ede.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                        |                      |                          |

| 2.44 Katzev, 1992. The impact of energy efficient office lighting strategies on employee satisfaction and productivity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                       |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Betreft: Productiviteit, comfort, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                       |                      |
| Soort studie:<br>Laboratoriumstudie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>VS |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b></p> <p>De studie had tot doel om in kaart te brengen welke invloed energiebesparende verlichtingssystemen hebben op gebruikerstevredenheid en productiviteit.</p> <p>De studie werd uitgevoerd in 4 nagebouwde 1 persoons kamerkantoren (zonder daglicht). De proefpersonen die deelnamen aan de studie rouleerden tussen de ruimten en brachten steeds rond 1,5 uur door per kamer. De gebruikerservaringen werden middels een vragenlijst in kaart gebracht. De prestaties werden gemeten middels een aantal standaard opdrachten die deels op een computer moesten worden verwerkt.</p> <p>Eén van de kantoren was voorzien van traditionele, niet- energiezuinige verlichting met van melkglas voorziene, plafondgemonteerde lichtbakken aan het plafond. Het gerealiseerde verlichtingsniveau (horizontaal gemeten op de werktafel) in deze referentiekamer (die we verder controleruimte noemen) bedroeg 1000 lux. De andere 3 kamerkantoren hadden een verlichtingsniveau van 350 lux en waren voorzien van 3 verschillende typen energiezuinige verlichting.</p> <p>Het ging respectievelijk om:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plafondgemonteerde lichtbakken met spiegeloptieken en een wandgemonteerde uplighter;</li> <li>2. Plafondgemonteerde lichtbakken met spiegeloptieken zonder een wandgemonteerde uplighter;</li> <li>3. Half directe / half indirecte pendelarmaturen met spiegeloptieken en een wandgemonteerde uplighter.</li> </ol> <p>De onder punt 3 beschreven variant werd door de proefpersonen als het meest prettig ervaren. De verschillen in prestaties in de 4 verschillende kamers waren beperkt, uitgezonderd waar het de uitkomsten van de begrijpend lezen test betrof. De gemiddelde prestaties in de ruimte met verlichtingssysteem nummer 3 waren beduidend beter dan in de andere ruimten. Terwijl de prestaties juist het slechtste waren in de controleruimte met het verlichtingsniveau van 1000 lux. Ter illustratie: maar liefst 65% gaf het goede antwoord op de begrijpend lezen vragen na het lezen van de proeftekst, terwijl dit in de controleruimte slechts 18% was. De meest voor de hand liggende verklaring hiervoor is het hoge verlichtingsniveau in de laatstgenoemde ruimte, leidend tot hinderlijke spiegelingen op het beeldscherm.</p> |                                     |                       |                      |
| <p><b>Figuur / tabel:</b></p> <p>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |                       |                      |
| <p><b>Conclusie:</b></p> <p>Energiezuinige verlichtingssystemen worden over het algemeen als aangenamer ervaren. Daarnaast zijn ze op bepaalde aspecten (bv. begrijpend lezen) productiviteitsverhogend. Dit effect geldt vooral als gekozen wordt voor een systeem dat (in elk geval deels) met indirecte verlichting (uplighters) werkt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                       |                      |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b></p> <p>Katzev R., 1992. The impact of energy efficient office lighting strategies on employee satisfaction and productivity. Environment and behavior (1992), nr. 24, pp. 759 - 778.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                       |                      |

## 2.45 Butala & Novak, 1999. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings

**Betreft: Energie, gezondheid, thermisch binnenklimaat, luchtkwaliteit**

|                             |                                    |                      |                            |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Soort studie:<br>Veldstudie | Gebouwcategorie:<br>Schoolgebouwen | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in:<br>Slovenië |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------|

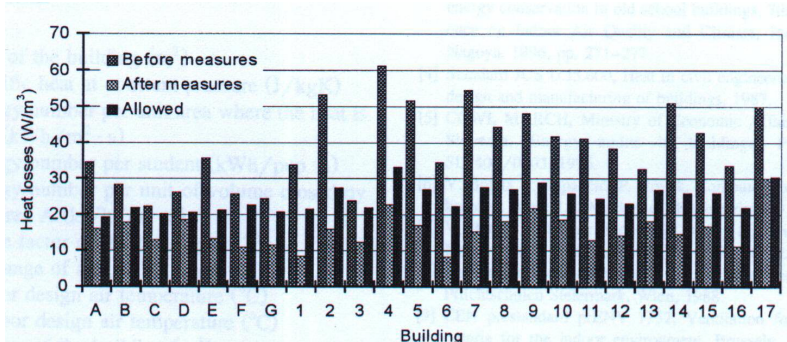
### Samenvatting bevindingen:

Dit onderzoek beschrijft de bevindingen van 24 schoolgebouwen in Slovenië. De bevindingen laten zien dat deze gebouwen veel energie gebruiken en dat de binnenluchtkwaliteit slecht is. Zo hebben bijvoorbeeld de boilers en warmtewisselaars 57% overcapaciteit en zijn de warmteverliezen van de schoolgebouwen 89% hoger dan de aanbevolen waarden.

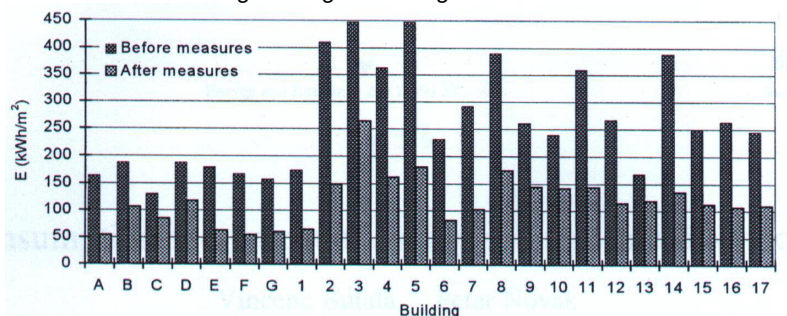
De mogelijkheden om energie te besparen zijn divers, zo constateren de auteurs. De 3 belangrijkste manieren zijn: aan de gebouwschil, de verwarmings- en ventilatiesystemen en met organisatorische maatregelen. De terugverdientijden van investeringen in energie efficiënte maatregelen variëren van korte termijn (< 5 jaar), middellange termijn (5-10 jaar) en lange termijn (>10 jaar). De belangrijkste maatregel uit energie oogpunt, is het isoleren van de gebouwschil en het vervangen van de ramen. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de ventilatie.

Uit het onderzoek blijkt verder dat het niet mogelijk is om met lage investeringskosten de situatie in de schoolgebouwen te verbeteren en een rationeel energiegebruik, een goed thermisch binnenklimaat en een goede binnenluchtkwaliteit te realiseren.

### Figuur / tabel:



Figuur 28: Vergelijking van de warmteverliezen voor en na de energie besparende maatregelen, afgezet tegen de toegestane waarde



Figuur 29: Vergelijking van het energiegebruik voor en na de energie besparende maatregelen

### Conclusie:

Het energiegebruik in Sloveense schoolgebouwen is erg hoog. De mogelijkheden om energie te besparen zijn divers. Het isoleren van de gebouwschil en het vervangen van de ramen hebben het meeste effect.

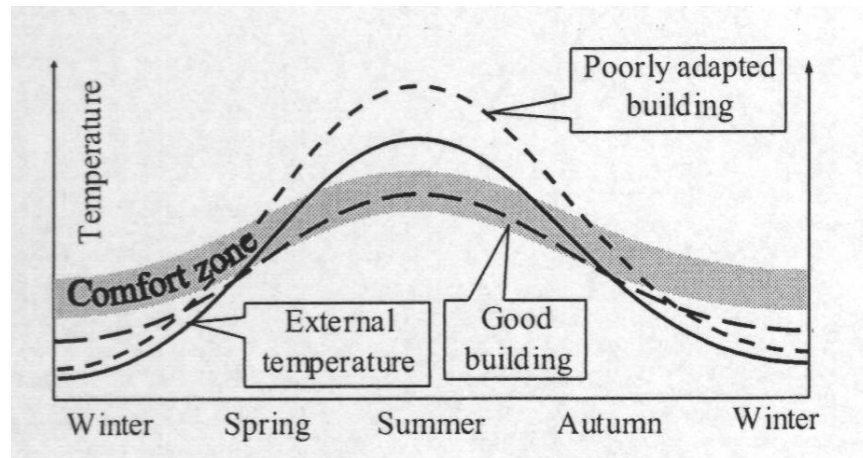
### Literatuurverwijzing:

Butala V, Novak P. 1999. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. Energy and Buildings, Vol. 29, pp. 241-246.

| 2.46 Roulet, 2006. Indoor air quality and energy performance of buildings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                              |                       |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Betreft: Gezondheid, energie, luchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              |                       |                          |
| Soort studie:<br>Beschouwing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Gebouwcategorie:<br>Algemeen | Sterkte studie:<br>** | Uitgevoerd in:<br>n.v.t. |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/>           Beschrijft hoe goed binnenmilieu en laag energieverbruik tegelijk gerealiseerd kunnen worden.<br/>           De belangrijkste aanbevelingen om dit te realiseren zijn:<br/>           a) Pas passieve i.p.v. actieve oplossingen toe overal waar dit mogelijk is<br/>           b) houd rekening met de behoeften en het gedrag van de gebruikers<br/>           c) pas het gebouw aan aan de omgeving en het klimaat</p> <p>ad a)<br/>           Passieve oplossingen zijn architectonische en bouwkundige maatregelen die vanzelf voor een beter binnenmilieu zorgen zonder, of met veel lager, energieverbruik. Voorbeelden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ materialen met lage emissie;</li> <li>▪ thermisch effectieve bouwmassa;</li> <li>▪ natuurlijke ventilatie.</li> </ul> <p>Passieve oplossingen zijn vaak goedkoop, gebruiken geen of weinig energie en kunnen niet stuk gaan. Nadeel is dat zij niet onder alle omstandigheden voldoende effectief zijn. Verder moeten zij bij het ontwerp goed vormgegeven worden om goed te werken.</p> <p>Actieve oplossingen bereiken hun doel doordat zij mechanisch ingrijpen. Zij vullen de passieve oplossingen aan en in sommige gevallen zijn zij nodig om de tekortkomingen van het gebouw op zich te compenseren. Zij gebruiken daarvoor energie. Voorbeelden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ verwarming in de winter;</li> <li>▪ koeling in de zomer;</li> <li>▪ mechanische ventilatie;</li> <li>▪ kunstlicht.</li> </ul> <p>De juiste strategie is om zoveel mogelijk passieve oplossingen toe te passen en alleen daar waar deze tekort schieten, deze aan te vullen met actieve oplossingen. Die dan ook kleiner kunnen zijn en minder energie gebruiken. Deze strategie biedt vaak ook meer vrijheid in het kiezen van het type en de plaatsing van de actieve systemen.</p> <p>Concreet raadt Roulet in gematigde klimaten af om bevochtiging te gebruiken: hiermee wordt zowel het binnenmilieu verbeterd en het energieverbruik verlaagd.</p> <p>Ad b)<br/>           De gebruiker heeft invloed op de omgeving nodig om deze aan zijn of haar wensen aan te passen. Dit verhoogt niet alleen het comfort, maar verlaagt ook SBS symptomen. Wanneer de gebruiker onvoldoende invloed op de omgeving geboden wordt, gaat hij of zij zoeken naar niet bedoelde, oneigenlijke middelen, bijvoorbeeld het afplakken van inblaasopeningen in geval van tocht.</p> <p>Ad c)<br/>           Een goed aan de omgeving en het klimaat aangepast gebouw (zie figuur) heeft een goede thermische isolatie, efficiënte zonwering en ventilatievoorzieningen. In de zomer is het beschermd tegen opwarming door de zon en is het ontworpen voor passieve koeling, in de winter gebruikt het zonnewarmte om de binnentemperatuur te verhogen. Het resultaat is een gebouw dat gedurende het grootste deel van het jaar comfort verschaft met geen andere energiebron dan zonnestraling. Het energieverbruik voor verwarming wordt beperkt. In een gematigd klimaat is actieve koeling niet nodig, in een warm klimaat blijft actieve koeling beperkt.</p> |                              |                       |                          |



**Figuur/tabel:**



*Figuur 30: De evolutie van de temperatuur in een 'free-running' gebouw gedurende het hele jaar.*

**Conclusie:**

Om goed binnenmilieu en laag energieverbruik gelijktijdig te realiseren, zijn bepaalde ontwerp oplossingen noodzakelijk, m.n. bronaanpak, zoveel mogelijk passieve oplossingen en aanpassing van het gebouw aan het klimaat. Deze visie sluit goed aan bij pleidooi voor robuustheid in Leijten & Kurvers (2006).

**Literatuurverwijzing:**

Roulet CA. 2006. Indoor air quality and energy performance of buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 1, 37-47.

| 2.47 Brohus, 2006. Combined optimisation of indoor environment and energy consumption using the Eco-factor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                     |                      |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Betreft: Energie, gezondheid, thermisch binnenklimaat, licht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                      |                       |
| Soort studie:<br>Beschouwing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Gebouwcategorie:<br>Kantoorgebouwen | Sterkte studie:<br>* | Uitgevoerd in: n.v.t. |
| <p><b>Samenvatting bevindingen:</b><br/> Presenteert de "Eco-factor", een gewogen index, waarin zowel binnenmilieukwaliteit als de energiezuinigheid van een gebouw meetellen. Het doel van de Eco-factor is om bij het ontwerpen van kantoorgebouwen oplossingen te vinden die gelijktijdig het binnenmilieu verbeteren en het energieverbruik verlagen.</p> <p>Uit simulaties blijkt dat om beide doelen te bereiken niet alle ontwerp oplossingen even goed voldoen. Het beste werken de volgende maatregelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ lage interne en externe warmtelast;</li> <li>▪ automatisch geregelde buitenzonwering die handmatig <i>overruled</i> kan worden;</li> <li>▪ energiezuinige verlichting;</li> <li>▪ hoge thermisch effectieve bouwmassa;</li> <li>▪ <i>free cooling</i> door nachtventilatie;</li> <li>▪ efficiënte warmteterugwinning.</li> </ul> |                                     |                      |                       |
| <p><b>Figuur / tabel:</b><br/>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |                      |                       |
| <p><b>Conclusie:</b><br/> De uitkomsten van dit onderzoek ondersteunen de door Roulet (2006) gepropageerde strategie om zoveel mogelijk passieve oplossingen te gebruiken en te kiezen voor 'aanpak aan de bron' c.q. beperken van de (energie)vraag.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                     |                      |                       |
| <p><b>Literatuurverwijzing:</b><br/> Brohus H. 2006. Combined optimisation of indoor environment and energy consumption using the Eco-factor. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 5, p 219-224.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |                      |                       |



### 3 ANALYSE + CONCLUSIES

Het doel van dit literatuuronderzoek was toetsing van de volgende hypothesen:

- H1: Maatregelen gericht op verbetering van de gezondheid van gebouwgebruikers (bv. minder 'Sick building klachten') en verbetering van het comfort leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).
- H2: Maatregelen gericht op verlaging van het ziekteverzuim onder gebouwgebruikers leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).
- H3: Maatregelen gericht op verbetering van prestaties van gebouwgebruikers en verhoging van de productiviteit leiden OOK tot verbetering van de energieprestatie (verlaging van het energiegebruik).

In onderstaande paragrafen worden de 3 hypothesen apart getoetst. Aan het einde van het hoofdstuk worden daarnaast nog overige conclusies gepresenteerd die op basis van de deze literatuurstudie zijn te trekken.

Bekijken we de in dit rapport gepresenteerde onderzoeken dan valt op dat relatief veel onderzoek buitenlands is. Weinig puur Nederlandse onderzoeken, veel Scandinavische onderzoeken en redelijk wat Amerikaans, Japans en Engels onderzoek. Veel van het gevonden onderzoek is echter kwalitatief goed te noemen (2 of 3 sterren, voor uitleg zie hoofdstuk 1).

Het gros van de gevonden onderzoeken heeft betrekking op kantoorgebouwen en scholen, dan wel op laboratorium situaties (vaak nagebouwde kantoorwerkplekken). Relatief veel van de 47 studies die gepresenteerd zijn hebben betrekking op thermisch binnenklimaat en luchtkwaliteit, relatief wat minder studies betreffen kunstlicht en daglicht.

Er was beduidend meer te vinden over gezondheid (Sick Building Syndrome klachten), comfort en productiviteit dan over ziekteverzuim. Ook viel op dat er relatief weinig (Nederlandse en buitenlandse) studies zijn die specifiek plaats vonden op het snijvlak gezondheid / energie. Vaak zijn het toch studies die ofwel specifiek gezondheidsbevorderende maatregelen (in de meest brede zin des woords) ofwel specifiek energieprestatiebevorderende maatregelen onderzochten.

#### 3.1 Hypothese H1: gezondheidsbevorderend is energieprestatie verhogend?

Uit de in dit rapport gepresenteerde studies kan geconcludeerd worden dat de volgende maatregelen gezondheids- en/of comfort-bevorderend zijn (zie bv. Preller et al, 1990; Bluysen et al, 1995; Cox et al, 2002; Mendell, 1993; Leijten en Kurvers, 2006 en met name Rolloos, 1999, Boerstra et al, 2001 en Roulet, 2006):

| <i>Gezondheidsbevorderende maatregel</i>                                                                                                     | <i>Energie effect</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| GEBOUW                                                                                                                                       |                       |
| 1. Goede thermische isolatie van de gebouwschil                                                                                              | ++                    |
| 2. Voldoende thermisch actieve gebouwmassa (thermisch open plafond, voldoende zware borstwering e.d.) in combinatie met zomernachtventilatie | +                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 3. Adequate afmetingen van ramen (niet te groot = oververhittingsrisico; niet te klein = onvoldoende daglichttoetreding) en gebruik van zonwerend glas, buiten- of tussen-zonwering                                                                                         | +     |
| 4. Keuze voor m.n. passieve in plaats van actieve maatregelen. Dus waar mogelijk bouwkundige maatregelen (bv. (niet te donker getint) zonwerend glas / zonwering), terwijl installatietechnische maatregelen (in dit verband bv. extra koeling) een laatste redmiddel zijn) | +     |
| 5. Gebruik van laag-emitterende interieurmaterialen (waarbij bv. vloerbedekking, plafondafwerking e.d. voldoet aan emissie-normen t.a.v. vluchtige organische stoffen, formaldehyde e.d.)                                                                                   | 0     |
| 6. Gebruik van te openen ramen                                                                                                                                                                                                                                              | - / + |
| <b>INSTALLATIES</b>                                                                                                                                                                                                                                                         |       |
| 7. Voldoende installatietechnische mogelijkheden voor persoonlijke beïnvloeding (thermostaatknop waarmee in elk geval 's winters de vertrektemperatuur te beïnvloeden is, lichtknop, mogelijkheid tot handmatig overrulen zonwering, e.d.)                                  | +     |
| 8. Gescheiden systeem voor temperatuurbeheersing en voor verse luchttoevoer (dus bv. niet gebruik van Variabel Air Volume (VAV) systemen en wel gebruik van Constant Air Volume (CAV) systemen in combinatie met klimaatplafonds of radiatoren)                             | - / + |
| 9. Gebruik van lage temperatuurverwarming – hogetemperatuurkoeling, m.n. als het warmte-afgifte systeem van de categorie betonkernactivering / klimaatplafond / wand/vloerverwarming / radiatoren is (relatief hoog aandeel stralingswarmte / 'stralingskoelte')            | ++    |
| 10. Gebruik van natuurlijke ventilatie (toevoer via gevel + mechanische afzuiging) mits de gebouwworm en de gebouwfunctie dit toestaat                                                                                                                                      | +     |
| 11. Voldoende verse luchttoevoer (minimaal 30 m <sup>3</sup> /h p.p., bij voorkeur ca. 50 m <sup>3</sup> /h p.p.)                                                                                                                                                           | --    |
| 12. Aanzuig van verse buitenlucht voor een mechanisch ventilatiesysteem op een zo schoon mogelijke locatie (bv. boven op het dak, m.n. in een relatief verontreinigde omgeving)                                                                                             | 0     |
| 13. Beperkt gebruik van warmteterugwinningsmethoden waarbij een deel van de retourlucht weer bij de toevoerlucht gemengd wordt (geen recirculatie tijdens werktijd, gebruik van warmtewielen alleen als er geen notoire bronnen in het gebouw aanwezig zijn)                | --    |
| 14. Emissie-arme en eenvoudig reinigbare (mechanische) ventilatiesystemen (gebruik van gladde, uitwendig geïsoleerde luchttoevoerkanalen met een minimum aan olieresidu op het oppervlak, eenvoudig reinigbare verwarmings/koel-batterijen etc)                             | +     |
| 15. Geen of zeer beperkt gebruik van bevochtiging;                                                                                                                                                                                                                          | +     |
| 16. Gebruik van vraaggestuurde systemen (bv. CO <sub>2</sub> regeling in vergaderruimten e.d.)                                                                                                                                                                              | +     |
| 17. Gebruik van indirecte verlichting (uplighters) of hoogfrequente directe verlichting in state-of-the-art, beeldschermvriendelijke verlichtingsarmaturen                                                                                                                  | -/+   |
| 18. Periodiek gebruik van sterk verhoogde verlichtingsniveaus voor bioritme aansturingsdoeleinden (evt. ook fluctuaties in lichtkleur)                                                                                                                                      | -     |
| <b>BEWONERSGEDRAG</b>                                                                                                                                                                                                                                                       |       |
| 19. Adequaat gebruik van voorzieningen voor persoonlijke beïnvloeding (te openen raam, temperatuurknop, lichtknop, zonwering)                                                                                                                                               | -/+   |
| <b>ONDERHOUD &amp; BEHEER</b>                                                                                                                                                                                                                                               |       |
| 20. Goede opleveringscontroles en 'fine-tuning' van klimaatinstallaties voor ingebruikname                                                                                                                                                                                  | ++    |
| 21. Adequaat onderhoud van (mechanische) ventilatiesystemen (tijdige vervanging van filters, periodiek hygiënisch onderhoud van luchtbehandelingskasten en ventilatieboxen, e.d.)                                                                                           | ++    |
| 22. Continue monitoring van de gebouwprestatie (wel/geen comfortklachten e.d.) bv. middels een geavanceerd gebouwbeheerssysteem (waarmee bv. tevens het energiegebruik in detail mee bijgehouden wordt) of binnenklimaat klachtenlogboek                                    | +     |

In het overzicht is in de rechterkolom aangeven wat het effect van de bewuste maatregelen is op het energiegebruik. Bij de invulling hiervan is gebruik gemaakt van informatie in de Maatregelenlijst op de SenterNovem website. Een indicatie ++ of + betekent dat de bewuste gezondheidsbevorderende maatregel tevens een (zeer) positief effect heeft op de energieprestatie; -- of - betekent juist een (zeer) negatief effect.

Bekijken we de scores in de rechterkolom dan concluderen we dat van de 22 generieke maatregelen die hier gepresenteerd zijn om de gezondheid en het comfort van gebouwgebruikers te bevorderen er slechts 3 zijn (nr. 11, 12 en 18 resp. verse luchttoevoer, warmteterugwinning middels recirculatie / warmtewielen en gebruik van

periodiek verhoogde verlichtingsniveaus voor bioritme aansturingsdoeleinden) die duidelijk een negatief effect hebben op de energieprestatie. Daarnaast zijn er nog 4 generieke maatregelen die onder bepaalde omstandigheden een negatief effect kunnen hebben (zie de maatregelen 6, 8, 17 en 19), maar soms ook juist een positief effect. Verder zijn 13 gezondheidsbevorderende maatregelen energieprestatie-bevorderend; 2 zijn neutraal (geen effect op het energiegebruik).

*Al met al luidt de conclusie dat ca. 2/3<sup>e</sup> van de gezondheidsbevorderende (generieke) maatregelen die af zijn te leiden uit de literatuur per saldo ook energieprestatie-verhogend zijn. Speciale aandachtspunten (vaak duidelijk negatief effect op de energieprestatie) zijn de hoeveelheid verse luchttoevoer (gezondheid vraagt om forse debieten, energie juist om beperkte debieten) en het gebruik van recirculatie dan wel warmtewielen voor warmteterugwinningsdoeleinden.*

**Ergo: hypothese H1 ('gezondheidsbevorderende maatregelen zijn ook energieprestatie verhogend') is meestal waar (2 van de 3 keer).**

### 3.2 Hypothese H2: ziekteverzuimverlagend is energieprestatie verhogend?

Uit de in dit rapport gepresenteerde studies kan geconcludeerd worden dat de volgende maatregelen ziekteverzuimverlagend zijn (zie bv. Preller et al, 1990; Leijten, 2006 en Milton et al, 2000):

| <i>Ziekteverzuim verlagende maatregel</i>                                                                                                            | <i>Ziekteverzuim effect</i> | <i>Energie effect</i> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 Extra verse luchttoevoer (50 i.p.v. 30 m <sup>3</sup> /h p.p.)                                                                                     | - 0,3 %punt*                | - -                   |
| 2 Gebruik van emissie-arme interieurmaterialen                                                                                                       | - 0,5%punt                  | 0                     |
| 3 Vermijding van het gebruik van risicovolle (geluid, verontreiniging, tocht) klimaatsystemen als gevel inductie-units, fancoilunits en VAV-systemen | - 0,5%punt                  | +                     |
| 4 Vermijding van bevochtiging en dan m.n. sproei/verdampings-bevochtiging (= relatief snel microbiologisch verontreinigd)                            | - 0,6%punt                  | ++                    |
| 5 Vermijding van het gebruik van recirculatie                                                                                                        | - 0,5%punt                  | - -                   |
| 6 Vermijding van het gebruik van warmtewielen                                                                                                        | - 0,5%punt                  | - -                   |
| 7 Huisvesting in 1- en 2-persoons kamerkantoren i.p.v. in groepsruimten (> 5 personen per kamer) / kantoorruimten                                    | - 0,4%punt                  | 0                     |
| 8 Geen grotere copiers en printers dan wel sterk verontreinigende (CRT) monitoren in werkruimten                                                     | - 0,9%punt                  | 0                     |
| 9 Tijdige vervanging (ca. 1 keer per half jaar) van vervuilde filters (in centrale luchtbehandelingskasten maar bv. ook in decentrale units)         | - 0,6%punt                  | +                     |

\* Het ziekteverzuim effect is uitgedrukt in procentpunt; ter toelichting: bedraagt het ziekteverzuim in een gebouw bv. 6% en wordt er relatief weinig geventileerd (< 30 m<sup>3</sup>/h verse luchttoevoer per persoon) dan is bij verhoging van de verse luchttoevoer tot rond 50 m<sup>3</sup>/h p.p. een verlaging van het ziekteverzuim te verwachten van 0,3%punt; het ziekteverzuim wordt dan dus 5,7%. De verklaring is in dit geval (zie Milton et al, 2000) overigens een vermindering van het aantal infectieziekten dat via de lucht van collega tot collega wordt overgebracht.

In het overzicht is in de rechterkolom aangeven wat het effect van de bewuste ziekteverzuimverlagende maatregel is op het energiegebruik. Bij de invulling hiervan is gebruik gemaakt van informatie besloten in de Maatregelenlijst op de SenterNovem website. ++ of + betekent dat de bewuste maatregel tevens een (zeer) positief effect heeft op de energieprestatie; -- of - betekent juist een (zeer) negatief effect.

In de 3<sup>e</sup> kolom is ter informatie tevens aangegeven wat het kwantitatieve effect is van de opgesomde maatregelen op het ziekteverzuim. Voor meer informatie zie ook bijlage 1.

Merk op dat het gros van de studies waarbij naar ziekteverzuim effecten gekeken is onderzoeken in kantoorgebouwen betrof. Verder: in vergelijking met het aantal studies over bv. binnenmilieu en productiviteit gaat het bij ziekteverzuim over een zeer beperkt aantal studies. De in deze paragraaf gepresenteerde conclusies moeten dan ook met de nodige reserves gelezen worden.

Bekijken we de scores in de rechterkolom dan concluderen we dat het beeld nogal diffuus is. Sommige ziekteverzuimverlagende maatregelen hebben een positief effect op het energiegebruik (bv. vermindering van bevochtiging, tijdig vervangen van filters), andere juist een negatief effect (bv. extra verse luchttoevoer). Weer andere productiviteitsbevorderende maatregelen hebben een neutraal effect op het energiegebruik (bv. huisvesting in kamerkantoren i.p.v. in groepsruimten / kamerkantoren).

*Al met al luidt de conclusie dat ziekteverzuimverlagende maatregelen soms energieprestatie verhogend zijn en soms juist energieprestatie verlagend.*

**Ergo: hypothese H2 ('ziekteruimverlagende maatregelen zijn ook energieprestatie verhogend') is niet waar. Individuele maatregelen ter verlaging van het ziekteverzuim zoals bv. vermindering van bevochtiging en tijdige vervanging van filters kunnen echter wel een positief effect hebben op het energiegebruik.**

### 3.3 Hypothese H3: productiviteitsbevorderend is energieprestatie verhogend?

Uit de in dit rapport gepresenteerde studies kan geconcludeerd worden dat de volgende maatregelen productiviteits- en/of leerprestatie-bevorderend zijn (zie bv. Raw et al, 1990; Seppanen & Fisk, 2005; Wyon, 2000; Wargocki, 1998; Wargocki et al, 2003; Bako-Biro, 2004, Tanabe, 2006 en Seppanen et al, 2006; Mendell & Heath, 2005; Oseland, 1999; Heschong & Mahone, 2003 en Heschong & Mahone, 1999):

|    | <i>Productiviteits bevorderende maatregel</i>                                                                                                                                                                | <i>Productiviteits effect</i>                | <i>Energie effect</i> |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|
| 1  | Passieve maatregelen (niet te groot glaspercentage, zonwering, bouwmasa) dan wel actieve maatregelen (verwarming, koeling) ter beperking van te hoge (> 25 °C) dan wel te lage (< 20 °C) temperaturen binnen | - 2% per °C<br>boven 25 °C en<br>onder 20 °C | - -                   |
| 2  | Persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur middels een (thermostatische) temperatuurnop                                                                                                                    | + 4%                                         | -/+                   |
| 3  | Persoonlijke beïnvloeding van m.n. de verse luchttoevoer middels te openen ramen                                                                                                                             | + 2%                                         | -/+                   |
| 4  | Extra verse luchttoevoer (50 i.p.v. 30 m³/h p.p.)                                                                                                                                                            | + 1,5%                                       | - -                   |
| 5  | Gebruik van emissie-arme interieurmaterialen                                                                                                                                                                 | + 2,5%                                       | 0                     |
| 6  | Vermijding van het gebruik van risicovolle (geluid, verontreiniging, tocht) klimaatsystemen als gevel inductie-units, fancoilunits en VAV-systemen                                                           | + 2,5%                                       | +                     |
| 7  | Vermijding van bevochtiging en dan m.n. sproei/verdampings-bevochtiging (= relatief snel microbiologisch verontreinigd)                                                                                      | + 3%                                         | ++                    |
| 8  | Vermijding van het gebruik van recirculatie                                                                                                                                                                  | + 2,5%                                       | - -                   |
| 9  | Vermijding van het gebruik van warmtewielen                                                                                                                                                                  | + 2,5%                                       | - -                   |
| 10 | Huisvesting in 1- en 2-persoons kamerkantoren i.p.v. in groepsruimten (> 5 personen per kamer) / kantoorruimten                                                                                              | + 5%                                         | 0                     |
| 11 | Geen grotere copiers en printers dan wel sterk verontreinigende (CRT)                                                                                                                                        | + 4,5%                                       | 0                     |

|    |                                                                                                                                            |      |   |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|
|    | monitoren in werkruimten                                                                                                                   |      |   |
| 12 | Tijdige vervanging (ca. 1 keer per half jaar) van vervuilde filters (in centrale luchtbehandelingskasten maar bv. ook in decentrale units) | + 3% | + |
| 13 | Adequate daglichttoetreding (zonder hinderlijke bijwerkingen als verblinding)                                                              | + 7% | + |

In het overzicht is in de rechterkolom aangegeven wat het effect van de bewuste productiviteitsbevorderende maatregelen is op het energiegebruik. Bij de invulling hiervan is gebruik gemaakt van informatie besloten in de Maatregelenlijst op de SenterNovem website. De indicatie ++ of + betekent dat de bewuste maatregel tevens een (zeer) positief effect heeft op de energieprestatie; -- of - betekent juist een (zeer) negatief effect.

In de 3<sup>e</sup> kolom is ter informatie tevens aangegeven wat het kwantitatieve effect is van de opgesomde maatregelen op de productiviteit. Voor meer informatie zie ook bijlage 1 met een opsomming van de bevindingen van o.a. Seppanen & Fisk, 2005; Wyon, 2000; Wargocki et al, 2003; Bako-Biro, 2004; Tanabe, 2006 en Seppanen et al, 2006.

Bekijken we de scores in de rechterkolom dan concluderen we dat het beeld nogal diffuus is.

Sommige productiviteitsbevorderende maatregelen hebben een positief effect op het energiegebruik (bv. vermijding van bevochtiging, tijdig vervangen van filters, adequate daglichttoetreding), andere juist een negatief effect (bv. maatregelen ter beperking van te hoge en te lage temperaturen). Weer andere productiviteitsbevorderende maatregelen hebben een neutraal effect op het energiegebruik (bv. huisvesting in kamerkantoren i.p.v. in groepsruimten / kamerkantoren).

*Al met al luidt de conclusie dat productiviteitsbevorderende maatregelen soms energieprestatie verhogend zijn en soms juist energieprestatie verlagend.*

**Ergo: hypothese H3 ('productiviteitsbevorderende maatregelen zijn ook energieprestatie verhogend') is niet waar. Individuele maatregelen ter bevordering van de productiviteit zoals bv. vermijding van bevochtiging, tijdige vervanging van filters en adequate daglichttoetreding kunnen echter wel een positief effect hebben op het energiegebruik.**

### 3.4 Overige conclusies

Op basis van de in dit onderzoeksrapport gepresenteerde literatuurstudies zijn nog een aantal andere conclusies te trekken die bv. voor SenterNovem communicatie en programmeringsdoeleinden zijn te gebruiken:

*De binnenmilieukwaliteit in veel (Nederlandse) utiliteitsgebouwen is verre van optimaal. Zie bv. Preller et al, 1990; Bluyssen et al, 1995; Cox et al, 2002. Met hierbij de opmerking dat de meeste studies onderzoeken in kantoorgebouwen betreffen.*

*De indirecte kosten van het slechte binnenmilieu in NL utiliteitsgebouwen zijn hoog: orde van grootte van 5 miljard euro op jaarbasis. Zie bv. Fisk & Rosenfeld, 1997.*

*De terugverdientijden van veel energiebesparende maatregelen zijn spectaculair veel lager dan tot nu toe gedacht als je ook de verborgen meeropbrengsten door productiviteitsverbetering en ziekteverzuimverlaging meerekent. Zie paragraaf 3.2 en 3.3.*

*Een laag energiegebruik en een gezond binnenmilieu kan heel goed samen gaan. Zie bv. Roulet, 2005; Cox et al, 2002; Rolloos, 1999 en Boerstra et al, 2001.*

*Bij het ontwerp van utiliteitsgebouwen wordt (centrale) bevochtiging vaak standaard toegepast terwijl uit onderzoek bekend is dat 'droge lucht klachten' veel effectiever zijn te voorkomen door bronaanpak (emissiearme materialen en installatie componenten), voldoende (extra) verse luchttoevoer en een niet te hoge luchttemperatuur 's winters. Zie bv. Fang et al, 2003; Andersen et al, 1994; Andersson et al, 1975 en Sundell & Lindvall, 1993. Alleen indien om procesmatige redenen (bv. in gezondheidszorggebouwen, drukkerijen) bevochtiging onvermijdelijk is dient dit te worden toegepast. In bv. kantoorgebouwen en onderwijsgebouwen is toepassing van bevochtiging in Nederland niet nodig.*

*Een gezond, comfortabel en productief gebouw is m.n. een gebouw met goede mogelijkheden voor persoonlijke beïnvloeding (te openen raam, temperatuurknop e.d.). Zie bv. Zweers et al, 1990; Leijten, 2006 en Wyon, 2000. Hier wordt bij het ontwerp van nieuwe utiliteitsgebouwen in Nederland vaak onvoldoende rekening mee gehouden.*

*Binnenluchtkwaliteit verbetering dient zich allereerst te richten op bronaanpak (emissiearme materialen, dito installatiecomponenten, adequaat hygiënisch onderhoud en schoonmaak) en niet op verhoging van ventilatiehoeveelheden. Zie bv. Rolloos, 1999; Bluysen, 2001; Levin, 2006 en Fanger, 2001.*

*Een robuust ontwerp waarbij passieve maatregelen (slim ontworpen gevel e.d.) de voorkeur hebben boven actieve maatregelen (overdosis installatietechniek); is zowel qua gezondheid als qua energiegebruik te prefereren. Zie bv. Roulet, 2006 en Leijten et al, 2006.*

*Een doordacht ontwerp, niet voor een dubbeltje op de eerste rang willen zitten en niet bezuinigen op opleveringscontrole, monitoring en onderhoud is de sleutel tot laag energiegebruik en grote mate van gebruikerstevredenheid en een minimum aan binnenklimaatklachten. Zie bv. Leijten et al, 2006; Rolloos, 1999 en Levin, 2006.*

*Energiebesparing alleen is voor veel opdrachtgevers onvoldoende 'incentive' om te kiezen voor (extra) maatregelen die meerkosten met zich meebrengen. Door op eventuele positieve effecten op gezondheid, productiviteit en ziekteverzuim te wijzen en de mogelijkheid gebouwen meer als 'marketingtool' te zien kunnen opdrachtgevers eerder over de streep getrokken worden. Zie bv. Boerstra et al, 2001.*



## 4 BELEIDSIMPLICATIES

Op basis van de uitkomsten van deze literatuurstudie zijn de volgende conclusies te trekken t.a.v. mogelijke beleidswijzigingen binnen SenterNovem:

### ALGEMENE COMMUNICATIE:

- Meer nadruk op de gezondheids- en productiviteitsvoordelen van energiebesparende maatregelen (m.n. natuurlijk daar waar het maatregelen betreft die daadwerkelijk zowel energie- als gezondheidsvoordelen hebben). De al bestaande SN publicatie 'Meer comfort met minder energie' kan daarbij als voorbeeld dienen. Merk op dat bij het huidige onderzoek is gekeken naar de energiebesparende effecten van maatregelen waarvan bewezen is dat deze gezondheidsbevorderend zijn. Dit is niet exact gelijk als kijken naar gezondheidseffecten van energiebesparende maatregelen. Houdt hier bij de verdere communicatie over dit onderwerp rekening mee.
- Meer uitleg van mogelijke negatieve effecten van energiebesparende maatregelen (denk bv. aan terugregelen ventilatiedebieten, gebruik van recirculatie, overmatig gebruik van beglazing (oververhitting)). Men zou bv. kunnen overwegen om de SN maatregelenlijsten op de eigen website daar waar nodig te voorzien van een 'let op' button (bijsluiter) waarin uitgelegd wordt wat mogelijke 'gezondheids- of comfort bijwerkingen' zijn en wat men kan doen om deze te voorkomen. Tegelijkertijd zou men die maatregelen uit de maatregelenlijsten die juist positieve effecten hebben op gezondheid, comfort, productiviteit en ziekteverzuim natuurlijk extra moeten 'uitlichten'.
- Meer nadruk (m.n. in de communicatie richting werkgevers en gebouweigenaren) op de mogelijkheid gebouwen en installaties te gebruiken als marketingtool en 'facilitator', gericht op verhoging van het welzijn van de gebouwgebruikers en verhoging van de prestaties en daarmee effectiviteit (winstgevendheid) van de betrokken organisatie.

### SPECIFIEKE PUBLICATIES:

- Publicatie NN voorbeeldprojecten. Waarbij met NN bedoeld wordt: én (N) energiezuinig, én (N) gezond. Een dergelijke publicatie zou beschrijvingen van al opgeleverde voorbeeldprojecten moeten bevatten waarvan de goede energieprestatie en de goede gezondheidsprestatie *daadwerkelijk* in de praktijk is aangetoond. Bv. middels monitoring van het energiegebruik, meting van binnenmilieu-parameters en een enquête onder de gebouwgebruikers. Overigens kan men in dit verband denken aan aparte publicaties over NN kantoren, NN scholen, NN ziekenhuizen etcetera.
- Publicatie NN maatregelen. Hier is bedoeld een publicatie die een opsomming geeft van (nieuwbouw/renovatie) maatregelen waarvan bekend is dat ze zowel energiebesparend als gezondheidsbevorderend zijn.

### MARKTSTIMULERING:

- Subsidiëring gezondheidsbevorderende technieken (combinaties van technieken) die eveneens energiezuinig zijn. Bv. middels een 'NN projectenfonds' (zie voor een uitleg van NN onder 'Publicaties' hierboven) dat gebruikt kan worden ter stimulering van allergeenarme woningen, leerprestatiebevorderende schoolgebouwen en productiviteit verhogende kantoorgebouwen.

**FUNDAMENTEEL ONDERZOEK:**

- Benchmarking binnenmilieukwaliteit anno 2006+ in Nederlandse utiliteitsgebouwen middels gebruikerservaringen. Bijvoorbeeld middels een (webbased) enquête (gebruik makend van een vragenlijst vergelijkbaar met die van Preller et al (1990)) die door SN contactpersonen (gebouwbeheerders) uitgezet worden onder de gebouwgebruikers in de diverse panden. Op deze wijze kan de binnenmilieu-kwaliteit in verschillende bouwcategorieën in kaart worden gebracht (onderwijsgebouwen, kantoorgebouwen, gezondheidszorggebouwen e.d.).
- Periodieke evaluatie gezondheids- en comfort-effecten nieuwe energiebesparende technologieën. Wat inhoudt dat er in nieuwe gebouwen met innovatieve energieprestatie bevorderende systemen niet alleen geëvalueerd wordt hoe de energieprestatie is, maar ook wat de gebruikerservaringen zijn.
- Stimulering nader onderzoek (deels gefinancierd door derde partijen) naar de relatie energie - binnenmilieukwaliteit - output primaire proces. Denk dan bv. aan onderzoek naar het effect van verbeterde ventilatie op de leerprestaties in scholen (deels al opgestart, TNO onderzoek medio 2006), onderzoek naar het effect van verbetering thermisch binnenklimaat op het sterfterisico in verpleeghuizen, onderzoek naar het effect van luchtkwaliteitsverbetering op de productiviteit in call centers, onderzoek naar het effect van binnenklimaat-verbetering op de verkoop in winkelgebouwen, etcetera.

**OVERIGE:**

- Verder biedt de verplichte introductie van de European Performance of Buildings Directive (EPBD) kansen voor een meer integrale benadering van energie en gezondheid in de gebouwde omgeving. Zie bv. de concept EPBD norm PrEN 15251 ('EPBD gezondheids - binnenmilieu norm') en het door de Woonbond en BBA in opdracht van SenterNovem (Piet Heijnen) geschreven document 'EPBD-EPA gezondheidsmodule utiliteitsbouw'.
- Een andere ontwikkeling die kansen biedt betreft Publiek Private Samenwerking (PPS). Het gaat hier om een nieuw type samenwerkingsverband waarbij overheid en bedrijfsleven gezamenlijk een bouwproject realiseren op basis van een heldere taak- en risicoverdeling. Het doel van PPS is het realiseren van meerwaarde: een kwalitatief beter eindproduct voor hetzelfde geld, of dezelfde kwaliteit voor minder geld. Het werken met prestatie-eisen (bv. zowel t.a.v. de energieprestatie als de binnenmilieu kwaliteit) die gedurende de hele levensduur gegarandeerd moet zijn is vaak standaard binnen een PPS project en biedt in dit verband een win-win mogelijkheid.... Voor meer informatie en beschrijvingen van PPS voorbeeldprojecten, neem contact op met het PPS centrum van het Ministerie van Financiën (zie ook [www.minfin.nl](http://www.minfin.nl)).



## LITERATUUR REFERENTIES

- Andersen I et al. 1974. Human response to 78-hour exposure to dry air. Arch Environ Health, Vol 29, Dec 74, pp. 319-324.
- Andersson LO et al. 1975. Human responses to dry, humidified and intermittently humidified air in large office buildings. Swedish Building Research.
- Bakó-Biró Z. 2004. Human Perception, SBS Symptoms and Performance of Office Work during Exposure to Air Polluted by Building Materials and Personal Computers. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.
- Bluyssen P.M., de Oliveira Fernandes E., Fanger P.O., Groes L., Clausen G. Roulet C.A., Bernard C.A., Valbjorn O. 1995. Final report. European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings. TNO bouw, Delft.
- Bluyssen Ph M. 2001. AIRLESS – PUBLISHABLE FINAL REPORT. TNO Building and Construction Research, Contract JOR3-CT97-0171.
- Boerstra AC, De Vries G. 2003. Gezonde, duurzame kantoorgebouwen. Cahier V2 Praktijkboek Gezonde Gebouwen. SBR/ISSO, Rotterdam.
- Boerstra AC, Raue AK, Bosch JS. 2001. Oriënterend onderzoek - Binnenmilieu consequenties aanscherping EPC eisen utiliteitsbouw. Novem bv, Utrecht.
- Boray P.F., Gifford R. en Rosenblood L. 1989. Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others. Journal of Environmental Psychology (1989), nr. 9, pp. 297-308.
- Brohus H. 2006. Combined optimisation of indoor environment and energy consumption using the Eco-factor. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 5, p 219-224.
- Butala V, Novak P. 1999. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. Energy and Buildings, Vol. 29, pp. 241-246.
- Cox C., Bluyssen P.M. Roulet C.A. et al. 2002. Final report. Health Optimisation Protocol for Energy-efficient buildings (HOPE). TNO Bouw, Delft. Zie ook <http://hope.epfl.ch/>
- Fang L, Wyon DP, Fanger PO. 2003. Sick Building Syndrome symptoms caused by low humidity. Proceedings Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 1-6.
- Fang L. Wyon D.P. Clausen G. Fanger P.O. 2004. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air Journal 2004; 14 (Suppl 7): 74-81.
- Fanger PO. 2001. Human requirements in future air-conditioned environments. International Journal of Refrigeration nr. 24, pp 148-153.
- Fisk B, Rosenfeld F. 1997. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments
- Hedge A., Sims W.R., Becker F.D. 1995. Effects of lensed-direct and parabolic lighting on the satisfaction, visual health and productivity of office workers. Ergonomics (1995), Vol. 38, Nr. 2, pp. 260-280.
- Heschong Mahone Group. 1999. Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance. Detailed Report. Heschong Mahone Group, VS.
- Heschong Mahone Group. 2003. Windows and classrooms: A study of student performance and the indoor environment. California Energy Commission, VS.
- Indoor Air 1997. Vol 7, pp. 158-172.
- Katzev R. 1992. The impact of energy efficient office lighting strategies on employee satisfaction and productivity. Environment and behavior (1992), nr. 24, pp. 759 – 778.

- Lagercrantz L. et al. 2003. Objective and subjective responses to low relative humidity in an office intervention study. Proceedings Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 163-168.
- Leijten JL. 2006. 20 jaar veldonderzoek in kantoorgebouwen. Facility Management, jaarboek 2006, pp. 58-60.
- Lensink, S. 2002. Beter licht op het werk kan € 2 miljard besparen. Tijdschrift Licht, december 2002, pp. 6 - 7.
- Levin H. 2006. Environmental impacts of technologies for sustainable buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 5, p 45-50.
- Leyten JL, Kurvers SR. 2006. Robustness of buildings and HVAC systems as a hypothetical construct explaining differences in building related health and comfort symptoms and complaint rates. Energy and Buildings, Vol. 38, pp. 701-707.
- Mendell MJ, Heath GA. 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. Indoor Air 2005, Vol. 15, pp. 27-52.
- Mendell MJ. 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiological literature. Indoor Air 1993, Vol. 3, pp. 227-236.
- Milton DK, Glencross PM, Walters MD. 2000. Risk of sick leave associated with outdoor air supply, humidification, and occupant complaints. Indoor Air 2000, Vol 10, pp. 212-221.
- Norton DI. 1995. Elementary school utilizes solar design techniques and groundwater cooling system for energy efficiency. ASHRAE Journal, Vol. 3, pp. 50-52.
- NSVV commissie Licht & Gezondheid 2003. Licht en Gezondheid voor werkenden. NSVV, Ede.
- Oseland N.A. 1999. Environmental factors affecting office worker performance: a review of evidence. Technical memorandum TM24. CIBSE, Londen, Verenigd Koninkrijk.
- Pejtersen J. 1996. Sensory air pollution caused by rotary heat exchangers. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 3, pp. 459-464.
- Preller L, Zweers T, Brunekreef B, Boleij JSM. 1990. Sick leave due to work-related health complaints among office workers in the Netherlands. Proceedings Indoor Air 1990, Canada: Indoor Air 1990, Vol. 1, p. 227-290.
- Raw GJ, Roys MS. 1990. Further findings from the office environment survey: productivity. Proceedings Indoor Air 1990, Canada: Indoor Air 1990, Vol 1, pp 231-236.
- Rolloos. 1999. Energiebesparing niet ten koste van het binnenmilieu. TNO Bouw, Delft.
- Roulet CA. 2006. Indoor air quality and energy performance of buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 1, 37-47.
- Ruud S, Carlsson T. 1996. Transfer of pollutants in rotary air-to-air heat exchangers – a state of the art investigation. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 3, pp. 977-982.
- Seppänen O, Fisk WJ, Lei QH. 2006. Ventilation and performance in office work. Indoor Air, Vol 16, pp. 28-36.
- Seppänen O, Fisk WJ. 2005. Indoor climate and productivity. Rehva Journal 3-4/2005, 8/11.
- Sundell J, Lindvall T. 1993. Indoor air humidity and sensation of dryness as risk indicators of SBS. Indoor Air, Vol 3, pp. 382-390.
- Sundell J. 1994. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports. Indoor Air, supplement 2/94.

- Tanabe S. 2006. Indoor temperature, productivity and fatigue in office tasks. Proceedings Healthy Buildings 2006, Vol 1, p 49-56.
- US Departement of Energy, 2001. Benefits of energy efficient lighting (web based summary). USDE, Washington DC, VS.
- Wargocki P, Wyon DP, Fanger PO. 2003. Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates. Proceedings Healthy Buildings 2003, Singapore, Healthy Buildings 2003, Vol 3, pp. 213-218.
- Wargocki P, Wyon DP, Matysiak B, Irgens S. 2005. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. Proceedings Indoor Air 2005, China, Indoor air 2005: Vol. 1, pp. 368-372.
- Wargocki P. 1998. Human perception, productivity and symptoms related to indoor air quality. Ph. D. thesis, Technical University of Denmark.
- Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. 2002. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on office work. Proceedings Indoor Air 2002, VS. Indoor air 2002: Vol 4, pp. 1084-1089.
- Wyon DP. 1996. Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility. Proceedings Indoor Air 1996, Japan, Indoor Air 1996: Vol. 1, pp. 1067-1072.
- Wyon DP. 2000. Individual control at the workplace: the means and the potential benefits. In: Clements-Croome D. ed. 2000. Creating the productive workplace, E & FN SPON, 192-206.

## BIJLAGE 1: KENTALLEN PRODUCTIVITEIT & ZIEKTEVERZUIM

Zonder dat de volledige afleiding gegeven wordt, kunnen uit de in dit onderzoeksrapport gepresenteerde onderzoeken, aangevuld met enkele relevante andere onderzoeken, de volgende kengetallen voor productiviteit en ziekteverzuim worden afgeleid:

|                                                              | <i>Productiviteit</i> | <i>Ziekteverzuim</i> |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Voor geconditioneerde modus:                                 |                       |                      |
| Luchttemperatuur 20-25°C                                     | 0%                    |                      |
| Luchttemperatuur per °C boven 25°C                           | -2%                   |                      |
| Luchttemperatuur per °C onder 20°C                           | -2%                   |                      |
| Voor <i>free running</i> modus:                              |                       |                      |
| Temperatuur in comfortgebied                                 | 0%                    |                      |
| Luchttemperatuur per °C boven comfortgebied                  | -2%                   |                      |
| Luchttemperatuur per °C onder comfortgebied                  | -2%                   |                      |
| Geen temperatuurregeling door werknemers                     | -4%                   |                      |
| 1-2 werkplekken per ruimte                                   | 0%                    |                      |
| 2-4 werkplekken per ruimte                                   | -2,5%                 | +0,2 %punt           |
| meer dan 5 werkplekken per ruimte                            | -5%                   | +0,4 %punt           |
| Geen te openen ramen                                         | -2%                   |                      |
| Ventilatie 15 l/s*persoon                                    | 0%                    |                      |
| Ventilatie 10 l/s*persoon                                    | -1%                   | +0,2 %punt           |
| Ventilatie 6,5 l/s*persoon                                   | -2%                   | +0,4 %punt           |
| Sterk vervuild luchttoevoerfilter                            | -8%                   | +1,6 %punt           |
| Matig vervuild luchttoevoerfilter                            | -3%                   | +0,6 %punt           |
| Aanwezigheid sproei-/verdampingsbevochtiging                 | -3%                   | +0,6 %punt           |
| Gebruik van elk soort bevochtiging                           | -0,5%                 | +0,1 %punt           |
| Eenvoudige centrale koeling ventilatielucht                  | -2%                   | +0,4 %punt           |
| Inductie-units                                               | -2,5%                 | +0,5 %punt           |
| VAV / fancoil                                                | -3%                   | +0,6 %punt           |
| Warmtewiel                                                   | -2,5%                 | +0,5 %punt           |
| Recirculatie                                                 | -2,5%                 | +0,5 %punt           |
| Volledig volgen van emissiestandaarden voor materialen       | 0%                    |                      |
| Gedeeltelijk volgen van emissiestandaarden voor materialen   | -2,5%                 | +0,5 %punt           |
| Weinig of niet volgen van emissiestandaarden voor materialen | -5%                   | +1,0 %punt           |
| Geen CRT monitors, copiers en printer in werkruimte          | 0%                    |                      |
| CRT monitors en copiers en printer alleen voor eigen gebruik | -4,5%                 | +0,9 %punt           |
| CRT monitors en netwerk copiers en printers                  | -9%                   | +1,8 %punt           |