



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Effecten van het binnenmilieu op de productiviteit en het ziekteverzuim

EOS-LT Facet

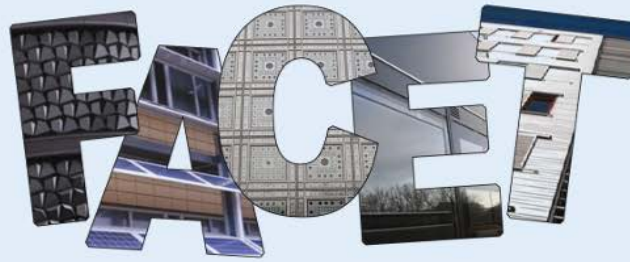
Datum Oktober 2011

Drs. J.L. Leijten, ing. S.R. Kurvers
TU-Delft, faculteit Bouwkunde, afdeling Bouwtechnologie,
Sectie Klimaatontwerp

In opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)

Publicatienr RVO-152-1501/RP-DUZA
www.rvo.nl

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van
Economische Zaken.



Facade als Adaptief Comfortverhogend Energiebesparend Toekomstconcept

FACET-deelrapport x.x

WP 4.3 Productiviteits- en ziekteverzuimeffecten

| | |
|-----------------|---|
| Datum | 21 oktober 2011 |
| Auteur(s) | drs. J.L. Leijten ing. S.R. Kurvers TU-Delft, faculteit Bouwkunde, afdeling Bouwtechnologie, Sectie Klimaatontwerp |
| Exemplaarnummer | <copy no> |
| Oplage | <no.of copies> |
| Aantal pagina's | 24 |
| Aantal bijlagen | <number of appendices> |
| Opdrachtgever | <Customer> |
| Projectnaam | FACET |
| Projectnummer | <Projectnumber> |

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de auteurs.

FACET is een EOS-LT onderzoeksproject, gesubsidieerd door [Agentschap NL](#)

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| Verantwoording | 3 |
| Samenvatting | 4 |
| 1 Inleiding | 5 |
| 2 Invloed van temperatuur en thermisch comfort op productiviteit | 6 |
| 3 Invloed van ventilatie en luchtkwaliteit op productiviteit | 11 |
| 4 Ruimte indeling en productiviteit | 14 |
| 5 Effect van ventilatie op ziekteverzuim | 17 |
| 6 Effect van ruimteindeling op ziekteverzuim | 18 |
| 7 Effect van verontreinigingsbronnen in ventilatiesystemen op ziekteverzuim | 20 |
| 8 Effect van ontevredenheid over het binnenmilieu op ziekteverzuim | 21 |
| 9 Literatuur | 23 |

Verantwoording

In dit rapport worden de effecten van het binnenmilieu op de productiviteit onderzocht. Het gaat hierbij om de effecten van temperatuur, thermisch comfort, luchtkwaliteit, ventilatie, vervuilingsbronnen, persoonlijke beïnvloeding en ruimte-indeling. Hierbij is gebruik gemaakt van de literatuurstudie naar het binnenmilieu (FACET-deelrapport ..), aangevuld met literatuurbronnen die specifiek over productiviteit gaan.

Samenvatting

Productiviteit wordt in de meeste onderzoeken gekwantificeerd door het meten van bijvoorbeeld het aantal telefoongesprekken, het aantal toetsaanslagen of het aantal juiste antwoorden per tijdseenheid. Dit gebeurt in zowel laboratoriumomgevingen als in wekelijkse omgevingen.

Wat betreft de invloed van temperatuur op de productiviteit, vaak wordt een onderzoek van Rehva gebruikt om te laten zien dat de productiviteit het hoogst is bij een temperatuur van circa 22°C. Andere onderzoeken laten zien dat de productiviteit samenhangt met de mate van ervaren thermisch comfort. Bij routinematige taken is de prestatie maximaal bij een "lichtelijk koele" omgeving, terwijl bij taken die creativiteit vereisen de prestatie maximaal is bij een "lichtelijke warme" thermische sensatie. Het productiviteitsverlies is echter beperkt tot maximaal 2,5%. Deze onderzoeken gelden echter uitsluitend voor omgevingen met volledige airconditioning en niet voor omgevingen met natuurlijke of hybride klimatisering, zoals in Nederland het meeste voorkomen. Enerzijds zijn de temperatuurvariëaties groter in natuurlijk geventileerde omgevingen, maar anderzijds zijn de ervaren beïnvloedingsmogelijkheden groter. Nader onderzoek is hier dus gewenst.

Wat betreft de invloed van de luchtkwaliteit op de productiviteit, het verhogen van de ventilatie resulteert in een productiviteitsverbetering van circa 1%, maar het wegnemen van verontreinigingsbronnen in ventilatiesystemen en werkruimtes kan een productiviteitsverbetering geven tot circa 10%.

Verder blijkt dat de productiviteit lager wordt naarmate er meer mensen in een ruimte werken, zoals in groepskantoren of kantoortuinen. Dit is het gevolg van een combinatie van factoren, zoals meer comfort- en gezondheidsklachten, gebrek aan beïnvloedingsmogelijkheden en geluidhinder. Het productiviteitsverlies kan oplopen tot circa 14%.

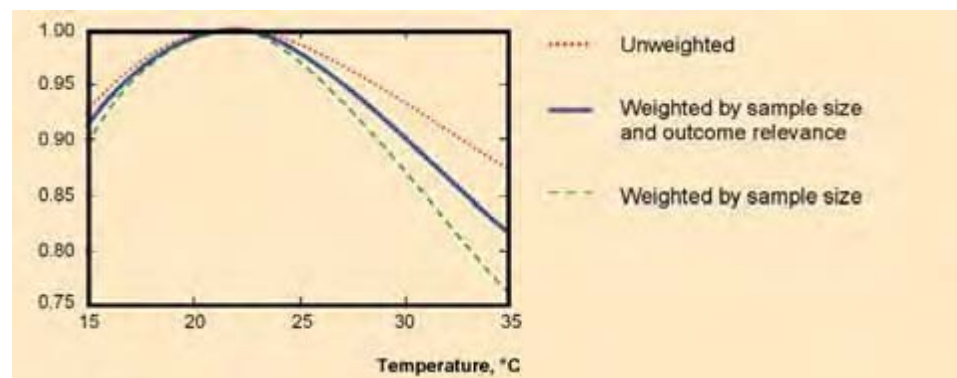
Ook ziekteverzuim kan worden beïnvloed door de kwaliteit van het binnenmilieu. Een betere ventilatie, maar ook het werken met minder mensen in een ruimte, leidt tot minder ziekteverzuim. Ook verontreinigingsbronnen en luchtbevochtiging in de luchtbehandelingsinstallatie leidt tot een verhoging van het ziekteverzuim. In kantoorruimtes waar over het binnenmilieu wordt geklaagd, blijkt het ziekteverzuim ook daadwerkelijk hoger te zijn.

1 Inleiding

In dit rapport worden de termen “productiviteit” en “prestatie” naast elkaar gebruikt, meestal afhankelijk van welke term wordt gebruikt in de betreffende referenties. De term “productiviteit” wordt meestal gebruikt voor maten die representatief zijn voor bepaalde soorten kantoorwerk en die kwantificeerbaar zijn. Hierbij valt te denken aan het aantal telefoongesprekken dat binnen een bepaalde tijd in een callcenter wordt afgehandeld (bv. Wargocki et al. 2003), de tijd die nodig is om een bepaalde tekst te verwerken (bv. Bakó-Biró 2004) of het aantal toetsaanslagen per werkdag in het geval van computerprogrammeurs (bv. Nishihara et al. 2007). Deze maatstaven bieden kwantitatieve productiviteitsindicatoren en maken het bovendien mogelijk productiviteitswinst of -verlies in percentages uit te drukken. In andere onderzoeken, bijv. Ueki et al. (2007) en Haneda et al. (2008) geven de proefpersonen gedurende een bepaalde tijd een groot aantal reken- of andere taken te doen en definiëren hun prestaties als het aantal juiste antwoorden per tijdseenheid, hetgeen een soort combinatie van prestaties en productiviteit oplevert. Deze combinatie kan met percentages productiviteitsverlies of -winst worden vergeleken, als we ervan uitgaan dat het deels rechtstreeks een vermindering van de kwantitatieve productiviteit inhoudt en deels een indicatie van de hoeveelheid gemaakte fouten, die, als de organisatie, of de afnemers, een bepaalde kwaliteitsstandaard hanteert, ergens in het productieproces weer moeten worden hersteld, wat ook weer tijd in beslag neemt, waardoor de totale kwantitatieve productie verder wordt verminderd.

2 Invloed van temperatuur en thermisch comfort op productiviteit

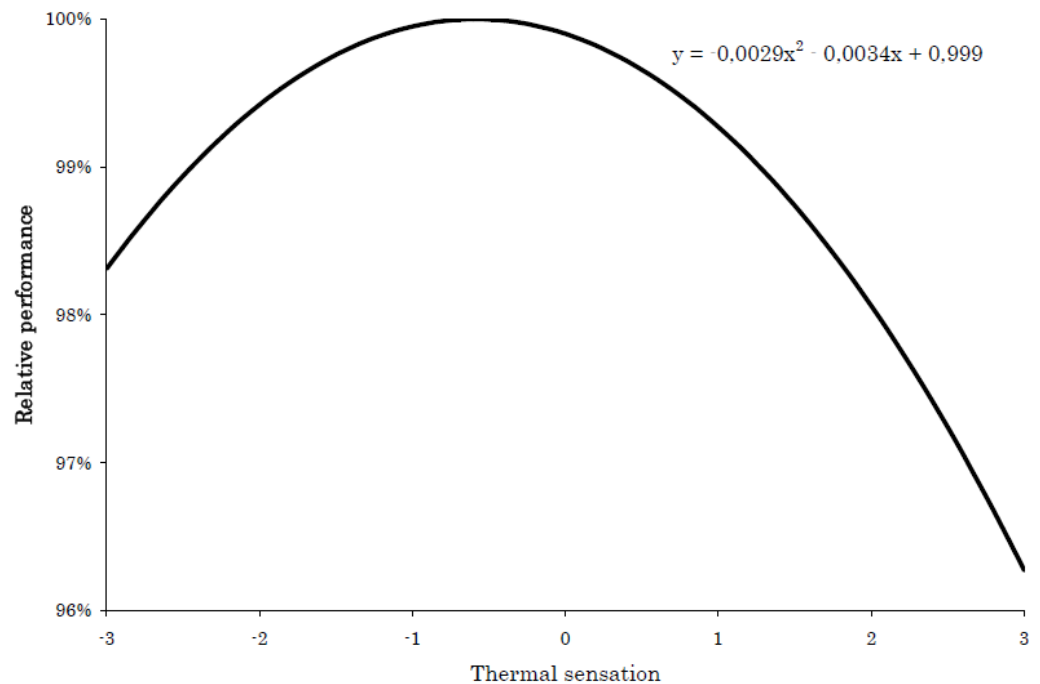
De ISSO/Rehva handleiding 901 Binnenmilieu en productiviteit in kantoren – Het integreren van productiviteit in de levensduur kosten-analyse van gebouwvoorzieningen (hierna te noemen: de ISSO/Rehva handleiding) bevat een meta-analyse van studies naar de effecten van temperatuur op de arbeidsproductiviteit. De uitkomsten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 1. Wanneer uitgegaan wordt van de curve die gewogen is naar steekproefomvang en relevantie van de gebruikte productiemaat voor kantoorwerk ligt de maximale productiviteit bij een temperatuur van 21,75°C en daalt de productiviteit met ca. 1,5% per °C onder of boven deze temperatuur, hetgeen dus binnen het comfortgebied tot maximaal circa 3% kan afnemen.



Figuur 1: Relatieve arbeidsproductiviteit vs. temperatuur. Maximale productiviteit is gelijk gesteld aan 1.

Het verband in figuur 1 is alleen geldig voor airconditioned omgevingen. Van de 24 afzonderlijke onderzoeken waarop het verband in de ISSO/Rehva handleiding gebaseerd is, zijn er 14 experimentele onderzoeken in een klimaatkamer of een laboratorium zijn waarbij de temperatuur door de proefleider gemanipuleerd werd, 8 onderzoeken vonden plaats in *airconditioned* kantoorruimtes, één onderzoek vond plaats in een kantoorgebouw met mechanische ventilatie zonder koeling en zonder te openen ramen en één onderzoek vond plaats in een kledingatelier zonder koeling. Dit betekent dat 22 van de 24 onderzoeken een *airconditioned* omgeving betreffen en het verband in figuur 1 representatief is voor *airconditioned* omgevingen. Geen van de 24 studies is representatief voor een *free running* kantooromgeving. Of het in de ISSO/Rehva handleiding gepresenteerde verband ook representatief is voor *free running* omgevingen kan op grond van de gegevens in de ISSO/Rehva handleiding of andere gegevens niet vastgesteld worden. Wij hebben geen studies gevonden over de effecten van temperatuur op de arbeidsproductiviteit in een *free running* omgevingen. Wel wijzen verschillende onderzoeken erop dat in een gegeven omgeving de productiviteit het hoogst is wanneer de werknemers de omgeving als het meest comfortabel ervaren en dat de productiviteit lager wordt naarmate de omgeving als minder comfortabel wordt ervaren (McCartney en Humphreys, 2002; Nishihara et al., 2007; Ueki et al., 2007; Haneda et al., 2008). Dit wordt bevestigd door Jensen (2008), die een verband vond van prestatie met thermische sensatie op grond van vier onderzoeken waarbij de proefpersonen die mentale tests uitvoerden bij verschillende temperaturen werd

gevraagd naar hun thermische sensatie op de ASHRAE-schaal. Het resultaat wordt gegeven in figuur 2.



Figuur 2: Dosis-effectrelatie tussen thermische sensatie en relatieve productiviteit (Jensen, 2008).

De bijbehorende formule luidt (waarbij $ts \equiv$ thermische sensatie):

$$\text{Relatieve prestatie} = -0,0029 ts^2 - 0,0034 ts + 0,999 \quad (1)$$

Volgens dit verband ligt het punt van maximale prestatie net iets onder thermische sensatie = 0.

Lan et al. (2010), gebaseerd op drie onderzoeken in een klimaatkamer, vindt eveneens een verband van productiviteit met thermische sensatie, met als formule:

$$\text{Relatieve prestatie} = -0,035 ts^3 - 0,215 ts^2 + 99,865 \quad (2)$$

Het effect van thermische sensatie op productiviteit boven $PMV = 0$ is volgens (2) lager dan volgens (1). Twee van de drie onderzoeken waarop (2) is gebaseerd hebben zeer korte expositietijden, waardoor het effect waarschijnlijk onderschat wordt, en betreffen alleen mentale tests en geen gesimuleerd kantoorwerk. Bovendien werden in één van deze onderzoeken de proefpersonen gemotiveerd om bij de conditie van 32°C de test snel af te maken, omdat zij na voltooiing van de test de oncomfortabele proefruimte direct konden verlaten en niet hoefden te wachten op het officiële einde van het onderzoek, waardoor de snelheid en daardoor ook de totale productiviteitsscore bij deze conditie werden verhoogd. Daarom is het verband in Jensen (2008), formule (1), representatiever dan dat in Lan et. al (2010), formule (2).

Ook volgens Lan et al. (2010) ligt het punt van maximale prestatie net iets onder thermische sensatie = 0. Lan et al. adviseren daarom om de PMV op werkplekken te regelen tussen -0,5 en 0 in plaats van tussen -0,5 en +0,5. Hier zijn de volgende opmerkingen op hun plaats:

- Bestaande onderzoeken laten zien dat de maximale prestatie bij routinematige taken wordt behaald bij een lichtelijk koele thermische sensatie, maar dat maximale prestatie bij taken die creativiteit en logisch denken vereisen wordt behaald bij een lichtelijk warme thermische sensatie (Jensen et al., 2009). Op de moderne werkplek worden voor alle functieniveaus, naast routinetaken, steeds meer creativiteit en logisch denken vereist.
- Formules (1) en (2) laten zien dat bij thermische sensatie = 0 de relatieve prestatie 0,999 bedraagt, dus slechts 0,1% onder het optimum.

Op basis hiervan wordt voorgesteld om als standaard uit te gaan van $t_s = 0$ voor maximale prestatie. Dit past in de eerder genoemde algemenere generalisatie dat in een gegeven omgeving de productiviteit het hoogst is wanneer de werknemers de omgeving als het meest comfortabel ervaren en dat de productiviteit lager wordt naarmate de omgeving als minder comfortabel wordt ervaren. Op basis van de relatie in figuur 2 concluderen Toftum et al. (2009) dat in verschillende klimaten toepassing een *free running* omgeving volgens het adaptieve model (in dit geval De Dear et al., 1997) leidt tot minimale vermindering van productiviteit t.o.v. een *airconditioned* omgeving (variërend van 0,1% in Copenhagen tot 0,8% in Singapore). Hierbij moet opgemerkt worden dat in de beste *free running* omgevingen de klachten over droge lucht¹ (een goede maatstaf voor het percentage ontevreden over de luchtkwaliteit) 30% lager ligt dan in de beste *airconditioned* omgevingen (Leijten en Kurvers, 2007). Volgens het voorgestelde verband in de paragraaf "Effecten van ventilatie en luchtkwaliteit op productiviteit" komt dit neer op een 3% lagere productiviteit in *airconditioned* t.o.v. *free running* omgevingen, wat het kleine thermische effect ruimschoots compenseert.

Jensen (2008) merkt op dat het verband in figuur 2 conservatiever is dan dat in figuur 1. In figuur 1 komt een temperatuur boven 30°C overeen met een prestatievermindering van meer dan 10%, terwijl in figuur 2 een thermische sensatie van +3 (de hoogste waarde op de schaal die overeenkomt met "heet") overeenkomt met een prestatievermindering van 2,5%. Blijkbaar is er een systematisch verschil tussen de groepen onderzoeken waarop figuur 1 resp. figuur 2 zijn gebaseerd. Hiervoor wordt in Jensen (2008) of elders geen afdoende verklaring gegeven.

Ook moet opgemerkt worden dat de vier onderzoeken waarop het verband in figuur 2 is gebaseerd, alle *airconditioned* omgevingen betreffen waarbij de proefpersonen geen invloed hadden op de temperatuur. Nog steeds blijft de vraag in hoeverre dit te generaliseren is naar *free running* omgevingen. Aan de ene kant kan niet uitgesloten worden dat door de hogere waargenomen invloed van de werknemers op hun omgeving, deze een zelfde hogere of lagere thermische sensatie als minder belastend ervaren en daardoor ook het prestatieverminderende effect lager is. In dat geval overschat figuur 2 de vermindering van prestatie bij hogere en lagere thermische sensatie in een *free running* omgeving. Omdat het effect van hogere waargenomen invloed op de omgeving waarschijnlijk al geheel of voor een groot

¹ Dat mensen de lucht als droog ervaren, hangt eerder samen met luchtverontreiniging in de binnenruimte dan met een lage luchtvochtigheid.

deel verdisconteerd is in adaptief thermisch comfort (De Dear et al., 1997) en omdat het verband in figuur 2 al conservatief is ten opzichte van dat in figuur 1, is het niet waarschijnlijk dat figuur 2 de vermindering van prestatie bij hogere en lagere thermische sensatie in een *free running* omgeving overschat. Aan de andere kant kan ook niet uitgesloten worden dat, omdat in een *free running* omgeving een hogere thermische sensatie overeen kan komen met hogere temperatuur in °C dan in een *airconditioned* omgeving, het prestatieverminderende effect groter is. In dat geval onderschat figuur 2 de vermindering van prestatie bij hogere en lagere thermische sensatie in een *free running* omgeving.

Lan et al. (2011), gebaseerd op één van de drie onderzoeken gebruikt in Lan et al. (2010), lijkt dit laatste te bevestigen. In dit onderzoek worden proefpersonen in een klimaatkamer blootgesteld aan twee temperaturen: 22 en 30°C. In beide condities is de Clo 0,9. Zij voeren daarbij mentale tests en gesimuleerd kantoorwerk uit. Tevens worden gedurende en na de blootstelling fysiologische tests uitgevoerd, waaronder hartfrequentie en ademvolume. De resultaten zijn o.a. als volgt:

- De thermische sensatie is gemiddeld 0 bij 22°C en gemiddeld +2 bij 30°C, wat ook grond van het PMV-model te verwachten is.
- De prestatie op de verschillende testen is in de conditie 30°C lager dan in de conditie 22°C. Voor de tests die het meest representatief zijn voor kantoorwerk gemiddeld ca. 10%, wat heel goed overeenkomt met het verband in figuur 1.
- Verhoogde hartfrequentie, verhoogd ademvolume en de uitkomsten van andere fysiologische tests in de conditie 30°C wijzen op een hogere fysiologische belasting bij 30°C.

Lan et al. (2011) concluderen hieruit in de *Abstract* en de *Conclusions* dat negatieve effecten op gezondheid en prestatie die waargenomen worden wanneer proefpersonen een hogere thermische sensatie ervaren bij 30°C zeer waarschijnlijk worden veroorzaakt door fysiologische mechanismes. In de *Discussion* en in de *Practical Implications* concluderen zij bovendien dat de onderzoeksresultaten er op wijzen dat, ook als personen, zoals zij het noemen, "gehabituëerd" zijn aan een hogere temperatuur en bij die temperatuur geen discomfort ervaren, er door fysiologische mechanismes toch prestatievermindering zal plaatsvinden. Deze laatste conclusie volgt niet uit de resultaten. Dat de proefpersonen in dit experiment bij de hogere temperatuur zich niet comfortabel voelen, lager presteren en tekenen van fysiologische belasting tonen, ligt voor de hand, gegeven de hoge temperatuur en de Clo van 0,9 die zij niet mochten veranderen, gegeven dat zij hun thermische omgeving ook niet op andere wijze konden beïnvloeden en gegeven dat zij zich in een *airconditioned* omgeving bevonden en er ook geen samenhang was van de binnentemperatuur met de buitentemperatuur. Hoe anders is de situatie van personen die in een natuurlijk geventileerde *free running* omgeving werken. Wanneer de gemiddelde buitentemperatuur 30°C is, zal 80% van de personen zich comfortabel voelen bij een binnentemperatuur van 30°C. Dit komt in de eerste plaats doordat zij hun thermische belasting objectief veranderen door hun Clo te verlagen naar gemiddeld ca. 0,6 en de luchtsnelheid door middel van te openen ramen naar 0,3 tot 0,4 m/s (De Dear et al., 1997). Niet alleen kunnen zij hun thermische omgeving objectief veranderen, zij zullen, i.t.t. de proefpersonen in Lan et al. (2011), ook subjectief ervaren dat zijn invloed op hun omgeving hebben, wat acceptatie bevordert en stressverlagend werkt (Vroon, 1990). Bovendien is het voor hen begrijpelijk dat in een *free running* omgeving de binnentemperatuur hoger is als de buitentemperatuur hoger is, wat ook de acceptatie bevordert. Werknemers in

een natuurlijk geventileerde *free running* omgeving met een hogere temperatuur bevinden zich dus in een totaal andere situatie dan de proefpersonen van Lan et al. (2011) bij een hogere temperatuur. Daarom kunnen de resultaten van Lan et al. (2011) niet worden gegeneraliseerd naar natuurlijk geventileerde *free running* omgevingen.

Totdat over de discrepantie tussen figuur 1 en figuur 2 meer duidelijkheid is en er data zijn over de relatie tussen temperatuur en prestatie in *free running* omgevingen, wordt afsluitend het volgende aanbevolen:

- Gebruik voor airconditioned omgevingen waarvan de temperatuur bekend is het verband in figuur 1.
- Gebruik voor airconditioned omgevingen waar de volledige verdeling van de thermische sensatie bekend is figuur 2.
- Gebruik voor *free running* omgevingen waar de volledige verdeling van de thermische sensatie bekend is het verband in figuur 2.

N.B. Figuur 2 kan niet gebruikt worden wanneer alleen de gemiddelde thermische sensatie bekend is, omdat er dan geen informatie is over hoe de thermische sensatie over de verschillende categorieën verdeeld is. Bij eenzelfde gemiddelde thermische sensatie van bijvoorbeeld 0 is bij een smallere verdeling de prestatie hoger dan bij een bredere verdeling.

Voor verdere informatie over hoe m.b.v. *Baysian Networks* de productiviteit in een concrete situatie kan worden berekend, wordt verwezen naar Jensen (2008).

3 Invloed van ventilatie en luchtkwaliteit op productiviteit

De ISSO/Rehva handleiding geeft een verband tussen de ventilatiehoeveelheid en de productiviteit, gebaseerd op vijf veldonderzoeken in kantoren en twee laboratoriumonderzoeken. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 3, met 6,5 l/s*persoon en 10 l/s*persoon als referentiewaarden. Uitgaand van de curves die gewogen zijn naar steekproefomvang en relevantie van de gebruikte productiemaat voor kantoorwerk, stijgt de arbeidsproductiviteit met 1% bij een toename van de ventilatiehoeveelheid van 6,5 naar 10 l/s*persoon; de productiviteit stijgt nogmaals met 1% als de ventilatiehoeveelheid wordt verhoogd van 10 naar 17 l/s*persoon. Volgens Seppänen et al. (2006) vertoont de productiviteit een statistisch significante stijging in het ventilatiebereik tussen 6,5 en 17 l/s*persoon met een betrouwbaarheidsinterval van 90% en tot 15 l/s*persoon met een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Zelfs als we soepel zijn en uitgaan van het betrouwbaarheidsinterval van 90%, bestaat er geen statistisch significant effect boven de 17 l/s*persoon, hetgeen erop wijst dat 1% de maximale productiviteitswinst is die bereikt kan worden door meer te ventileren dan 10 l/s*persoon.

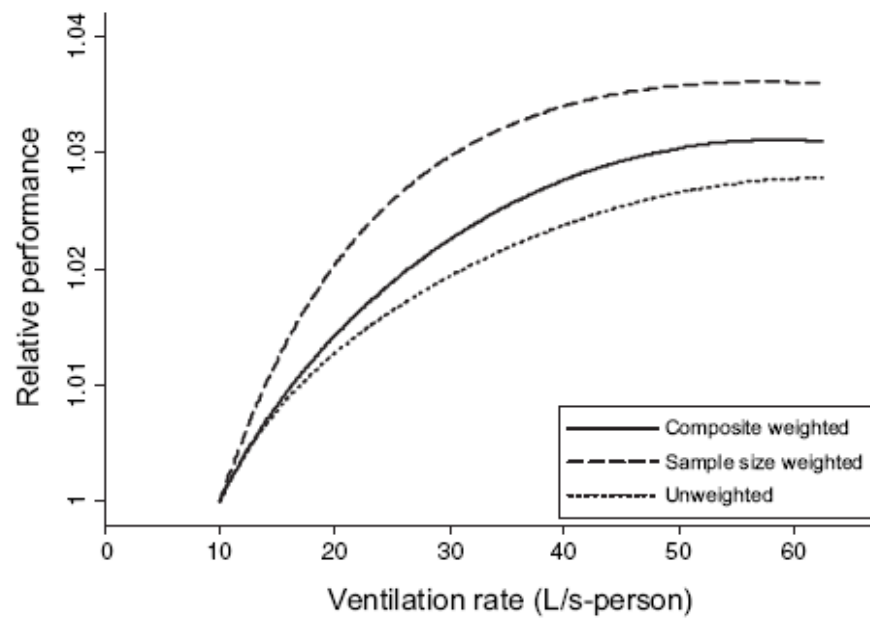
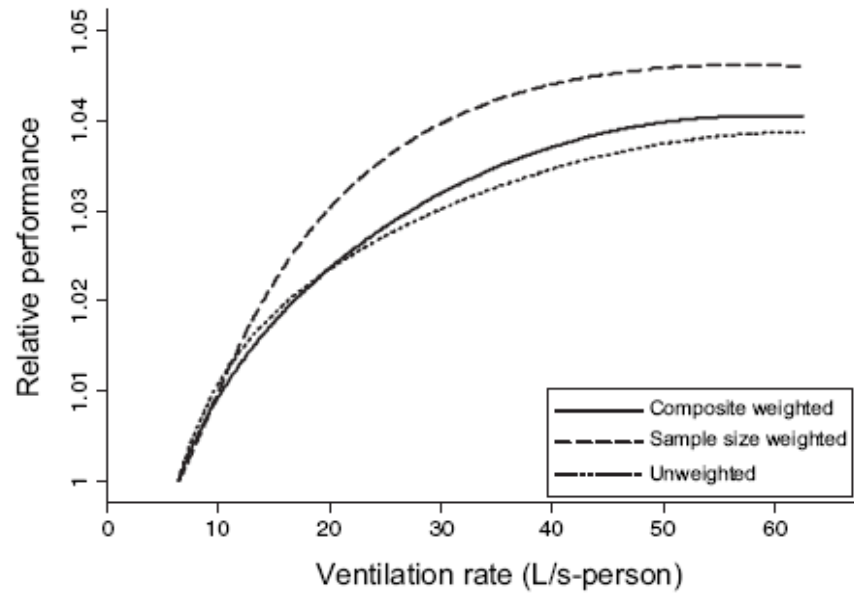
De ISSO/Rehva handleiding geeft twee uitkomsten voor het verband tussen de productiviteit en het percentage personen dat ontevreden is met de luchtkwaliteit, namelijk een productiviteitswinst van respectievelijk 1,1% en 0,8% voor elke 10% personen minder die ontevreden zijn met de kwaliteit van de binnenlucht. Jensen (2008) geeft hiervoor een waarde van 0,3%. De twee eerstgenoemde verbanden zijn gebaseerd op een groter aantal gegevens die licht verschillen, maar wel overlappen, de derde waarde is gebaseerd op een kleiner aantal van de voor de twee eerstgenoemde waarden gebruikte prestatietesten. Verder blijkt uit vergelijking van verschillende onderzoeken dat in veldonderzoeken, die meer representatief zijn voor reële situaties, hogere waarden gevonden worden dan in labonderzoeken (ISSO/Rehva handleiding). Daarom stellen wij voor het verband te vereenvoudigen en 1% productiviteitswinst voor elke 10% minder personen die ontevreden zijn te hanteren.

De ISSO/Rehva handleiding geeft ook de uitkomsten van onderzoeken naar de productiviteitseffecten van verschillende bronnen van binnenluchtverontreiniging:

- verwijdering van vervuild, gebruikt tapijt: 6,5% productiviteitswinst;
- verwijdering van relatief nieuwe CRT-beeldschermen: 9% productiviteitswinst;
- vervanging van gebruikte luchtinlaatfilters door nieuwe: 10% productiviteitswinst.

Het verband van percentage ontevreden over de luchtkwaliteit met productiviteit impliceert dat de effecten van verschillende verontreinigingsbronnen een zekere mate van optelbaarheid zullen vertonen. Fitzner (2000) laat zien dat andere onderdelen van luchtbehandelingssystemen, zoals koelsecties, bevochtigers en warmtewielen, wat betreft de mate waarin zij de binnenlucht vervuilen vergelijkbaar zijn met luchtinlaatfilters. Men mag er daarom van uitgaan dat een productiviteitswinst van 10% of meer bereikt kan worden, ten opzichte van de huidige praktijk, door in zowel luchtbehandelingssystemen als werkruimten bronnen van binnenluchtverontreiniging zorgvuldig te vermijden.

Uit het bovenstaande blijkt dat door verontreiniging van de binnenlucht te voorkomen een grotere productiviteitswinst behaald kan worden dan door meer te ventileren. Er is nog een reden waarom intensiever ventileren minder adequaat is dan aanpak van luchtverontreiniging bij de bron. In sommige omstandigheden leidt intensievere ventilatie er namelijk toe dat er meer luchtverontreinigende stoffen worden uitgestoten. In een veldonderzoek tonen Wargocki et al. (2003) aan dat hogere ventilatie bij het gebruik van oude, vervuilde luchtinlaatfilters leidt tot een als slechter ervaren luchtkwaliteit en daling van de arbeidsproductiviteit. Een vergelijkbaar effect op de ervaren luchtkwaliteit vonden Strøm-Tejse et al. (2003). Dit komt doordat sterkere ventilatie leidt tot een grotere uitstoot van verontreinigende stoffen uit de vervuilde luchtinlaatfilters. Het kan niet worden uitgesloten dat dit ook geldt voor andere verontreinigingsbronnen in het luchtbehandelingssysteem. Een ander voorbeeld van een toegenomen uitstoot van luchtverontreinigingen als gevolg van intensievere ventilatie vinden we bij Bakó-Biró (2004). Uit dit onderzoek blijkt dat verontreinigingen in de binnenlucht die gevoelig zijn voor oxidatie, zoals terpenen, bij sterkere ventilatie juist leiden tot een grotere uitstoot van verontreinigende stoffen wanneer de ventilatielucht ozon bevat. Uit deze voorbeelden blijkt dat er verschillende omstandigheden zijn waarin hogere ventilatie juist resulteert in een grotere uitstoot van luchtverontreinigingen. Dit probleem kan natuurlijk worden vermeden door de luchtverontreinigingsbronnen weg te nemen. Als deze strategie wordt gevolgd, is een laag doch adequaat ventilatieniveau afdoende, en dat kan al worden bereikt met eenvoudige mechanische ventilatie en zelfs met natuurlijke ventilatie. (Voor verdere invulling van deze strategie wordt verwezen naar het hoofdstuk "Luchtkwaliteit").



Figuur 3: Relatieve productiviteit bij de referentiewaarden 6,5 l/s-persoon (boven) en 10 l/s-persoon (onder) afgezet tegen het ventilatievoud.

4 Ruimte indeling en productiviteit

In Tabel 1 zijn de belangrijkste statistisch significante resultaten van Pejtersen et al. (2006) weergegeven. De ontevredenheid van de gebruikers over, onder andere, thermische behaaglijkheid, kwaliteit van de binnenlucht, storend geluid in de werkruimte, verlichting en weerspiegelingen, en gebouwgerelateerde symptomen als vermoeidheid, hoofdpijn en concentratieproblemen, nemen toe naarmate er meer personen in één ruimte werken.

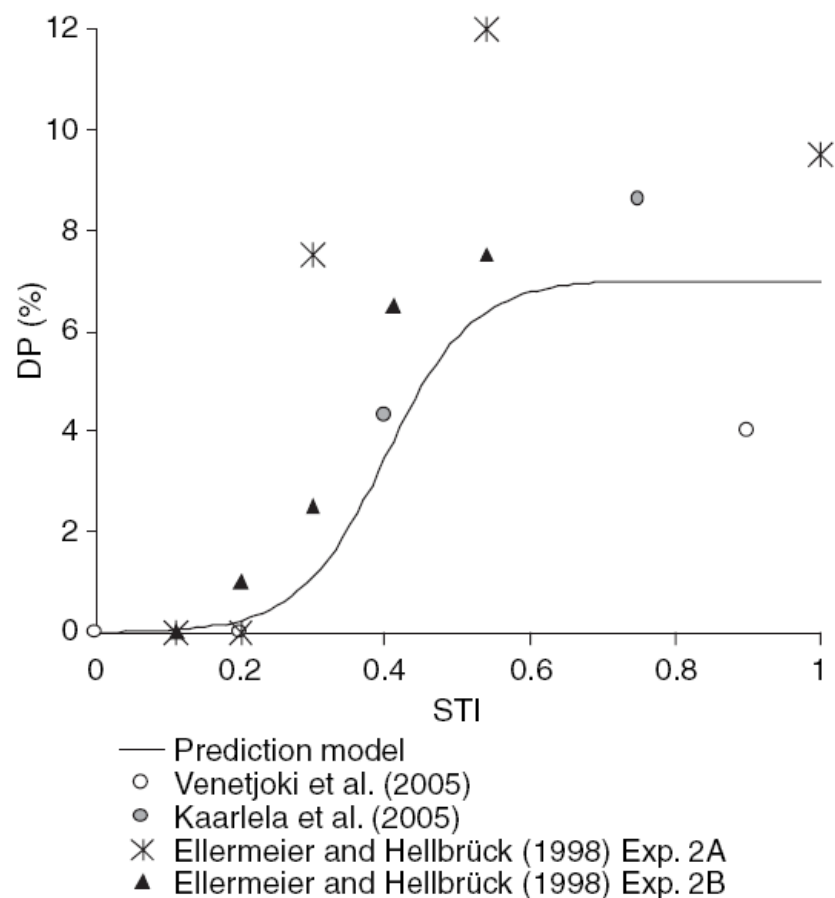
Tabel 1. *Mate (in %) waarin de omgeving als onbehaaglijk wordt ervaren of symptomen optreden voor verschillende kantoor typen (op basis van Pejtersen et al. 2006).*

| Ervaring of symptoom | Grote kantoor (aantal personen per ruimte) | | | | |
|----------------------------|--|----|-----|------|-----|
| | 1 | 2 | 3-6 | 7-28 | >28 |
| Te warm | 11 | 10 | 21 | 23 | 34 |
| Temperatuurwisselingen | 8 | 14 | 17 | 28 | 25 |
| Te koud | 6 | 10 | 14 | 17 | 17 |
| Bedompte lucht | 21 | 29 | 36 | 42 | 54 |
| Droge lucht | 19 | 25 | 31 | 39 | 50 |
| Storend geluid in de kamer | 6 | 15 | 28 | 42 | 60 |
| Slechte verlichting | 9 | 13 | 15 | 20 | 23 |
| Weerspiegelingen | 11 | 13 | 15 | 21 | 26 |
| Vermoeidheid | 8 | 12 | 12 | 17 | 21 |
| Hoofdpijn | 10 | 14 | 13 | 19 | 25 |
| Concentratieproblemen | 2 | 6 | 6 | 8 | 16 |

Wilson en Hedge (1987), Zweers et al. (1992), Fisk et al. (1993) en Brasche et al. (2001) vonden vergelijkbare resultaten. Een effectieve manier om de productiviteit te verhogen is dus werknemers in kamerkantoren in plaats van groepskantoren te huisvesten.

Het effect van thermische onbehaaglijkheid laat zich lastig kwantificeren, omdat er geen direct verband bestaat tussen de in Tabel 1 genoemde onbehaaglijkheden en de in de vorige sectie besproken verbanden. Wel volgt uit figuur 2 dat een groter aantal personen dat aangeeft dat het te warm of te koud is, zoals voorkomt bij een groter aantal personen per ruimte, leidt tot een lagere prestatie. Het effect van ontevredenheid over de luchtkwaliteit kan gekwantificeerd worden als we ervan uitgaan dat het percentage medewerkers dat melding maakt van droge lucht een goede maatstaf is voor het percentage medewerkers dat ontevreden is over de luchtkwaliteit. Als we twee personen per ruimte als referentiewaarde nemen, dan lopen de effecten van de luchtkwaliteit op de arbeidsproductiviteit uiteen van een verlies van 0,6% aan productiviteit bij drie tot zes personen per ruimte, tot 2,5% bij meer dan 28 personen per ruimte. Het effect van ontevredenheid over storend geluid in de werkruimte kan niet direct uit Tabel 1 worden afgeleid, maar Hongisto (2005) geeft een verband tussen prestatie en de spraakoverdrachtindex STI (speech transmission index) op basis van een groot aantal studies, waaruit geconcludeerd kan worden dat productiviteitsverlies als gevolg van lawaai in de werkruimte varieert van 3% in een akoestisch goed ontworpen groepskantoor tot 7% in een akoestisch slecht ontworpen groepskantoor (Figuur 4). Hoewel de effecten van verlichting, weerspiegeling en gebouwgerelateerde symptomen bij de

huidige stand van de kennis niet gekwantificeerd kunnen worden, mag man verwachten dat ze een zeker effect hebben. Daar komt bij dat de gebruikers van kamerkantoren de temperatuur kunnen beïnvloeden op een manier die in groepskantoren niet mogelijk is. Op basis van een theoretisch model voorspelt Wyon (2000) een productiviteitswinst van 2,7% tot 8,6% (met een gemiddelde van 5,4%) voor verschillende taken, wanneer de gebruikers van een ruimte zelf de temperatuur kunnen beïnvloeden. Om aan de veilige kant te blijven, gaan wij uit van een productiviteitsstijging in kantoren van 2,7 tot 5,4%, een aanname die wordt ondersteund door een praktijkonderzoek van Kroner & Stark-Martin (1994), waaruit een productiviteitswinst van 4% bleek.



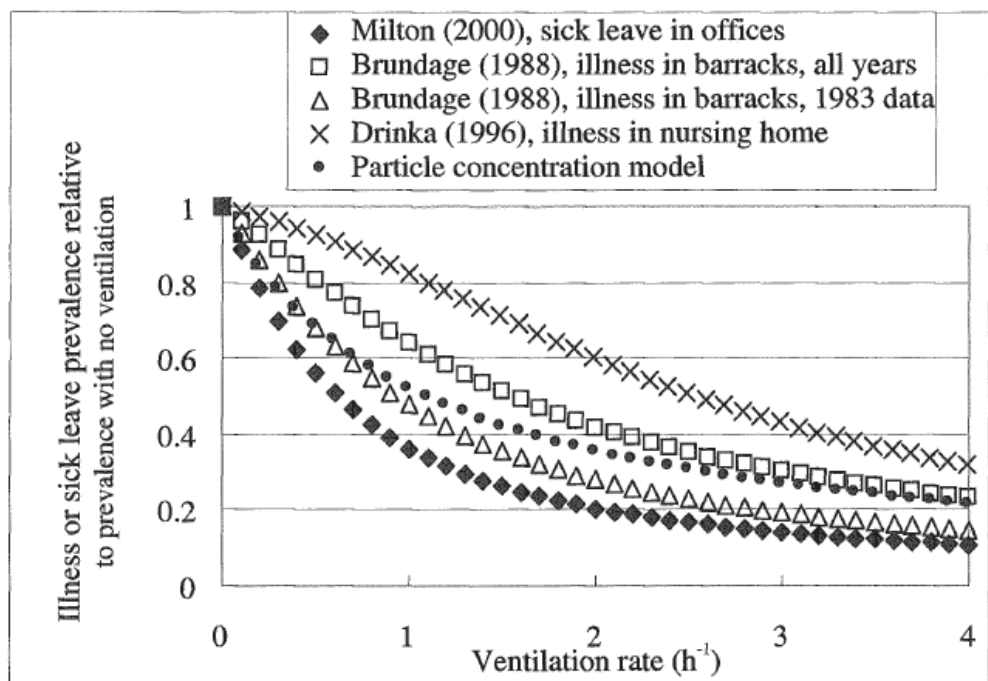
Figuur 4: Het schematisch voorspellingsmodel geeft de afnemende prestaties (decreasing performance, DP) weer als functie van de spraakoverdrachtindex (speech transmission index, STI). De beste prestatie wordt geleverd als in het geheel geen spraak wordt gehoord (STI = 0,00, traditioneel kantoor); de prestaties nemen het sterkst af als spraak zeer goed verstaanbaar is (STI > 0,70, slechte groepskantoor), ongeacht het volume van de spraak.

De ISSO/Rehva handleiding stelt voor om diverse productiviteitseffecten met behulp van de volgende regel bij elkaar op te tellen: de omvang van de gecombineerde effecten is minimaal zo groot als het effect van de grootste van de

parameters, en nooit meer dan de som van de afzonderlijke parameters. Als we deze regel zorgvuldig en met enige creativiteit toepassen op het verschil tussen enerzijds groepskantoren en anderzijds kamerkantoren met twee personen die zelf de temperatuur kunnen regelen, dan is het effect een productiviteitsverlies van 3% tot 14,9%. Daar komen eventueel nog de onbekende effecten bij van ontevredenheid over de verlichting, weerspiegeling, gebouwgerelateerde symptomen, plus een onbekend resteffect van thermische onbehaaglijkheid (de aanname is dat het onbekende effect van thermische onbehaaglijkheid al grotendeels is verdisconteerd in het effect van temperatuurbeheersing door de gebruiker van de ruimte). In feite is zelfs een ondergrens van meer dan 3% te verwachten. Raw et al. (1990) tonen namelijk aan, zij het voor zelfgeschatte productiviteit, dat het effect van groepskantoren en het effect van niet zelf de temperatuur kunnen beïnvloeden onafhankelijk van elkaar zijn en dus een zekere mate van optelbaarheid zullen vertonen.

5 Effect van ventilatie op ziekteverzuim

De ISSO/Rehva handleiding geeft een kwantitatief verband tussen het ventilatievoud en kortdurend ziekteverzuim dat bestaat uit een combinatie van gepubliceerde empirische gegevens en een theoretisch model voor overdracht via de lucht van luchtweginfecties op basis van de Wells-Riley vergelijking (zie verder Fisk et al. 2003). De uitkomst wordt weergegeven in Figuur 5. Vier van de vijf curves in Figuur 5 hebben betrekking op empirisch onderzoek; de curve voor het deeltjesconcentratie model maakt gebruik van een veel eenvoudiger model, waarin het voorkomen van ziekte omgekeerd evenredig is aan de snelheid waarmee het totaal aan ziektekiemen wordt verwijderd. Een ruwe schatting op basis van het gepresenteerde verband duidt erop dat, bij een verdubbeling van de aanvoer van buitenlucht, ziektes met 10% afnemen.



Figuur 5: Voorspelde verbanden tussen ziekteverzuim en ventilatievoud

6 Effect van ruimteïndeling op ziekteverzuim

Volgens de ISSO/Rehva handleiding gaat het verband in figuur 8 alleen op voor groepskantoren of bij recirculatie van de lucht binnen het kantoorgebouw. Als dit juist is, moet het mogelijk zijn het ziekteverzuim door infectieziekten te verlagen door groepskantoren en recirculatie te vermijden. Uit tenminste één onderzoek (Jaakkola en Heinonen, 1995) blijkt dat werknemers die alleen op een kamer zitten minder vaak verkouden zijn dan werknemers die hun werkruimte met anderen delen. Het zou echter interessanter zijn te weten wat het effect is voor een ruimte met twee personen, want dat is, althans in Nederland, de meest voorkomende indeling van kamerkantoren. Ook moet rekening gehouden worden met medewerkers die andere ruimtes bezoeken. Om dit algemeen geldend uit te rekenen gaat buiten het kader van dit rapport, daarom wordt een vereenvoudigde fictieve casus gepresenteerd, waarbij, uitgaande van een inrichting als groepskantoor met behulp van de Wells-Riley formule wordt berekend wat de effecten zijn van verhoging van de ventilatie en het inrichten als tweepersoons kamerkantoren. Gebruik wordt gemaakt van de Wells-Riley formule zoals in Fisk et al. (2003), er vanuit gaande dat er geen recirculatie is:

$$P = D/s = 1 - \exp [- ipqt / V (n_v + n_d)] \quad (1)$$

waarbij

$P \equiv$ proportie van nieuwe ziektegevallen onder de vatbare personen

$D \equiv$ aantal nieuwe ziektegevallen

$s \equiv$ aantal vatbare personen

$i \equiv$ aantal infectors

$p \equiv$ adem hoeveelheid (m^3/h)

$q \equiv$ quantum: het aantal besmettelijke deeltjes uitgedemd door de infector (h^{-1})

$t \equiv$ tijd gedurende welke infectors en vatbare personen een afgesloten ruimte delen (h)

$V \equiv$ volume van de gedeelde ruimte (m^3)

$n_v \equiv$ ventilatievoud (h^{-1})

$n_d \equiv$ verwijdering van besmettelijke deeltjes door neerslag op oppervlakken (h^{-1})

De aanvangssituatie van de casus is een groepskantoor met een oppervlakte van 128 m^2 en een hoogte van $2,5 \text{ m}$ (dus $V = 320 \text{ m}^3$) en 16 werkplekken. De aanname is dat er één infector (besmettelijk persoon) is (dus $i = 1$ en $s = 15$). Om te beginnen wordt uitgerekend wat de aantal nieuwe ziektegevallen zal zijn na 8 uur gezamenlijk verblijf in de groepskantoor ($t = 8$) bij ventilatievouden van 2, 4 en 6 h^{-1} . Vervolgens wordt uitgerekend wat bij een ventilatievoud van 2 h^{-1} het aantal nieuwe ziektegevallen zal zijn na 8 uur verblijf bij een indeling in 8 tweepersoons kamerkantoren ($V = 40 \text{ m}^3$ per kamer), eerst bij de aanname dat alle werknemers gedurende de gehele werkdag op hun eigen kamer blijven en vervolgens bij de aanname dat alle werknemers een relatief groot deel van de tijd naar andere kamers gaan voor overleg. Deze laatste aanname is een vereenvoudigd model dat er vanuit gaat dat alle werknemers ca. 10% van hun werktijd op andere kamers doorbrengen en dat de verdeling in de tijd hiervan onafhankelijk is van die van hun kamergenoot, maar dat er nooit meer dan vier werknemers tegelijk op een kamer zijn. Het vereenvoudigde model houdt in dat voor de infector het volgende geldt:

0,2 uur met 3 andere werknemers in één ruimte
 2,2 uur met 2 andere werknemers in één ruimte
 4,9 uur met 1 andere werknemer in één ruimte
 0,7 uur met 0 andere werknemers in één ruimte

Hoewel er hierover geen empirische gegevens zijn, is dit zeker geen onderschatting, en waarschijnlijk een hoge schatting van de tijd die de infecteur met andere werknemers doorbrengt.

Tenslotte worden op basis van Fisk et al. (2003) en Franchimon (2009) de volgende waarden aangenomen:

$p = 0,69 \text{ m}^3/\text{h}$ (representatief voor volwassenen)

$q = 67$ deeltjes per uur (representatief voor influenza A)

$n_d = 0,3 \text{ h}^{-1}$

De resultaten worden gegeven in tabel 2.

Tabel 2. Aantal nieuwe ziektegevallen (D) na één werkdag van 8 uur voor verschillende situaties. Voor verdere beschrijving zie de tekst.

| Situatie | D |
|--|------|
| Groepskantoor, ventilatievoud = 2 h^{-1} | 5,85 |
| Groepskantoor, ventilatievoud = 4 h^{-1} | 3,60 |
| Groepskantoor, ventilatievoud = 6 h^{-1} | 2,55 |
| Kamerkantoren, ventilatievoud = 2 h^{-1} Geen bezoeken aan andere kamers | 0,98 |
| Kamerkantoren, ventilatievoud = 2 h^{-1} Bezoeken aan andere kamers volgens vereenvoudigd model (zie tekst) | 2,55 |

Tabel 2 laat zien dat in de groepskantoor situatie het aantal nieuwe ziektegevallen daalt bij verhoogd ventilatievoud, wat op grond van de vorm van de Wells-Riley vergelijking te verwachten is. In de kamerkantoor situatie met tweevoudige ventilatie *zonder* bezoeken aan andere kamers is het aantal nieuwe ziektegevallen veel lager, wat ook voor de hand ligt omdat er maar één potentiële geïnfecteerde is. In de kamerkantoor situatie met tweevoudige ventilatie *met* bezoeken aan andere kamers volgens het vereenvoudigde model is het aantal nieuwe ziektegevallen lager dan in de groepskantoor situatie met viervoudige ventilatie en gelijk aan de groepskantoor situatie met zesvoudige ventilatie. Het aantal bezoeken aan andere kamers is in het vereenvoudigd model relatief hoog aangenomen, in de praktijk zullen ook lagere aantallen en duur van bezoeken voorkomen, waarbij de D dan tussen 0.98 en 2,55 zal liggen.

Samenvattend: Bij gelijk ventilatievoud is het ziekteverzuim ten gevolge van infecties via de lucht in tweepersoons kamerkantoren lager dan in groepskantoren. In een representatieve casus een factor 2,3 tot 6,0 lager, afhankelijk van het aantal en de duur van de bezoeken aan andere kamerkantoren. Vergeleken met tweepersoons kamerkantoren met een gebruikelijk ventilatievoud van 2, moet om in een groepskantoor een even laag ziekteverzuim te bereiken het ventilatievoud verhoogd worden naar 6 of meer, weer afhankelijk van het aantal en de duur van de bezoeken aan andere kamerkantoren.

7 Effect van verontreinigingsbronnen in ventilatiesystemen op ziekteverzuim

Uit Milton et al. (2000) blijkt dat het gebruik van een bevochtiger in het luchtbehandelingsstelsel ongeveer hetzelfde effect heeft op het totale ziekteverzuim als het effect van geringe ventilatie (12 l/s*persoon) t.o.v. intensieve ventilatie (24 l/s*persoon). In dit onderzoek komen verschillende typen bevochtigers voor: stoom, sproei en verdamping. Een mogelijke verklaring voor het verband tussen bevochtiging en een hoger ziekteverzuim is volgens Milton et al. (2000) dat bevochtiging een grotere blootstelling aan bioaerosolen en de daarmee samenhangende gebouwgerelateerde symptomen tot gevolg heeft. Meer in het algemeen kan worden gesteld dat het gebruik van bevochtigers het verzuim verhoogt, omdat zij een mogelijke bron van binnenluchtverontreiniging vormen. Het vermijden of wegnemen van meerdere of alle verontreinigingsbronnen zou daarom een doeltreffender methode kunnen zijn om het ziekteverzuim terug te dringen dan het verhogen van het ventilatievoud van ± 12 l/s*persoon naar ± 24 l/s*persoon.

8 Effect van ontevredenheid over het binnenmilieu op ziekteverzuim

Tabel 3: Jaarlijks ziekteverzuim van kantoorpersoneel (op basis van Milton et al. 2000)

| <i>Ruimte waarvoor officiële klacht over kwaliteit binnenmilieu gemeld is</i> | <i>langdurig ziekteverzuim (> 10 dagen)</i> | <i>kortdurend ziekteverzuim (≤ 10 dagen)</i> |
|---|--|--|
| Nee | 2,17% | 1,60% |
| Ja | 1,30% | 1,91% |

Uit Milton et al. (2000) blijkt dat werken in een omgeving waarvoor een officiële klacht over de kwaliteit van het binnenmilieu is gemeld een vergelijkbaar effect heeft op het kortdurend ziekteverzuim als geringe ventilatie ten opzichte van intensieve ventilatie. In Tabel 3 zijn langdurig en kortdurend ziekteverzuim weergegeven voor omgevingen waarvoor wel en geen officiële klachten over de binnenluchtkwaliteit waren gemeld, volgens Milton et al. (2000). Deze tabel heeft alleen betrekking op kantoorpersoneel. Er was sprake van een officiële melding als in de voorgaande drie jaar een officiële klacht was ingediend bij de arboafdeling van het bedrijf. Werken in een omgeving waarover een klacht is ingediend, verhoogt alleen het kortdurend verzuim. Een plausibele verklaring hiervoor is de volgende:

Werkgerelateerde belasting doet het ziekteverzuim in het algemeen op twee manieren stijgen (Oversloot, 1995):

- De belasting heeft direct de ziekte of klacht tot gevolg. Denk bijvoorbeeld aan rugpijn omdat te zware lasten zijn getild of een infectieziekte door contact met besmet bloed.
- De belasting op zich heeft geen ziekte of klachten tot gevolg, maar leidt wel tot ontevredenheid over de werkomgeving en verminderde loyaliteit jegens de organisatie. Wanneer een medewerker dan een verkoudheid, hoofdpijn of andere niet-ernstige klacht krijgt, dan is deze medewerker misschien wel in staat te werken, maar door de verminderde loyaliteit stijgt de waarschijnlijkheid van een ziekmelding. Een werknemer die zich weinig loyaal jegens de organisatie voelt, zal bovendien, wanneer de klachten afnemen aan het einde van de ziekteperiode, eerder besluiten zich later in plaats van vroeger weer beter te melden (bv. pas op maandag i.p.v. de vrijdag ervoor). Dit hangt natuurlijk ook af van de wettelijke regels voor en de culturele acceptatie van ziekmeldingen, die in verschillende organisaties en landen sterk uiteen kunnen lopen. Omdat dit mechanisme doorgaans alleen werkt bij niet-ernstige ziektes en de effecten verhoudingsgewijs groter zijn bij korte verzuimperioden, leidt het slechts tot een stijging van het kortdurende en niet van het langdurige verzuim.

Uit gepubliceerde data blijkt dat problemen met de binnenluchtkwaliteit verzuimbevorderend werken op beide hierboven beschreven manieren. Aan de ene kant vergroten slechte ventilatie en binnenluchtverontreiniging de kans op besmettelijke ziekten als griep en verkoudheid (zie de bespreking van de literatuur in Milton et al. 2000). Aan de andere kant rapporteren Robertson et al. (1990) dat, wanneer medewerkers van dezelfde organisatie van een deel van het gebouw met een goede luchtkwaliteit verhuizen naar een ander deel van het gebouw met

slechte luchtkwaliteit, de ziekmeldingen in alle ziektecategorieën toenemen, dus niet alleen in de categorieën die verband houden met kwaliteit van de binnenlucht. Medewerkers die de andere kant op verhuizen vertonen het omgekeerde beeld: het verzuim in alle ziektecategorieën daalt. Dit wijst erop dat slechte luchtkwaliteit de kans op ziekmeldingen en uitstelling van betermeldingen vergroot, zelfs als de ziekte op zich geen verband houdt met de binnenluchtkwaliteit. Deze interpretatie wordt ondersteund door de in Tabel 3 weergegeven resultaten van Milton et al. (2000). Het blijkt dat in delen van een gebouw met relatief veel klachten over de binnenluchtkwaliteit het kortdurende verzuim hoger, maar het langdurig ziekteverzuim juist lager is dan in delen van het gebouw waarover relatief weinig klachten zijn. Dit is wat men zou verwachten als klachten over de luchtkwaliteit in ieder geval deels verantwoordelijk zijn voor een hoger verzuimcijfer doordat ze de loyaliteit doen afnemen.

Bij indeling als groepskantoor werken beide mechanismes: Aan de ene kant is de kans op besmetting hoger dan in bij een indeling als kamerkantoren. Aan de andere kant is een groepskantoor is een typisch voorbeeld van een loyaliteitsverlagende werkomgeving. Groepskantoren leiden tot ontevredenheid over een groot aantal aspecten van het binnenmilieu, tot meer gebouwgerelateerde symptomen (Pejtersen et al. 2006) en tot een lagere productiviteit, zowel naar eigen inschatting van de werknemer (Raw et al. 1990) als objectief gemeten (dit rapport). De loyaliteit heeft vooral te lijden als het management besluit dat in een groepskantoor gewerkt moet worden, terwijl de werknemers zelfs het liefst in kamerkantoren willen werken. Daardoor neemt in geval van besmetting de drempel om zich ziek te melden af en neemt de drempel om zich beter te melden toe.

9 Literatuur

- Bakó-Biró, Z (2004), *Human perception, SBS symptoms and performance of office work during exposure to air polluted by building materials and personal computers*. Technische Universiteit Denemarken.
- Brasche, S., M. Bullinger, M. Morfeld, H.J. Gebhart en W. Bischof (2001), 'Why do women suffer more from sick building syndrome than men?: Subjective higher sensitivity versus objective causes'. *Indoor Air*, 11, nr. 4, p. 217-222.
- De Dear, R., G. Brager en D. Cooper (1997). 'Developing an adaptive model of thermal comfort and preference'. ASHRAE RP-884.
- Fitzner, K. (2000), 'Control of pollutants in air handling systems', *Proceedings of Healthy Buildings, 2000*, 2, p. 21-33.
- Fisk, W.J., M.J. Mendell, J.M. Daisey, D. Faulkner, A.T. Hodgson, M. Nematollahi en J.M. Macher (1993), 'Phase 1 of the California Healthy Buildings Study: a Summary'. *Indoor Air*, 3, p. 246 - 254.
- Fisk, W, O. Seppänen, D. Faulkner en J. Huang (2003), 'Economizer system cost effectiveness: accounting for the influence of ventilation rate on sick leave'. *Proceedings Healthy Buildings 2003*, 3, p. 361-366.
- Franchimon, F. (2009) 'Healthy Building Services for the 21st Century'. Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology.
- Haneda, M., S. Tanabe, N. Nishihara en S. Nakamura (2008), 'The combined effects of thermal environment and ventilation rate on productivity'. *Proceedings Indoor Air 2008*.
- Hongisto, V. (2005), 'A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance.' *Indoor Air Journal*, 15 (6), p. 458-468.
- Jaakkola, J.J.K. en O.P. Heinonen (1995), 'Shared office space and the risk of the common cold'. *European Journal of Epidemiology*, 11, p. 213-216.
- Jensen, K.L. (2008) Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.
- Jensen, K.L., J. Toftum en P. Friis-Hansen (2009), 'A Bayesian Network approach to the evaluation of building design and its consequences for employee performance and operational costs'. *Building and Environment* 44, 456-462.
- Kroner, W.M. en J.A. Stark-Martin (1994), 'Environmentally responsive workstations and office-worker productivity'. *ASHRAE Transactions* 100 (2), p. 750-755.
- Lan, L., P. Wargocki, Z. Lian (2010) 'Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort'. *Energy and Buildings*.
- Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D.P., Lian, Z. (2011), Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*.
- Leijten, J.L. en S.R. Kurvers (2007) *Binnenklimaat in kantoorgebouwen – Onderzoek naar klachten. Praktijkids Arbeidshygiëne*, Kluwer.
- McCartney, K.J. en M.A. Humphreys (2002), 'Thermal comfort and productivity'. *Proceedings Indoor Air 2002*, p. 822-827.
- Milton, D.K., P.M. Glencross en M.D. Waters (2000), 'Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification and occupant complaints'. *Indoor Air*, 10, p. 212-221.
- Nishihara, N., S. Tanabe, M. Haneda, M. Ueki, A. Kawamura en K. Obata (2007), 'Effect of overcooling on productivity evaluated by the long term field study'. *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*.
- Oversloot, J. (1995). *Verzuimbeheersing*, Delwel, Nederland.
- Pejtersen, J., L. Allerman, T.S. Kristensen en O.M. Poulson 'Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices'. *Indoor Air*, 16 (5), p. 392-401.
- Raw, G.J., M.S. Roys en A. Leaman (1990), 'Further findings from the office environment survey: productivity'. *Proceedings Indoor Air '90*, 1, p. 231-236.

- Robertson, A.S., K.T. Roberts, P.S. Burge en G. Raw (1990), 'Effect of change in building ventilation category on sickness absence rates and the prevalence of sick building syndrome'. *Proceedings Indoor Air '90*, 1, p. 237-242.
- Seppänen, O., W.J. Fisk en Q.H. Lei (2006), 'Ventilation and performance in office work.' *Indoor Air Journal*, 16 (1), p. 28-35.
- Strøm-Tejse, P., G. Clausen en J. Toftum (2003), 'Sensory pollution load from a used ventilation filter at different air flow rates'. *Proceedings Healthy Buildings 2003*, 3, p. 257-261.
- Toftum, J., R.V. Andersen, K.L. Jensen (2009) Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions. *Building and Environment*.
- Ueki, M., S. Tanabe, N. Nishihara, M. Nishikawa, M. Haneda en A. Kawamura (2007), 'Effect of moderately hot environment on productivity and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure'. *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*.
- Vroon, P.A. (1990) *Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen*, ISOR, Utrecht.
- Wargocki, P., D.P. Wyon en P.O. Fanger (2003), 'Call-centre operator performance with new and used filters at two outdoor air supply rates'. *Proceedings Healthy Buildings 2003*, 3, p. 213-218.
- Wilson S. en A. Hedge (1987), *The Office Environment Study: A Study of Building Sickness*. Building Use Studies Ltd, London.
- Wyon, D.P. (2000), 'Individual control at each workplace: the means and the potential benefits', in: Clements-Croome, D (ed.) *Creating the productive workplace*. E & FN SPON, p. 192-206.
- Zweers, T., L. Preller, B. Brunekreef en J.S.M. Boleij (1992), 'Health and Indoor Climate Complaints of 7043 Office Workers in 61 Buildings in the Netherlands', *Indoor Air*, 2 (1), p. 127-136.