

## Auteurs

Dr. M.G.L.C. (Marcel), Loomans, TU/e, Department of the Built Environment, Building Performance group;  
 A.K. (Asit) Mishra, TU/e, Department of the Built Environment, Building Performance group;  
 Prof.dr. H.S.M. (Helianthe) Kort, TU/e, Department of the Built Environment, Building Performance group /  
 Hogeschool Utrecht, Center for Sustainable and Healthy Living, research group Technology for Healthcare Innovations

## Ventilatie en slaapkwaliteit: met open of dicht raam of via binnendeur?

*Slapen doen we allemaal. Gemiddeld slapen wij 6 tot 9 uur. Dat betekent dat we circa 33% van onze tijd slapend doorbrengen [1]. Slapen doen we om te rusten, om te kunnen herstellen van de activiteiten van de dag. Daarnaast heeft slapen een positieve invloed op de gezondheid, alertheid en stressreductie [2]. Voor een goede slaap is de binnenmilieukwaliteit van een slaapkamer mede van belang. Aandacht voor slaap en het binnenmilieu bestaat al enige tijd. Er is aansluiting op de nationale wetenschapsagenda vanuit de routes Gezondheidszorg preventie en behandeling en vanuit de route Neurolab (zie kader).*

De kwaliteit van het binnenmilieu in slaapkamers is een van de omgevingsfactoren die als determinant de kwaliteit van slapen beïnvloedt. Die kwaliteit kan worden uitgedrukt in bijvoorbeeld slaaplatentie. Dat is de tijd nodig om in te slapen vanaf het moment dat iemand in bed ligt. Andere parameters om slaapkwaliteit te duiden zijn bijvoorbeeld: de duur van de slaap, hoe diep iemand slaapt, het aantal momenten dat iemand nachts wakker is en de ervaren vermoeidheid als iemand wakker is [3]. Verder is bekend dat een korte slaap sterk geassocieerd is met een verhoogd risico op cardiovasculaire ziekten, op geestelijke gezondheid, obesitas en diabetes [4].

Onderzoek naar de volle omvang van het effect van het binnenmilieu (geluid, licht, luchtkwaliteit en thermisch comfort) op de slaapkwaliteit is complex en voor zover ons bekend nog niet beschikbaar. Onderzoek vindt momenteel met name op onderdelen plaats, waarbij vooral de luchtkwaliteit in de slaapkamer de aandacht heeft [1]. In de hier beschreven studie is ook de aandacht

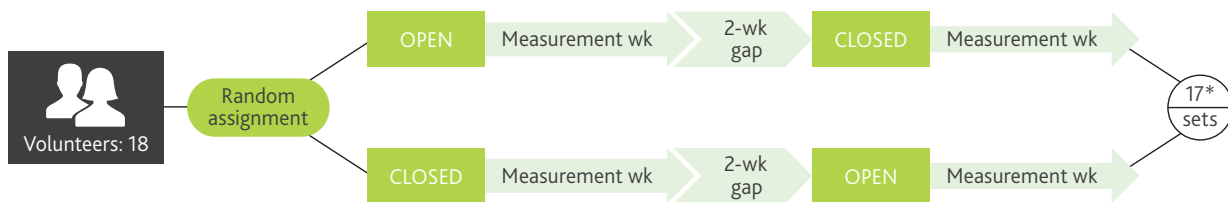
### Nationale wetenschapsagenda

De nationale wetenschapsagenda geeft onder meer het volgende aan; "om op alle leeftijden optimaal te kunnen functioneren is de 'Schijf van Vijf voor het brein' belangrijk: voldoende slaap, gezonde voeding, optimale beweging, een goede sociale inbedding en een goede balans tussen stress en ontspanning". Het belangrijkste punt in de schijf van vijf voor het brein is in deze context voldoende slaap. Een ieder zal begrijpen dat voldoende slaap een subjectieve waarde is. Tegelijkertijd is bekend dat slaap wordt beïnvloed door verschillende determinanten. Het gaat dan om persoonsgebonden factoren, leefstijl of gedrag en omgevingsfactoren zowel sociaal als in de fysieke omgeving.

op de luchtkwaliteit. Het doel van de studie was om het onderzoek van Strøm-Tejsen [1] te reproduceren voor de Nederlands situatie en om meer inzicht te verkrijgen in de relatie tussen binnenklimaat en slaap. Dit artikel vormt een samenvatting van dat onderzoek.

### Methode

Voor deze studie is een experimentele aanpak gekozen, waarbij onderzoek is uitgevoerd in bestaande in-situ slaapkamers. Deelnemers aan de studie waren studenten in de leeftijd van 21 – 27 jaar, die gerekruteerd zijn via de eigen netwerken. In totaal hebben uiteindelijk 17 studenten (53% mannen) deelgenomen aan de studie die allen in hetzelfde type gebouw wonen, met eenpersoons



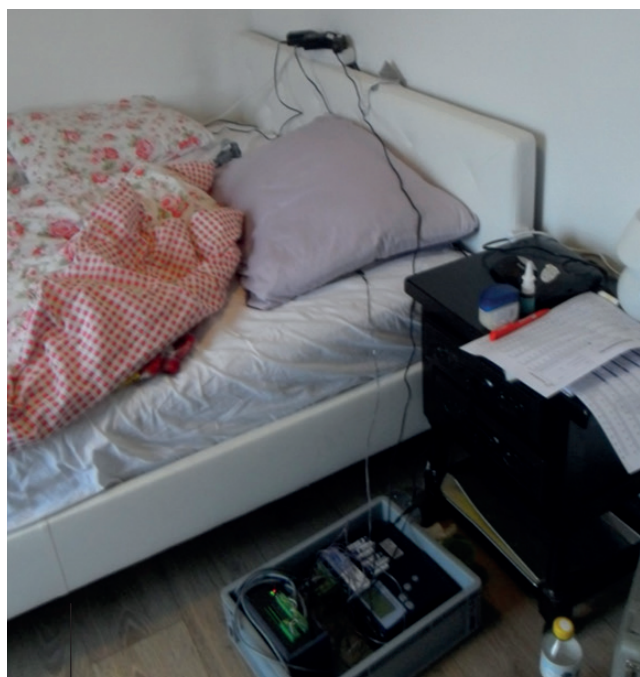
**Figuur 1:** Overzicht onderzoeksopzet

slaapkamers. Een van de selectie-eisen was dat geen slaapmedicatie gebruikt mocht worden en tijdens het experiment mochten de studenten geen alcohol drinken. Studenten hebben vrijwillig aan het experiment deelgenomen en konden op ieder moment stoppen.

De studie is uitgevoerd van 19 oktober tot en met 6 december 2015. In iedere slaapkamer is het binnenmilieu bepaald door CO<sub>2</sub>-concentratie, temperatuur, achtergrondgeluid en relatieve vochtigheid te meten gedurende vijf dagen met daartussen een periode van 2 weken dat er geen metingen werden uitgevoerd. Metingen zijn uitgevoerd van zondagochtend tot en met vrijdagochtend. In de ene week is gemeten in de situatie dat de studenten de ramen (met een vaste opening van 0,1 m) of binnendeur open hebben om zo de situatie van een hoger ventilatievoud te simuleren, de "open-situatie". In de andere week waren de ramen en deuren in de slaapkamer gesloten. (zie Figuur 1).

Achtergrondgeluid is gemeten door in de avond enkele puntmetingen te nemen gedurende 10 seconden met een spectrale geluidsmeter (RION, NL-32). Dit is voorafgaand aan de uitvoering van het experiment gebeurd; namelijk bij het kussen, het raam en de deur op hoogte van de slaappositie. Daarnaast is tijdens het experiment in de slaapkamer van één student het achtergrondgeluid gemeten op verschillende momenten in de nacht. De CO<sub>2</sub>-concentratie, temperatuur en relatieve vochtigheid zijn gemeten met een interval van vijf-minuten (GW47 CO<sub>2</sub>, RV en temperatuur sensor; ±50 ppm CO<sub>2</sub>; ±2% RV; ±0.4°C). De sensoren zijn geplaatst op een afstand van 1,5 meter van het kussen om te voorkomen dat de student direct op de sensor kan ademen. Een voorbeeld van de meting in een slaapkamer is te zien in Figuur 2.

De slaapkwaliteit is zowel kwalitatief als kwantitatief gemeten. Voor de kwalitatieve metingen is gebruik gemaakt van de Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) [5]. Deze vragen zijn voor aanvang van het experiment ingevuld, en steeds na afloop van de twee meetcondities. Daarnaast is de Groningen Sleep Quality Scale (GSQS) gebruikt [6]. Dit is een dagelijkse enquête met waar/niet-waar vragen waarmee onder meer slaapdiepte wordt onderzocht. De studenten hebben dagelijks gedurende het experiment (online) deze vragenlijst ingevuld. Tenslotte konden de studenten in een dagboek aangeven wanneer zij naar bed gingen en wanneer zij opstonden. Dit behoorde zij elke ochtend gedurende de studie op te schrijven. Kwantitatieve gegevens zijn verkregen door onder andere metabolisme en mate van activiteit van de student te meten met behulp van een Sensewear Armband [7]. Deze werd in de avond op de rechterbovenarm gedragen. Ook is een FlexSensor gebruikt die onder het matras was geplaatst om bewegingen gedurende de slaap te meten. Helaas bleek de positionering ervan problematisch en kon niet in alle gevallen relevante data worden gemeten.



**Figuur 2:** Voorbeeld van meetopstelling in een slaapkamer

Alle verkregen gegevens zijn met behulp van Matlab R2014b verwerkt. Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van R. Significantie is beoordeeld op  $p < 0.05$ . De hypothese was dat er geen significant verschil in resultaat is tussen de open en gesloten situatie in de slaapkamer.

**Resultaten**

Een van de belangrijkste vragen is of de twee condities, 'Open' en 'Gesloten', resulteerden in verschillende binnenmilieucondities. In Figuur 3 is de cumulatieve verdeling weergegeven van de CO<sub>2</sub>-concentratie en de temperatuur voor de verschillende slaapkamers gedurende de periodes dat is gemeten. De grafieken laten zien dat de CO<sub>2</sub>-concentratie in de 'Gesloten' situatie hoger oploopt (gemiddeld 1147 ppm versus 731 ppm voor de 'Open' situatie). Het gevonden verschil is, zoals gewenst, significant. Ook de binnentemperatuur is iets (gemiddeld 0,4°C) maar significant hoger bij de 'Gesloten' situatie. De relatieve vochtigheid verschilde niet opzienbarend tussen de twee situaties. Het gemiddelde achtergrond geluiddruk niveau

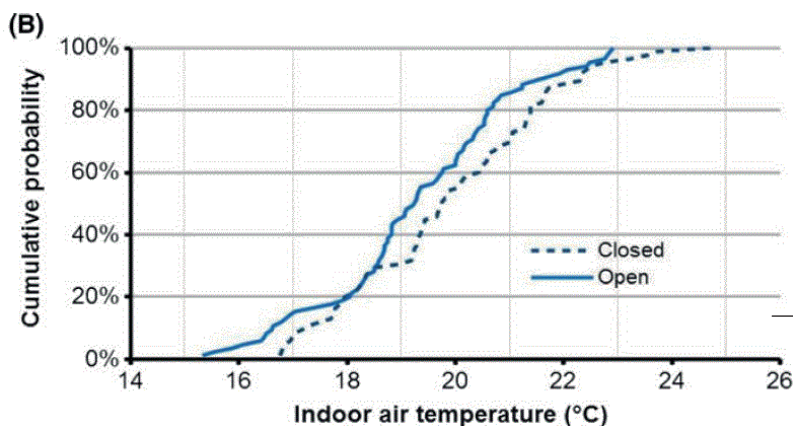
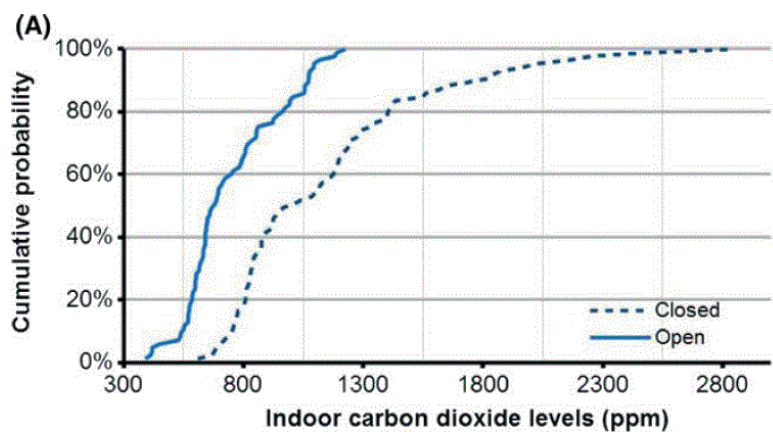
kende wel een significant verschil (40,5 dB(A) versus 46,1 dB(A), 'Gesloten'-'Open').

Het gebruik van het raam als middel om de CO<sub>2</sub>-concentratie te verlagen leidde tot significant lagere CO<sub>2</sub>-concentraties dan het gebruik van de deur (658 ppm versus 791 ppm). Dit was dus effectiever. Bij gebruik van de deur lag de binnentemperatuur lager dan bij gebruik van het raam (20,5°C versus 18,7°C). Het gebruik van de deur zorgde ook voor een kleiner verschil in het achtergrond geluiddruk niveau.

De slaapparameters die objectief zijn onderzocht, de Sensewear en FlexSensor, lieten geen significante verschillen zien tussen de twee condities voor wat betreft tijd tot slapen, aantal ontwaakmomenten en slaapefficiency. Verschillen voor enkele fysiologische parameters die ook met de Sensewear werden gemeten (huidtemperatuur en 'near body' temperatuur) waren wel significant, maar klein. Het slaaptype/-fase tot slot was significant lager voor de 'Gesloten' situatie. Een hogere waarde van het slaaptype veronderstelt een diepere/betere slaap.

Voor wat betreft de slaapparameters die subjectief zijn onderzocht; In Tabel 1 wordt een samenvatting gegeven van de verkregen resultaten. Met uitzondering van de slaapdiepte zijn geen van de gevonden verschillen significant. Naast verschillen is ook gekeken naar mogelijke correlaties. Uit de data is een significante correlatie gevonden tussen de (subjectieve) slaapdiepte en het CO<sub>2</sub>-niveau ( $r = -0,16$ ) en temperatuur ( $r = 0,21$ ). Een negatieve r-waarde betekent dat bij een toenemende CO<sub>2</sub>-concentratie de slaapdiepte afneemt. Voor de temperatuur is dit omgekeerd.

Van de objectieve data (Sensewear) werd een significante correlatie gevonden tussen CO<sub>2</sub>-niveau en het aantal ontwaakmoment per nacht ( $r = 0,19$ ) en de dagelijkse slaapefficiëntie-



**Figuur 3:** Cumulatieve verdeling CO<sub>2</sub>-en temperatuur niveau bij 'Open' en 'Gesloten' ('Closed') situatie voor de ventilatie van de slaapkamer (daggemiddelde waarden).

| criterium             | Situatie | Gem. | Min | Max | criterium              | Situatie | Gem.  | Min | Max  |
|-----------------------|----------|------|-----|-----|------------------------|----------|-------|-----|------|
| GSQS (0-14)           | O        | 3.18 | 0   | 13  | Latentie (min)         | O        | 22.53 | 0   | 75   |
|                       | C        | 2.96 | 0   | 11  |                        | C        | 22.41 | 0   | 75   |
| Slaap kwaliteit (1-5) | O        | 3.44 | 1   | 5   | Duur (h)               | O        | 8.03  | 4.5 | 10.3 |
|                       | C        | 3.38 | 0   | 5   |                        | C        | 7.86  | 4.8 | 10   |
| Slaapdiepte (1-7)     | O        | 4.21 | 1   | 7   | Ontwaken (# per nacht) | O        | 0.65  | 0   | 3    |
|                       | C        | 4.6  | 1   | 7   |                        | C        | 0.62  | 0   | 3    |
| Rust (1-7)            | O        | 4.71 | 2   | 7   | Efficiency (%)         | O        | 87.7  | 51  | 97.5 |
|                       | C        | 4.6  | 1   | 7   |                        | C        | 88.4  | 62  | 100  |

Tabel 1: Resultaten van slaapbeoordeling via vragenlijsten (subjectief). O = 'Open', C = 'Gesloten'.

tie ( $r = -0,20$ ). Voor de temperatuur waren deze correlaties ook significant (respectievelijk  $r = -0,16$  en  $r = 0,19$ ). Bij een lager CO<sub>2</sub>-niveau, dan wel hogere temperatuur (binnen de onderzochte temperatuurrange) neemt het aantal ontwaakmomenten dus af. Om te beoordelen in hoeverre de objectief bepaalde slaapparameters overeenkomen met de subjectief bepaalde parameters is ook hiervoor een vergelijking gemaakt middels correlatie. Voor zowel Slaaplatentie, Duur en Ontwaken zijn significante correlaties gevonden ( $r = 0.45, 0.87, 0.28$ ) tussen de op verschillende manieren verkregen gegevens. Voor Slaapefficiency en Slaapkwaliteit waren de resultaten niet significant ( $p = 0,057; 0,052$ ).

### Discussie

Er zijn slechts enkele studies die het binnenmilieu onderzocht hebben in relatie tot slaap. Het aantal onderzoeken waarbij dit ook, zoals in dit onderzoek, op objectieve wijze is gemeten is nog beperkter. Overall is de consensus van die studies echter wel dat een lager CO<sub>2</sub>-niveau de (zelf beoordeelde) slaapkwaliteit, en daaraan gerelateerde parameters, positief beïnvloedt. De meest recente studie van Zhang et al. [8], geeft ook weer aan dat de studenten meer tevreden zijn bij een CO<sub>2</sub>-concentratie van 1000 ppm of lager.

Het gebruik van zowel een open raam of open deur leidt tot het gewenste resultaat om de CO<sub>2</sub>-concentratie te verlagen. Het verschil in concentratie leidt echter niet tot significante verschillen in veel van de gebruikte objectieve en subjectieve slaapparameters. Alleen voor de subjectieve slaapdiepte en de objectief bepaalde slaapfase was het verschil significant. De gevonden correlaties ondersteunen echter wel de eerder gevonden resultaten [1][9].

In de studie zijn subjectieve resultaten ook vergeleken met de objectieve resultaten. Het blijkt dat die ook een goede correlatie geven. Dat betekent dat we met objectieve

metingen goed kunnen representeren wat de subjectieve beoordeling van de slaapkwaliteit is. Voor toekomstig onderzoek kan dit zeer handig zijn.

Voor de praktijk betekenen de resultaten dat een goede geventileerde slaapkamer bijdraagt aan een betere slaapkwaliteit. Het gebruik van een open raam bleek wat effectiever dan een open (binnen)deur. Het effect van het achtergrondgeluidniveau buiten kan hierbij echter een versturende factor zijn. In het onderzoek is dit aspect een gegeven en hebben we het effect daarvan niet onderzocht. Verondersteld mag worden dat de verkregen resultaten daardoor conservatief zijn. In de praktijk blijkt dat het gebruik van een open binnendeur dan een prima alternatief kan zijn.

Natuurlijk wordt slaap door veel meer zaken beïnvloed dan enkel de luchtkwaliteit in de slaapkamer. Door de opzet, met studenten, hebben we geprobeerd om de situatie zo vergelijkbaar als mogelijk te houden. Met een screening vooraf is geprobeerd de overeenkomst verder te vergroten. Daarnaast hebben we in het onderzoek vooral gekeken naar slaapparameters. Het is zeker ook interessant om te kijken wat het effect is van de slaapkwaliteit op de prestaties op de volgende dag [1] dan wel op het gezondheidseffect voor de lange termijn. Onvoldoende slaap is immers een risicofactor voor meerdere ziektes. Het betekent dus dan ook dat er meer onderzoek nodig is naar het binnenklimaat en de slaapkwaliteit in relatie tot mogelijke bijdrage in de preventie van (chronische) ziekten. In het onderzoek zijn we gemakshalve uitgegaan van CO<sub>2</sub> als maat voor de luchtkwaliteit. In vervolgonderzoek zou dit wat meer onderscheiden kunnen worden, bijvoorbeeld door ook te kijken naar PM.

### Conclusie

Een goed geventileerde slaapkamer, resulterend in een lage CO<sub>2</sub>-concentratie, draagt bij aan een betere slaapkwaliteit.

Met behulp van het openen van een raam of binnendeur kan zo een lagere concentratie gerealiseerd worden. Met uitzondering van de zelf-beoordeelde slaapdiepte en de objectief bepaalde slaapfase, zijn de gevonden verschillen in slaapparameters echter niet-significant. Voor verschillende parameters zijn wel correlaties gevonden die de eerder gevonden resultaten ondersteunen. Daarmee wordt bevestigd dat een slaapkamer geen sluitstuk hoort te zijn als het gaat om ventilatie. Het is een van de belangrijkste ruimtes in onze woning, Een goede nachtrust is niet alleen belangrijk op het moment zelf, maar is zeker ook nuttig voor de dag erna en werkt op de lange termijn positief op de gezondheid.

### Dankwoord

Deze publicatie is gebaseerd op het afstudeerwerk van Aike van Ruitenbeek, afgestudeerde van de TU/e bij de faculteit Bouwkunde, unit BPS. Het afstudeerverslag is te vinden via deze link: <https://research.tue.nl/en/studentTheses/indoor-environment-of-sleeping-rooms-and-sleep-quality>.

Het onderzoek is ook gepubliceerd in Indoor Air [10].

We willen alle deelnemers aan deze studie bedanken voor hun vrijwillige deelname. Het BPS-lab wordt hartelijk bedankt voor hun ondersteuning bij de metingen.

### Referenties

1. Strøm-Tejse P, Zukowska D, Wargocki P, Wyon D. The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance. *Indoor Air*. 2016;26:679-686 (2016).
2. Urlaub S, Grün G, Foldbjerg P, Sedlbauer K. The influence of the indoor environment on sleep quality. In: *Proceedings of Healthy Buildings Europe Conference, Eindhoven, The Netherlands, 18-20 May (2015)*.
3. Billiard, M. *Sleep; Physiology, investigations and medicine*. 1 red. New York: Springer US (2003).
4. Itani O, Jike M, Watanabe N, Kaneita Y. Short sleep duration and health outcomes: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression *Sleep Med*. 2017; 32, pp. 246-256 (2017).
5. Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*. 1989;28:193-213 (1989).
6. Mulder H, van der Meulen WREH, Wijnberg JR, Hollander JJ, De Diana IPF, van den Hoofdakker RH. Measurement of subjective sleep quality. *Eur Sleep Res Soc Abstr*. 1980;5:98 (1980).
7. Krystal AD, Edinger JD. Measuring sleep quality. *Sleep Med*. 2008;9:S10-S17 (2008).
8. Zhang N, Cao B, Zhu Y. Indoor environment and sleep quality: A research based on online survey and field study, *Building and Environment*. 137:June 2018, pp. 198-207 (2018).
9. Laverge J, Janssens A. Analysis of the influence of ventilation rate on sleep pattern. *Proceedings of the 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air 2011, Austin, Texas, Paper a51-3*. (2011).
10. Mishra A, Ruitenbeek AM van, Loomans MGLC, Kort HSM. Window/door opening-mediated bedroom ventilation and its impact on sleep quality of healthy, young adults. *Indoor Air*. 2018;28, 2, p. 339-351 13 p (2018).

**VIANEN**  
KITCHEN VENTILATION

VIANERGY II

28%

ENERGY SAVING

[www.vianenkvs.com](http://www.vianenkvs.com)