

ir. A.C. Boerstra\*  
 drs. J.L. Leijten\*\*

\* BBA Boerstra  
 Binnenmilieu  
 Advies,  
 Rotterdam

\*\* Maetis arbo,  
 Houten

binnenmilieu

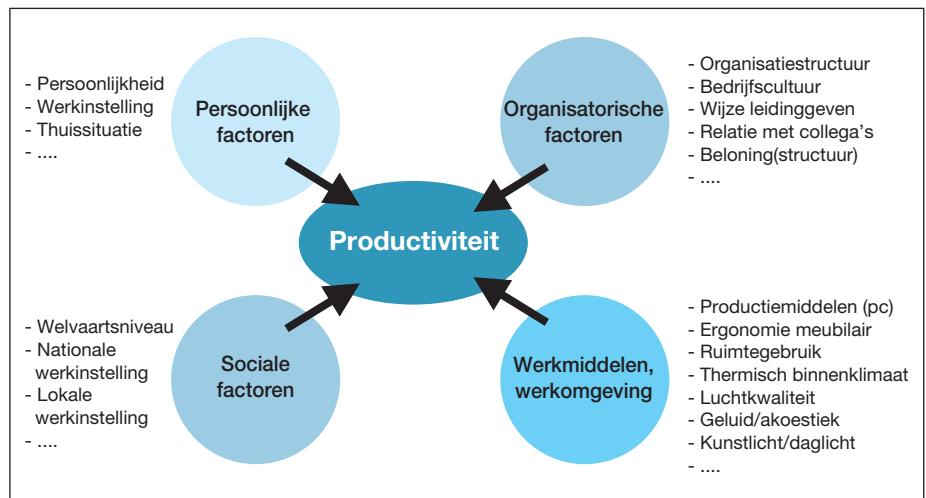
*Al zo'n twintig jaar gaat het 'gerucht' dat een goed binnenmilieu vaak gepaard gaat met een productiviteitstoename. Met als indirecte boodschap: investeren in kwalitatief goede installaties en gebouwtechnieken verdient zichzelf dubbel en dwars terug. Sinds kort is echter sprake van meer dan een gerucht. Wetenschappelijk onderzoek heeft het vermeende verband aangetoond: de kwaliteit van de binnenlucht en het thermisch binnenklimaat hebben een direct effect op de productiviteit. Een goed binnenmilieu verhoogt de productiviteit van werknemers met 10 tot 15 %.*

# Binnenmilieu en productiviteit: eindelijk harde cijfers

De productiviteit van de werkende mens wordt beïnvloed door diverse factoren (figuur 1), zoals de kwaliteit van de productiemiddelen (pc's in kantoren) en de kwaliteit van de werkomgeving.

Eind jaren tachtig zijn de eerste onderzoeken uitgevoerd naar het effect dat de kwaliteit van de kantoorhuisvesting heeft op de productiviteit. In eerste instantie werden uitsluitend subjectieve metingen uitgevoerd: aan de werknemers zelf werd gevraagd te schatten in hoeverre hun productiviteit werd beïnvloed door de huisvesting. De onderzoeken richtten zich op het totaaleffect van het binnenmilieu (licht, lucht, geluid en klimaat gecombineerd). Uit deze onderzoeken kwam naar voren dat in kantoren met een goed binnenmilieu de productiviteit gemiddeld 10 tot 12 % hoger lag dan in kantoren met een relatief slecht binnenmilieu.

Natuurlijk kunnen de schattingen door de werknemers zelf onnauwkeurig zijn, ook al omdat de tevredenheid van de werknemer die schattingen kan beïnvloeden. Bij latere onderzoeken, begin jaren negentig, zijn behalve de schattingen door de werknemers zelf ook objectieve maten gebruikt om de productiviteit te meten, zoals het aantal verwerkte dossiers, het aantal aanslagen bij tekstverwerking en het aantal gesprekken in een callcenter. Deze tweede serie onderzoeken met objectieve metingen vonden een produc-



Figuur 1. Diverse factoren beïnvloeden de productiviteit van de werkende mens.

tiviteitswinst van 10 tot 15 %. Goed in overeenstemming dus met de eerdere bevindingen in de jaren tachtig.

## Luchtkwaliteit en thermisch comfort

Vanaf de tweede helft van de jaren negentig richtte het productiviteitsonderzoek zich op de effecten van deelaspecten, zoals temperatuur, luchtkwaliteit, licht en geluid. Soms werden de onderzoeken uitgevoerd in echte werksituaties, maar soms ook in het laboratorium. De belangrijkste onderzoeksresultaten zijn hieronder samengevat, waarbij de nadruk is gelegd op de deelaspecten luchtkwaliteit en thermisch binnenklimaat. De onder-

zoeksresultaten (tabel 1) zijn samengevat voor:

- de effecten van een (te) hoge temperatuur;
- het ontbreken van mogelijkheden tot persoonlijke beïnvloeding;
- te weinig verse luchttoevoer;
- de aanwezigheid van verontreinigingsbronnen in gebouw en klimaatinstallatie.

## Te hoge temperatuur

Pepler & Warner (1968)

Bij mentale arbeid, in een klimaatkamer in zomerkleding, is de productiviteit het hoogst bij 20 °C (maar 'oncomfortabel

Onderzoekers	Soort onderzoek	Productiviteitseffect
Wilson & Hedge (1987)	veld, schatting medewerkers	12 %
Raw (1990)	heranalyse diverse studies veld, schatting medewerkers	10 – 15 %
Bergs (1998)	heranalyse diverse studies veld + lab, diverse methoden	5 – 15 %
Clements-Croome (2000)	heranalyse diverse studies veld + lab, output objectieve meting	10 – 15 %
Seppanen (2001)	heranalyse diverse studies veld + lab, alleen effecten thermisch binnenklimaat en luchtkwaliteit	1,5 – 6 %
Leijten (2002)	heranalyse diverse studies Veld + lab, totaaleffect bepaald door optelling deeleffecten	10 – 15 % (zonder correctie voor synergie effecten: 20 – 35 %)

Tabel 1 . Diverse onderzoeken naar totaaleffect binnemilieu op productiviteit.

koud') en het laagst bij 27 °C (maar 'maximaal comfortabel'). Bij temperaturen > 27 °C is weer sprake van een productiviteitsstijging!

Wyon (1974)

Circa 25 % meer type-aanslagen zijn het resultaat als de temperatuur wordt verlaagd van 24 °C naar 20 °C;

Hannula (2000)

In werkvertrekken is de productiviteit gedurende een zomerperiode aan de noordgevel van een kantoorgebouw (gemiddelde temperatuur 23,6 °C) 2,8 % hoger dan aan de zuidgevel (gemiddelde temperatuur 25,2 °C);

Roelofsen (2001)

De productiviteit is optimaal bij een temperatuur in de range PMV -0,5 tot 0. Ter vergelijking: de productiviteit is dan circa 5 % hoger dan bij een temperatuur in de range PMV 0 tot +0,5;

Niemela et al (2002)

Er is sprake van 5 - 7 % hogere productiviteit in een callcenter bij het verlagen van de temperatuur van 25 naar 23 °C;

Wyon (2000) / typen

Bij 1 °C onder de neutrale temperatuur is de productiviteit het hoogst, terwijl bij elke graad stijging de productiviteit met 7,5 % afneemt. Vanaf +3 °C boven neutraal blijft de productiviteit gelijk;

Wyon (2000) / denken

Bij 1 °C onder de neutrale temperatuur is de productiviteit het hoogst, terwijl bij elke graad stijging de productiviteit met 4 % afneemt, tot en met +6 °C boven neutraal;

Federspiel et al (2002)

Bij temperaturen > 25 °C in een callcenter is de gespreksduur per cliënt signifi-

cant langer (is verminderde prestatie personeel) dan bij temperaturen in de range 21 - 25 °C.

### Persoonlijke beïnvloeding

Kroner & Stark-Martin (1992)

Verhuizen naar een nieuw gebouw levert een productiviteitsstijging van 4,3 % op. Met goede mogelijkheden voor persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur wordt dit totaal 7,1 %;

Kroner et al (2000)

Een eigen console op het bureau waarmee de temperatuur, de lichtsnelheid en de hoeveelheid verse luchttoevoer naar wens is in te stellen, resulteert in een productiviteitsverhoging van 12,5 %;

Leamen (2000) & Humphreys (2001)

Meer mogelijkheden tot persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur levert een hogere productiviteit op;

Clements-Croome (2000)

Persoonlijke beïnvloeding met  $\pm 3$  °C geeft een verhoging van de productiviteit

met 5 tot 15 %. Ook als de starttemperatuur rond de neutrale temperatuur zit, blijkt er een aanzienlijke verbetering te zijn (bijvoorbeeld bij typen 7%!).

### Verse luchttoevoer

Wargoeki (2001)

Verdubbeling van de verse luchttoevoer betekent 1,8 % toename van de productiviteit;

Fisk et al (2002)

Verhoging verse luchttoevoer van 40 naar >100 m<sup>3</sup>/h per persoon resulteert in een productiviteitstoename van 1 à 2 %;

Milton et al (2000)

Verhoging verse luchttoevoer van 40 naar 80 m<sup>3</sup>/h per persoon levert 35 % (!) minder kortdurend verzuim op en een hogere productiviteit;

Myhrvold et al (1996)

Statistisch is bewezen dat er een verschil is in leerprestaties op school bij een CO<sub>2</sub>-concentratie < 1000 ppm versus een CO<sub>2</sub>-concentratie > 1000 ppm (beter bij < 1000 ppm).

### Verontreinigingsbronnen

Wargoeki (2001)

Er is een directe relatie tussen de tevredenheid met de luchtkwaliteit (PPD) en de productiviteit: 10 % punt minder ontevreden is 1,1 % toename in prestatie (figuur 2);

Wargoeki (2001)

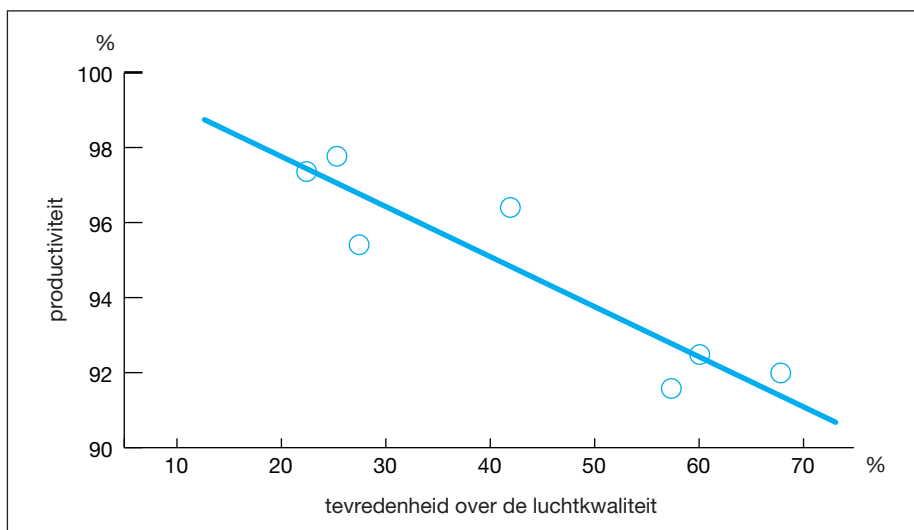
Verwijdering van verontreinigd tapijt geeft een verhoging van 3 - 7 % van de productiviteit;

Wargoeki (2001)

Vervanging verontreinigde filters (zes maanden oud) in een luchtbehandelingskast door nieuwe filters geeft een statistisch aantoonbaar effect op de productiviteit;

Uit diverse onderzoeken (onder andere Wyon, 2000) bleek dat de prestatie tot 30 % lager kan worden bij temperaturen 4 tot 6 °C boven thermisch neutraal (in de zomersituatie komt thermisch neutraal in een kantoor overeen met 23 - 24 °C). Als stelregel geldt dat boven de circa 24 - 25 °C de productiviteit bij administratief werk (typen, dataverwerking en dergelijke) afneemt met 5 - 7,5 % per graad temperatuurverhoging. Voor mentaal werk (al dan niet gebruik makend van beeldschermen) is dit 2,5 - 4% per graad temperatuurverhoging.

Een interessante bevinding is dat mensen, die meer fysiek werk doen (bijvoorbeeld in een werkplaats), juist productiever blijken te zijn bij een temperatuur die (flink) boven thermisch neutraal ligt. Tot 10 °C boven thermisch neutraal blijft de productiviteit van fabrieksarbeiders en andere 'ambachtslieden' toenemen (met steeds circa 1 % per graad temperatuurstijging).



Figuur 2. Directe relatie tussen tevredenheid met de luchtkwaliteit en de productiviteit: 10 % punt minder ontevreden is 1,1 % toename in prestatie (bron: Wargoocki et al, 2001).

Bako-Biro et al (2002)

Chemische emissies afkomstig van nieuwe pc's leiden bij een 'type-opdracht' tot een significante verlaging van het aantal aanslagen per minuut (1 %).

#### Andere factoren

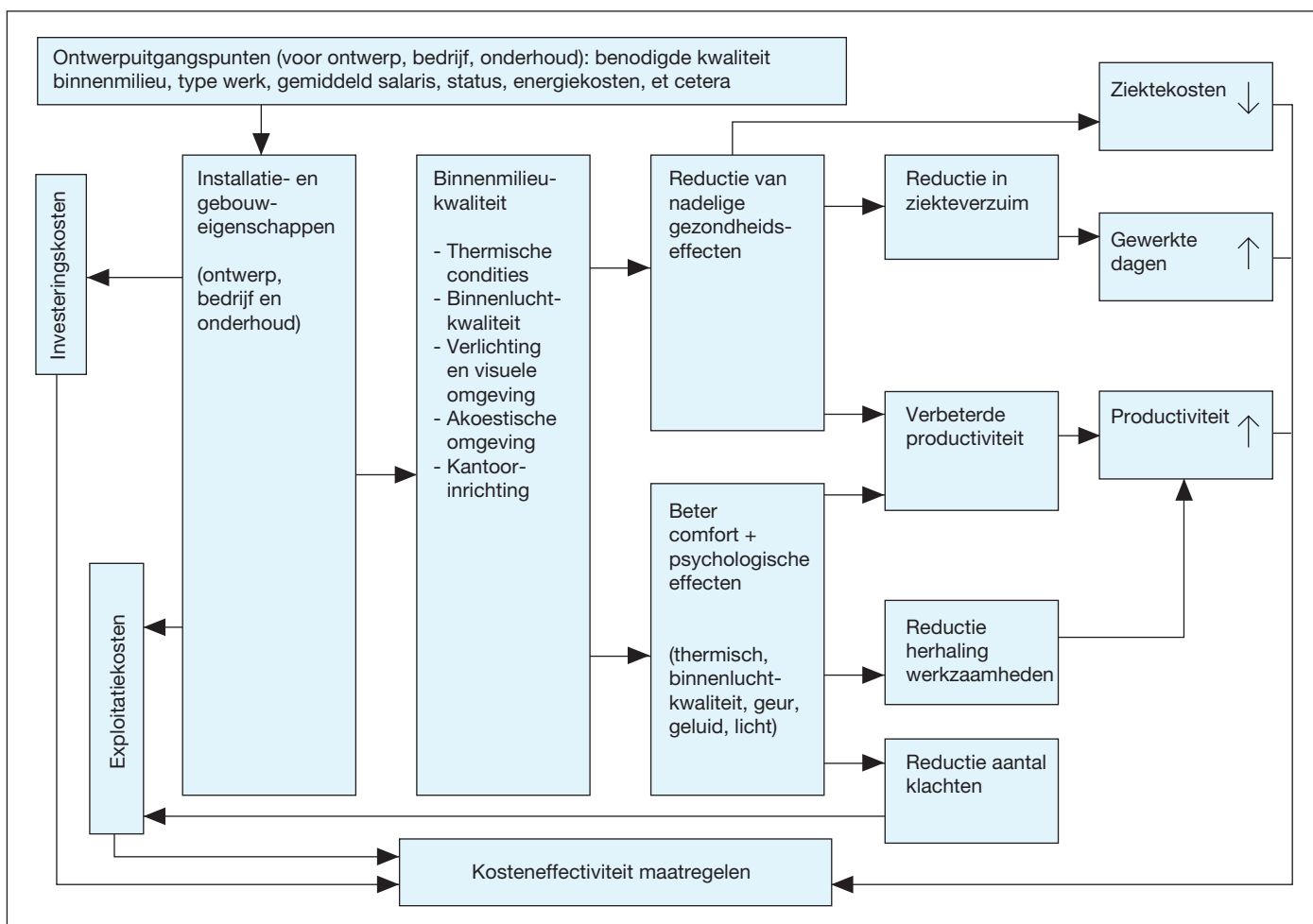
Ook de kwantitatieve effecten van geluid en verlichting zijn redelijk in kaart gebracht. Deze effecten zijn echter minder systematisch onderzocht, zodat deze

getallen minder 'hard' zijn. Zo resulteren verbeteringen aan de verlichting in een productiviteitsstijging van 2 tot 3 % en geeft vermindering van geluidhinder in de kantooromgeving een 3 tot 9 % hogere productiviteit. Ook verbeteringen van de kwaliteit en de opstelling van beeldschermen blijken een effect te hebben, zonder dat hier (op dit moment) een bepaald percentage aan kan worden 'opgehangen'.

En ten slotte blijkt in kamerkantoren met maximaal drie of vier werkplekken de productiviteit 2 tot 4 % hoger te liggen dan in grotere werkruimten (groepsruimten, kantoorruimten).

#### Extreem gunstige terugverdientijden

Als we kiezen voor een integrale benadering van de kosten, waarbij zowel de investeringskosten (gebouw, installatie) als de exploitatiekosten (in de ruimste zin van het woord) worden beschouwd, dan kunnen we concluderen dat sprake is van extreem gunstige terugverdientijden.



Figuur 3. Investeringskosten installatie en gebouw versus directe en indirecte personeelskosten (bron: Seppänen, Mendell & Fisk, 2002)

We beschouwen de volgende situatie. Uitgangspunt is een commercieel dienstverlenend bedrijf, met relatief veel hoger opgeleiden, dat een nieuw pand laat bouwen.

- het gemiddelde netto-inkomen per persoon per maand is € 2500;
- de omzet per persoon is € 6500 per maand oftewel circa € 80.000 per jaar;
- de werknemers worden gehuisvest in twee-persoonsruimten, waarbij op werkplekniveau 8 m<sup>2</sup> vloeroppervlak per persoon beschikbaar is.

Dit betekent dus dat per m<sup>2</sup> vloeroppervlak (werkplekniveau) jaarlijks circa € 10.000 aan omzet wordt gerealiseerd. Een 1 % productiviteitsverhoging staat dan gelijk aan € 100 extra omzet per m<sup>2</sup> vloeroppervlak.

#### Rekenvoorbeeld 1

Stel, in het bouwteam ontstaat discussie over 'klasse A-temperatuurregeling' oftewel het wel of niet toepassen van een wandthermostaat, waarmee in de zomer en in de winter de temperatuur met +3 of -3 °C is te beïnvloeden door de medewerkers.

Op basis van de hiervoor gepresenteerde gegevens nemen we aan dat een goede temperatuurregeling een productiviteitsverhoging van 3 % genereert (conservatieve schatting). Per jaar gaat deze extra investering dus circa € 300 meer omzet per m<sup>2</sup> vloeroppervlak opbrengen. De investeringskosten stellen we op € 50/m<sup>2</sup> (één wandthermostaat per twee personen, per wandthermostaat wordt 16 x € 50 = € 800 gereserveerd). Conclusie: de terugverdientijd is twee maanden.

#### Rekenvoorbeeld 2

Stel, in het bouwteam ontstaat discussie over 'klasse A-regeling van de ventilatie' oftewel het wel of niet toepassen van CO<sub>2</sub> geregelde ventilatie (setpoint 600 ppm) in alle vergaderruimten (sterk fluctuerende bezettingsgraad). De extra kosten hiervoor bedragen € 1000. De verwachte 'opbrengst' ten opzichte van de reguliere oplossing, zonder CO<sub>2</sub>-regeling, is minder snel 'duf' en 'vermoeid' worden tijdens vergaderingen, betere en snellere besluiten nemen en een hogere productiviteit.

Laten we aannemen (verwijzend naar de

	Productiviteitswinst <sup>2</sup>
Binnenmilieu als geheel goed	10 - 15 %
Temperatuur niet te hoog	3 - 7 % per °C (bij > 25 °C)
Temperatuur (goed) regelbaar	minimaal 3 %
Voldoende verse luchttoevoer (> 30 à 40 m <sup>3</sup> /h/p.p.)	minimaal 1 - 2 %
Geen verontreinigingsbronnen <sup>1</sup>	1 - 7 %
1. Bronnen zijn bijvoorbeeld: verontreinigde bevochtigungssecties, vervuilde vloerbedekking of apparatuur (chemische emissies). 2. De percentages gelden voor werk dat hoofdzakelijk uit procedures bestaat, zoals administratieve handelingen. Voor werk dat hoofdzakelijk creatief is, gelden percentages die een factor 2 lager liggen. Merk op dat het hier de productiviteit betreft in een gebouw met een relatief goed binnenmilieu, met gebouwen met een relatief slecht binnenmilieu als referentie.	

Tabel 2. Kengetallen productiviteitseffecten.

hiervoor gepresenteerde onderzoeksgegevens) dat, op momenten dat de vergaderruimten worden gebruikt, de productiviteit 1 % hoger ligt (zeer conservatieve schatting!). Verder vergaderen vooral de relatief dure krachten (managers, projectleiders enzovoort) veel. We gaan uit van een gemiddeld uurtarief van € 100 per persoon.

Stel dat elke vergaderruimte 20 m<sup>2</sup> groot is en dat de helft van de werktijd (gemiddeld 20 uur per week) door gemiddeld acht man wordt vergaderd. De CO<sub>2</sub>-regeling levert dus per week 20 uur x 8 x € 100 x 1 % = € 160 extra omzet op, of wel per maand circa € 640.

Terugverdientijd: anderhalve maand.

En dan hebben we het nog niet eens gehad over de energievoordelen (is lagere exploitatiekosten) van CO<sub>2</sub> geregelde ventilatie...

#### Win-win

Er is een bewezen negatief effect op de productiviteit door:

- een te hoge temperatuur, in elk geval bij temperaturen boven de 25 °C;
- het ontbreken van een mogelijkheid tot persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur;
- een te lage hoeveelheid verse luchttoevoer cq. een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie;
- de aanwezigheid van verontreinigingsbronnen in gebouw en/of klimaatinstallatie, zoals nieuwe pc's (chemische emissies), verontreinigde vloerbedekking of verontreinigde filters in luchtbehandelingskasten.

Extra investeren in temperatuurbeheersing ('s zomers), persoonlijke beïnvloeding van de temperatuur, verse luchttoe-

voer, emissie-arme (en goed schoon te maken) interieurmaterialen en dito installatiecomponenten gaan in de regel gepaard met terugverdientijden in de orde van grootte van enkele maanden.

Hier is dus voor alle betrokkenen sprake van een win-winsituatie, waarbij het belang van de W-adviseur en W-installeur en het belang van de werkgever en medewerker hand in hand gaan.



**Dit artikel is een vervolg op het artikel van Joe Leijten getiteld 'Binnenmilieu, productiviteit en ziekteverzuim' dat in Verwarming & Ventilatie oktober 2002 is verschenen. Een deel van de tekst is gebaseerd op de lezing 'Binnenmilieu en productiviteit: eindelijk harde cijfers', die Atze Boerstra hield op 19 maart 2003 op de Iesso-dag 'Nieuwe beoordelingsmethodiek voor het thermisch binnenklimaat'. Voor meer informatie zie ook het cahier 'Binnenmilieu, productiviteit en ziekteverzuim' van Joe Leijten dat in 2002 verscheen in de serie Praktijkboek Gezonde Gebouwen. Dit cahier is los te koop via SBR (010 2065959).**