

› BEVOCHTINGSEISEN IN DE ZORGHUISVESTING KENNISBASIS



› **TNO**

auteurs

Dr.ir. M.G.L.C. Loomans (projectleider TU/e)
Dr.ir. E. Huisman (HU)
Ir. K. Kompatscher (TNO)
Dr. ing. A.A.L. Traversari, MBA (projectleider TNO)
Prof.dr. H.S.M. Kort (TU/e)
Ir. W. Maasen, PDEng (TU/e)

opdrachtgever

NFU, NVZ

Datum: 18 mei 2021

Projectnummer: TNO 060.37543 | TU/e 10027758

TU/e EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

HU HOGESCHOOL
UTRECHT

MANAGEMENTSAMENVATTING

INLEIDING

Het onderzoek naar de noodzaak van luchtbevochtiging en de wijze waarop dat wordt gerealiseerd is opgezet om verduurzaming in de zorghuisvesting, met focus op het reduceren van het energiegebruik, te faciliteren. Energiebesparing in de zorg mag niet ten koste gaan van beschikbaarheid van functies, patiëntveiligheid, zorgkwaliteit en randvoorwaarden waarbinnen deze zorg moet worden geleverd.

Luchtbevochtiging is een specifiek onderdeel in de luchtbehandeling en kent een brede toepassing binnen de zorghuisvesting, met name in ziekenhuizen maar ook in de langdurige zorg. Echter, luchtbevochtiging zoals met de huidige technologie gerealiseerd is een energie-intensief proces. Bevochtiging is daarmee een relatief grote energiegebruikspost (>10%). Hierbij worden vaak fossiele brandstoffen gebruikt voor de centrale stoomopwekking. In de praktijk worden verschillende bandbreedtes voor de te realiseren relatieve vochtigheid (RV) gehanteerd. Deze opvallende constatering, en de wens voor duurzamere vormen van bevochtiging vormen de aanleiding om te onderzoeken wat de noodzaak van bevochtiging is en of er goede alternatieven zijn voor bevochtiging waarbij gebruik gemaakt kan worden van hernieuwbare energie in plaats van fossiele brandstoffen.

Gezien de geschetste situatie en de twee duidelijk verschillende onderwerpen, is dit onderzoek onderverdeeld in twee deelonderzoeken. Enerzijds is een literatuurstudie uitgevoerd naar welke grenzen aan de RV van het binnenmilieu gesteld zouden moeten worden om een veilige omgeving voor patiënten en medewerkers vanuit gezondheid en comfort te realiseren. Anderzijds is, met de huidige praktijksituatie als vertrekpunt, onderzocht welke mogelijkheden (technieken) in aanmerking komen om een eventuele bevochtiging op een veilige en duurzame wijze te realiseren. Dit is vertaald in een tweetal onderzoeksvragen:

1. Wat is de noodzaak van bevochtiging in zorghuisvesting vanuit het oogpunt van de veiligheid en het comfort van de patiënt en het medewerkers en is er een onderscheid in functies?
2. Op welke alternatieve, meer energievriendelijke wijze, kan bevochtiging worden gerealiseerd? Dit met inachtneming van de patiëntveiligheid en comforteisen van de gebouwgebruikers.

In het voorliggende rapport wordt ingegaan op de eerste onderzoeksvraag. Deze management-samenvatting vat kort de aanpak en resultaten samen uit het tweede deelonderzoek met betrekking tot de tweede onderzoeksvraag.

AANPAK

Om de eerste onderzoeksvraag te beantwoorden is een literatuurstudie (zogenaamde scoping review) uitgevoerd. In deze studie is een onderverdeling gemaakt naar de beschikbare kennis ten aanzien van 4 thema's:

1. Het effect van RV in relatie tot micro-organismen en virussen;
2. Het effect van RV op het functioneren van medische apparatuur;
3. Het effect van RV op de fysiologie van de mens;
4. Het effect van RV op het ervaren welzijn en comfort van de mens.

In de tweede studie is een inventarisatie gemaakt bij Nederlandse ziekenhuizen naar de huidige praktijk ten aanzien van bevochtiging. Deze informatie is via enquêtes en interviews verkregen. Hierbij is ingegaan op de gehanteerde eisen voor luchtvochtigheid en het gebruik van een luchtbevochtigingsinstallatie. Daarnaast is een inventarisatie gemaakt van de eisen en aanbevelingen zoals die op dit moment in richtlijnen zijn opgenomen.

RESULTATEN

Kennisbasis

In de uitgevoerde literatuurstudie is de gevonden informatie gegroepeerd naar de vier genoemde thema's. De geïncludeerde studies geven aan dat RV vaak niet als afzonderlijke parameter maar in combinatie met verschillende andere aspecten is onderzocht. Vanuit het oogpunt van microbiologische organismen is er een afhankelijkheid van RV met het type organisme. Temperatuur en RV condities buiten de gastheer bepalen de kans/tijd dat bijvoorbeeld een virus infectieus kan blijven. Echter, de condities waaronder de overlevingskans het grootst is, verschilt per organisme en het is niet mogelijk een specifieke waarde hiervoor te noemen. In het algemeen kan gesteld worden dat lage en hoge RV-waardes vermeden moeten worden.

De ondergrens voor de RV die gehanteerd wordt voor medische apparatuur wordt in verband gebracht met elektrostatische ontlading (ESD). Om dit te beperken, wordt voor medische apparatuur een ondergrens van 30% RV gevonden. Overigens zijn de specificaties van dergelijke apparatuur leidend bij de te hanteren waarde voor de RV in de ruimte waar het apparaat is opgesteld, omdat deze het functioneren van de apparatuur kan beïnvloeden. Vanuit comfort oogpunt is het ook wenselijk ESD (schokjes bij aanraking van oppervlakken en andere personen) te voorkomen door gebruik te maken van het juiste materiaal, bijvoorbeeld schoeisel (geleidend) en beddengoed (katoen). De RV kan deze vorm van ESD verminderen maar niet altijd volledig voorkomen.

Fysiologische symptomen als droge ogen, neusklachten, en luchtwegklachten kunnen worden veroorzaakt door een te lage RV. Veel klachten rondom fysiologische symptomen lijken toe te nemen bij een RV lager dan 30%. De beschouwde studies hebben vaak als beperking dat de duur van de blootstelling aan deze condities niet expliciet wordt gegeven of beperkt is (maximaal enkele uren). Meer langdurige blootstelling (enkele dagen, bijvoorbeeld gerelateerd aan gewenning) is niet onderzocht, terwijl dit binnen de zorghuisvesting voor de meest kritische personen (patiënten) wel aan de orde zal zijn. Voor een poliklinische situatie zijn de resultaten meer representatief. Overigens zijn op functieniveau (specifieke functies binnen een zorggebouw) nagenoeg geen studies beschikbaar die ingaan op de RV.

In het algemeen lijken significante effecten van de RV op de perceptie van droge lucht beperkt te blijven. Individuele gevoeligheid kan effect hebben op deze perceptie.

De onderstaande figuur vat de uitkomsten van de literatuurstudie samen.

RV waarden	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Micro-organismen											
Medische apparatuur											
Fysiologische aspecten											
Perceptie en beleving											

Figuur. Overzicht RV waardes per thema. Het grijze vlak geeft de range voor de gewenste waarde voor de relatieve vochtigheid aan. De grijze vlakken geven geen demarcatie aan de hoge RV-waarde van het vlak omdat hiervoor geen expliciete gegevens beschikbaar zijn, ofwel dit is niet specifiek onderzocht. De lichtoranje vlakken geven aan dat bij een RV < 30% dit een negatieve invloed heeft op de fysiologische aspecten en perceptie en beleving.

Inventarisatie Nederlandse ziekenhuizen

Uit de inventarisatie, het tweede deelonderzoek, blijkt dat de Nederlandse ziekenhuizen (n = 20 ziekenhuizen) zeer frequent gebruik maken van luchtbevochtiging. Het merendeel (83%) condicioneert het gehele gebouw waarbij 72% van de respondenten aangeeft gebruik te maken van stoombevochtiging. Het overige deel (28%) maakt gebruik van een combinatie van stoom- en waterbevochtiging. De gehanteerde setpoints lopen per geëquipteerd ziekenhuis uiteen en zijn, onder meer, afhankelijk van de gekozen groepering in functies, onder andere operatiekamers, isolatiekamers, beddenkamers, poliklinieken. Vrijwel alle respondenten gaven een onderverdeling aan voor de operatieafdeling en de categorie 'overige ruimtes'. Enkele respondenten onderscheidden ook andere functiegroeperingen met afwijkende klimatologische eisen (o.a. kantoorfunctie, beddenkamer, ICU/CCU, laboratoria, farmacie/apotheek, longafdeling, scopie-afdeling en MRI ruimte).

Het merendeel van de in de praktijk gehanteerde setpoints voor de operatie afdeling was $\geq 50\%$ RV met weinig ruimte voor een bandbreedte, voor de overige ruimtes was dit 42,5% RV. De reden om stringente eisen voor de RV te hanteren is volgens respondenten gebaseerd op de eisen van medische apparatuur, comfort, hygiëne en wonduitdroging, en vanuit richtlijnen, historie en ervaring.

De inventarisatie van (inter-)nationale normen, standaarden en richtlijnen resulteert in een overzicht van de huidige stand van aangedragen luchtbevochtigingseisen. Deze laten eveneens geen eensgezindheid zien. Een RV van 20% is daarbij de laagste ondergrens (ASHRAE 170-2017), terwijl een ondergrens van 50% RV wordt gehanteerd in uitgaven van het voormalige College Bouw en Ziekenhuisvoorzieningen.

Alternatief voor (stoom)bevochtiging

Stoombevochtiging is momenteel de meest gangbare techniek in Nederlandse ziekenhuizen, indien bevochtiging wordt toegepast. Een alternatief voor stoombevochtiging is waterbevochtiging. Bij waterbevochtiging wordt water in de vloeibare toestand aan de luchtstroom toegevoerd waardoor geen opwarming van het water voor toevoeging noodzakelijk is. Wel wordt door verdamping van het vocht in de luchtstroom warmte uit de luchtstroom onttrokken waardoor deze afkoelt en er energie benodigd is om de luchtstroom op temperatuur te brengen voordat deze een ruimte wordt ingeblazen. De microbiologische veiligheid van deze vorm van bevochtiging dient op dit moment nog te worden gemonitord om voldoende zekerheid te krijgen over het functioneren van dergelijke systemen in de gezondheidszorg. Daarnaast is men, indien een andere bevochtigingsmethode dan stoombevochtiging wordt toepast, als werkgever vanuit de Arboretgeving (art. 4.87b) wettelijk verplicht om een Risico inventarisatie en evaluatie (RI&E) op te stellen waaruit blijkt dat legionella doeltreffend wordt beheerst. Dit dient te resulteren in een beheersplan waarin staat dat jaarlijks de bevochtiging op legionella wordt bemonsterd. Indien er afdelingen zijn die, vanwege specifieke processen, een minimale RV-eis hanteren waarbij stoombevochtiging noodzakelijk is, kan vanuit het duurzaamheidsperspectief onderzocht worden wat de mogelijkheden zijn om dit met hernieuwbare vormen van energie te produceren.

CONCLUSIES

De deelstudies hebben aangetoond dat er in de praktijk vaak stringente eisen worden gesteld aan de relatieve vochtigheid terwijl de onderbouwing voor deze strikte eisen niet of zeer beperkt in de wetenschappelijke literatuur kan worden teruggevonden. In het algemeen is onderzoek op dit specifieke onderwerp, gerelateerd aan de zorghuisvesting, relatief beperkt. Daarmee is ook de mogelijkheid om een goede kwantitatieve onderbouwing te geven voor te hanteren waardes voor de RV beperkt. Op basis van de beschikbare informatie lijkt een indicatieve ondergrens van 30% RV wenselijk, gekeken naar thema's als medische apparatuur, fysiologische aspecten en welzijn en comfort. Voor micro-organismen en virussen is geen algemene relatie gevonden tussen het ontstaan en in stand houden (inactivatie) daarvan en de RV. Overigens spelen bij het ontstaan van infecties meer aspecten een rol dan enkel de RV. Een bovengrens voor RV kan niet worden geadviseerd daar er geen eenduidig optimum voor alle vier de thema's geldt. Het zwaartepunt van de gevonden en geanalyseerde onderzoeken lag bij lage waardes voor de RV. Per ruimte of functie zal primair een balans moeten worden gevonden tussen aanwezigheid van (medische) apparatuur, aanwezigheid van patiënten en beleving van comfort met betrekking tot vochtigheid enerzijds en het resulterende energiegebruik voor bevochtiging anderzijds. Indien er ruimten zijn waar medische apparatuur wordt gebruikt die gevoelig is voor de RV, zoals bijvoorbeeld MRI- en CT-scanners, of andere kritische apparatuur, kunnen specifieke eisen hiervoor leidend zijn.

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt vanuit het programma van het Expertisecentrum Verduurzaming Zorg (EVZ), de Nederlandse Vereniging van Ziekenhuizen (NVZ) en de Nederlandse Federatie van Universitaire Medische Centra (NFU). De uitvoering heeft plaatsgevonden door TNO, TU/e en de Hogeschool Utrecht.

INHOUDSOPGAVE

Managementsamenvatting	2
Hoofdstuk 1: Inleiding	6
Aanleiding	6
Probleemstelling en vraagstelling	7
Hoofdstuk 2: Methode / Aanpak	8
Stap 1: identificeren onderzoeksvraag	8
Stap 2: Identificeren relevante studies	8
Stap 3: Selectie studies	9
Stap 4: Thema's identificeren	9
Hoofdstuk 3: Resultaten	11
3.1 RV in relatie tot micro organismen en virussen	11
3.2 RV en effect op medisch apparatuur	16
3.3 RV en effect op fysiologische aspecten	17
3.4 RV en effect op gepercipieerd welzijn en comfort	20
Hoofdstuk 4: Discussie	24
Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen	30
Referentielijst	32
Bijlagen	35
Bijlage 1 Zoekstrings	35
Bijlage 2 Beoordelingsmatrix artikelen	36

HOOFDSTUK 1: INLEIDING

De binnenluchtkwaliteit in gebouwen vormt een belangrijk onderdeel in het scala aan prestaties dat aan het binenmilieu van een gebouw gesteld wordt. Meerdere studies laten zien dat de binnenluchtkwaliteit in gebouwen (school-, kantoor- en zorggebouwen) invloed heeft op de gezondheid, inclusief het welzijn en comfort, en de prestaties van de mens en apparatuur (Fang, Wyon, Clausen, & Fanger, 2004; Hall & Dusseldorp, 2008; Razjouyan et al., 2020). Onder binnenluchtkwaliteit wordt ondermeer verstaan de concentratie aan chemische componenten en microbiologische organismen in de lucht. Deze worden mede bepaald door bronnen in een ruimte. De concentratie wordt vaak ook beïnvloed door bijvoorbeeld de thermisch-hygrische condities. Het belang van een goede binnenluchtkwaliteit is in 2020 nogmaals duidelijk geworden in relatie tot het corona-virus. Deze situatie heeft ook het belang van goede ventilatie, dat een directe relatie heeft met de luchtkwaliteit, nog eens onderstreept.

De binnenluchtkwaliteit in zorggebouwen behoeft speciale aandacht. Hier verblijven verschillende type gebruikers in één gebouw en bevinden zich ook verschillende functies bij elkaar. Onder de gebruikers bevinden zich kwetsbare doelgroepen, veelal de patiënten, vaak met een verlaagde afweer, maar ook zorgpersoneel en ondersteunende diensten. Daarnaast zijn er bezoekers. Het is een omgeving waar mensen vaak gedurende langere tijd verblijven, die in meer of mindere mate gevoelig zijn voor pathogenen (Heutte et al., 2017). Het is belangrijk om nosocomiale infecties bij deze personen te voorkomen.

De binnenluchtkwaliteit wordt bepaald door verschillende variabelen. Reeds genoemd zijn chemische componenten, bijvoorbeeld ten gevolge van emissie uit bouw- en interieurmaterialen, of door de condities in de omgeving waar het gebouw staat. Ook de blootstelling aan microbiologische organismen wordt tot de binnenluchtkwaliteit gerekend. Helaas is het zo dat voor heel veel van deze componenten en micro-organismen er (nog) geen gezondheidskundige advieswaarden kunnen worden gegeven waaraan getoetst kan worden (Dusseldorp & van Bruggen, 2007). De luchtkwaliteit van het binnenmilieu laat zich daardoor minder eenvoudig kwantificeren. Door de Nederlandse Vereniging van Arbeidshygiënisten zijn recent vuistregels opgesteld ten aanzien van de concentratie KVE/m³ voor micro-organismen in kantoorachtige omgevingen (NVvA, 2018). Dit zijn echter signaalwaarden voor een mogelijk (bouwkundig) probleem, geen gezondheidskundige uitgangspunten. In het kader van de luchtkwaliteit speelt ook de relatieve luchtvochtigheid (RV) een rol (Loomans & Cox, 2001). Een directe rol, denk bijvoorbeeld aan fysiologische klachten (Fang, Wyon, et al., 2004; Wolkoff, 2018), en indirect, denk bijvoorbeeld aan de groei van bacteriën en schimmels en de overlevingskansen van virussen. De relatieve luchtvochtigheid heeft hierbij een verschillend effect. Zo kunnen lage RV waarden leiden tot gezondheidsklachten zoals droge ogen, droge huid, droge neus en/of droge keel. (Langdurige) hoge RV waarden kunnen zorgen voor een gereduceerde inactivatie van bepaalde virussen en het groeien van diverse bacteriën en schimmels.

De relatieve vochtigheid heeft daarnaast ook effect op onder andere de perceptie van de luchtkwaliteit (Fang, et al., 1998) en het thermisch comfort van mensen (Fanger, 1970). Op deze wijze vormt de relatieve vochtigheid een belangrijke parameter in het binnenmilieu van gebouwen.

De RV in een gebouw wordt beïnvloed door onder andere de buitenklimaatcondities, de functie en de bezetting van het gebouw, het materiaalgebruik en het aanwezige ventilatie en luchtbehandeling (HVAC) systeem (Hall & Dusseldorp, 2008; Razjouyan et al., 2020). Hoewel in Nederland, gezien het klimaat, luchtbevochtiging niet standaard in alle gebouwen aanwezig is, zijn HVAC-systemen in zorggebouwen, meer specifiek de hot-floor in ziekenhuizen (waaronder operatiekamers vallen), in het algemeen uitgerust met een bevochtigingssysteem om de relatieve luchtvochtigheid te beheersen.

Bevochtiging, als onderdeel van de conditionering van lucht, is een energie-intensief proces, vaak op basis van aardgas. Dit vanwege het feit dat bevochtiging normaal gesproken plaats vindt via stoombevochtiging. De keuze voor deze techniek is ingegeven door het feit dat, vanwege de hoge temperaturen, de kans op microbiologische verontreiniging wordt geminimaliseerd.

De bevochtiging, en het regelen van de binnenmilieucondities op een bepaalde RV, is momenteel een normaal onderdeel bij de klimatisering in ziekenhuizen. Echter, de onderliggende argumentatie voor de noodzaak tot bevochtiging en het realiseren van een specifieke RV in een zorghuisvestingsomgeving is niet duidelijk aanwezig. Gezien de energie-intensiteit en de wens om het energiegebruik te reduceren is het wenselijk om een betere onderbouwing te hebben voor de noodzaak voor het controleren van de relatieve vochtigheid in de binnenlucht in een zorghuisvestingsomgeving. Dit betreft het effect van de RV op de medische aspecten, patiëntveiligheid, maar ook comfortaspecten en de werking van (medische) apparatuur.

PROBLEEMSTELLING EN VRAAGSTELLING

Bevochtiging in de zorghuisvesting, en met name ziekenhuizen, is tot op dit moment in de meeste gevallen een standaard onderdeel van de luchtbehandeling. Bevochtiging wordt ingezet voor patiëntveiligheid, comfort van professionals en voor correcte werking van apparatuur (CAREL Industries, n.d.). Patiëntveiligheid is van belang in ruimtes met hoge eisen aan het binnenklimaat (thermisch, luchtkwaliteit) zoals bijvoorbeeld de hot-floor (o.a. operatiecomplex en ICU) (College bouw zorginstellingen, 2007). Het gebruik van stoombevochtigers, gas-gedreven, is daarbij gangbaar om de luchtkwaliteit zo goed als mogelijk te waarborgen. Bevochtiging is daarmee een energie-intensieve activiteit. In het kader van verduurzaming van de zorg (de zorg-duurzaam.nl) wordt gekeken naar mogelijkheden om het energiegebruik terug te dringen zonder daarmee de primaire activiteiten in bijvoorbeeld een ziekenhuis negatief te beïnvloeden. Dit kan door onderzoek naar en gebruik van bevochtigingstechnieken die energie-efficiënter zijn. Echter, aangezien de basis voor de gestelde eisen aan de relatieve vochtigheid in de zorghuisvesting niet volledig is, lijkt het ook wenselijk om te achterhalen wat, op basis van de huidige bekende stand van zaken in de (wetenschappelijke) literatuur, de noodzakelijke relatieve vochtigheidscondities zouden moeten zijn in een zorghuisvestingsomgeving. Dit leidt derhalve tot twee vraagstukken:

1. Wat is de noodzaak van bevochtiging in ziekenhuizen vanuit het oogpunt van patiëntveiligheid en -comfort en comfort voor het personeel en is er een onderscheid in functies?
2. Op welke alternatieve, meer energie-vriendelijke wijze, kan bevochtiging worden gerealiseerd? Dit met inachtneming van de patiëntveiligheid en comforteisen van de gebouwgebruikers.

Dit deelrapport richt zich op de eerste vraag en zal een overzicht geven van de kwantitatieve RV waarden verkregen uit de literatuur. Het tweede vraagstuk wordt, naast een inventarisatie van de situatie in de huidige praktijk, in een separaat rapport beantwoord (getiteld "Bevochtigingseisen in de zorghuisvesting: Praktijk").

HOOFDSTUK 2: METHODE / AANPAK

Om inzicht te krijgen in wat er al bekend is over de noodzaak van bevochtiging in zorghuisvesting vanuit het oogpunt van de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel is er een scoping review uitgevoerd. Daarnaast kan er een onderscheid gemaakt worden in bevochtiging in type functie aanwezig in een zorggebouw. Een scoping review heeft als doel om voor een onderwerp dat weinig is onderzocht en complex is, het zoekproces zo breed mogelijk te houden. In deze studie gaat het om de wetenschappelijke literatuur op het gebied van relatieve vochtigheid in relatie tot de gezondheid en comfort (medewerker en patiënt) en procesondersteunende medische apparatuur. Het doel is om de zorgpraktijk inzicht te geven waarin op (korte) termijn mogelijke aanpassingen gedaan kunnen worden op het gebied van bevochtiging in zorggebouwen.

De scoping review is uitgevoerd van februari 2020 tot en met november 2020, met een specifieke aanvulling op 4 februari 2021, en kent vijf verschillende stappen: 1. identificeren onderzoeksvraag, 2. identificeren relevante studies, 3. selecteren studies, 4. thema's identificeren, 5. rapportage. De stappen zijn gebaseerd op het raamwerk van (Arksey & O'Malley, 2005) en kent een iteratief proces. Door het iteratieve proces is het mogelijk om terug te gaan naar eerdere stappen als er nieuwe inzichten worden opgedaan die meer richting kunnen geven aan de volgende stap in het review proces. Hieronder wordt een korte toelichting gegeven op de uitvoering van de verschillende stappen.

STAP 1: IDENTIFICEREN ONDERZOEKSVRAAG

De onderzoeksvraag komt voort uit het vraagstuk rondom het bevochtigen van de lucht in zorggebouwen. Dit wordt ook gedragen door de Nederlandse Federatie van Universitaire Medische Centra (NFU) en Nederlandse vereniging van ziekenhuizen (NVZ). Bevochtiging maakt deel uit van de luchtbehandeling in zorggebouwen en heeft impact op het energiegebruik van zorggebouwen. De literatuurstudie richt zich op de vraag wat de noodzaak is van bevochtiging in zorggebouwen vanuit het oogpunt van de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel, en procesondersteuning. Vanuit deze vraag is in de literatuurstudie ingezoomd op relatieve luchtvochtigheid en het effect op microbiologie, medische apparatuur, fysiologische aspecten, perceptie en beleving. Specifieke vragen die zijn gesteld zijn:

- Wat is het effect van relatieve luchtvochtigheid op de overlevingskansen van micro-organismen en het actief blijven van virussen?
- Wat is het effect van relatieve vochtigheid op het functioneren van medische apparatuur?
- Wat is het effect van relatieve luchtvochtigheid op de fysiologie van de mens?
- Wat is het effect van relatieve luchtvochtigheid op het ervaren welzijn en comfort van de mens?

STAP 2: IDENTIFICEREN RELEVANTE STUDIES

Studies tot november 2020, en specifiek voor elektrostatische schokken bij mensen tot februari 2021, zijn meegenomen in de selectie van relevante studies. Er is geen ondergrens aangegeven voor het jaartal van publicatie in de zoekstrategie. De volgende databanken zijn meegenomen in de scoping review: Scopus, Pubmed, Web of Science en Science Direct. Er is gekozen om te zoeken in databanken vanuit gezondheid perspectief (Pubmed) en vanuit gebouw perspectief (Scopus) om zo breed mogelijk het thema luchtbevochtiging in zorggebouwen in kaart te brengen. In Tabel 1 zijn de zoektermen opgenomen. Bij de zoektermen is geredeneerd vanuit de categorieën binnenluchtkwaliteit, omgeving, perceptie, beleving en comfort en micro-organismen en virussen. Engelse zoektermen zijn gebruikt om de internationale literatuur te kunnen verkennen op het onderwerp.

Tabel 1: Zoektermen voor binnenluchtkwaliteit, omgeving, perceptie, beleving en comfort en micro-organismen.

Binnenluchtkwaliteit	Omgeving	Perceptie/beleving/comfort	Micro-organismen/virussen
Indoor air humidity	Cure sector	Perceived	Infectious concentrations
Indoor air quality	Operation rooms	Headache	Virus viability
Relative humidity	Hospitals	Dry eyes	Particulate matter
Absolute humidity	Healthcare	Dry skin	
Moisture content	Office environment	Mental performance	
Temperature	School environment	Work performance	
Thermal	Hospital environment	Perceived air quality	
Thermal comfort	Healthcare environment	Airways	
Humidity ratio		Staff outcomes	
Ventilation systems		Patient outcomes	
		Sick leave	
Indoor climate		Fatigue	
Indoor environment		Electrostatic discharge	
Thermal environment		Productivity	

De zoektermen zijn na brainstorming, en discussie vastgesteld in het projectteam en gebruikt om, vanuit de vier categorieën, de zoekstring op te bouwen. Ter illustratie is in Figuur 1 de zoekstring zoals samengesteld in Pubmed afgebeeld. Deze zoekstring is vastgesteld in het projectteam en gebruikt als basis voor de andere databanken.

```
(((((("indoor air humidity") OR "Indoor air quality") OR "relative humidity") OR "absolute humidity") OR "moisture content") OR Temperature) OR Thermal) OR "thermal comfort") OR "humidity ratio") OR "particulate matter") OR Ventilation) OR "indoor climate") OR "indoor environment") OR "thermal environment")) AND (((("cure sector") OR "operation rooms"[Title/Abstract]) OR Hospitals[Title/Abstract]) OR Healthcare[Title/Abstract])) AND (((((((perceived[Title/Abstract]) OR headache[Title/Abstract]) OR "dry eyes"[Title/Abstract]) OR "dry skin"[Title/Abstract]) OR "mental performance"[Title/Abstract]) OR "work performance"[Title/Abstract]) OR "perceived air quality"[Title/Abstract]) OR airways[Title/Abstract]) OR "staff outcomes"[Title/Abstract]) OR "patient outcomes"[Title/Abstract]) OR "sick leave"[Title/Abstract]) OR fatigue[Title/Abstract]) OR "electrostatic discharge"[Title/Abstract])
```

Figuur 1. Basis zoekstring als uitgangspunten voor de databanken, de overige zoekstrings zijn opgenomen in de Bijlage 1 Zoekstrings.

In een tweede ronde, na consultering van andere experts, is een additionele search gedaan, specifiek op ESD gerelateerd aan schoenen en vloeren. Er is gezocht in Web of Science (4 Februari 2021), waarbij de volgende zoekstring is gebruikt (Figuur 2).

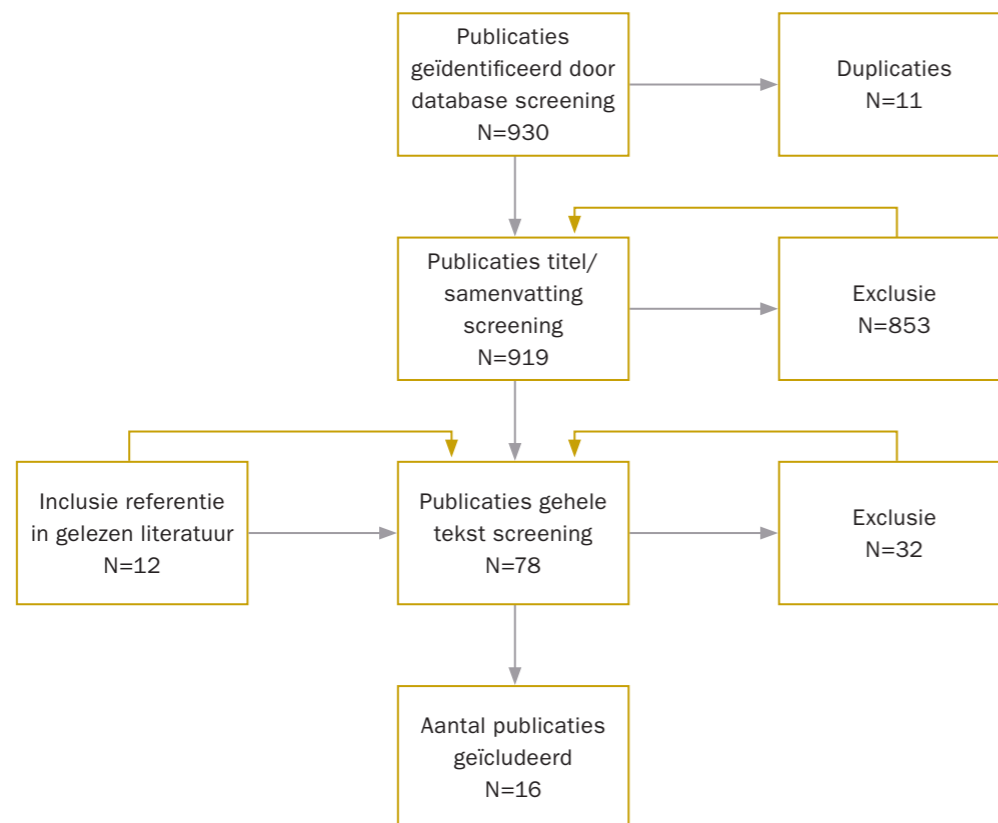
```
((("indoor air humidity") OR "relative humidity") OR "absolute humidity") OR "moisture content") AND (((("flooring") OR "resistance"[Title/Abstract]) OR "electric discharge"[Title/Abstract]) OR "electrostatic"[Title/Abstract]) OR "ESD"[Title/Abstract])
```

Figuur 2. Additionele zoekstring voor onderzoek effect RV op ESD in relatie tot schoenen en vloeren.

STAP 3: SELECTIE STUDIES

In Figuur 2 is een overzicht gegeven van het screening proces van de publicaties verkregen uit de genoemde databanken beschreven bij stap 2. Totaal zijn er 833 publicaties geïdentificeerd. Na het ontdebellen zijn er in totaal 822 publicaties door een projectlid gescreend op titel en samenvatting, waarvan 759 publicaties zijn geëxcludeerd omdat deze niet aansloten op de gestelde onderzoeksvraag. De geëxcludeerde studies waren onder andere gericht op beademing en beademing gerelateerde onderwerpen als bijvoorbeeld mondverzorging, het verspreiden onder dieren en water, en educatie. In de additionele search, met name naar RV en statische elektriciteit, zijn nog eens 97 publicaties geïdentificeerd. Op basis van de titel, en bij een enkel twijfelgeval het abstract, zijn uiteindelijk drie referenties geselecteerd die relevant geacht werden. Hieraan zijn vanuit de referentielijst van deze artikelen drie aanvullende artikelen gevonden en beoordeeld. Specifiek voor de inactivatie van het SARS-CoV-2 virus is een recent beschikbaar gekomen publicatie opgenomen in de lijst.

Totaal zijn er derhalve 78 publicaties volledig gelezen en iedere publicatie is beoordeeld door 2 projectleden om consensus te bereiken over de beoordeling. De artikelen zijn beoordeeld aan de hand van een beoordelingsmatrix op betrouwbaarheid, context, methode, bruikbaarheid van de resultaten en conclusie. Bij de beoordeling is gekeken naar de vraagstelling, type studie, de omgeving waar de studie heeft plaatsgevonden en of de resultaten statistisch onderbouwd zijn. De beoordelingsmatrix is opgenomen in Bijlage 2. Aan de hand van de beoordelingen zijn de inclusie- en exclusiecriteria binnen het projectteam vastgesteld. Publicaties werden geëxcludeerd als het artikel niet in full-text beschikbaar was, op kwaliteit van de studie, als relatieve luchtvochtigheid niet werd benoemd, en op basis van alleen een protocolbeschrijving. Totaal zijn er na de beoordeling 46 publicaties geïnccludeerd.



Figuur 2. Flowdiagram screening proces publicaties

STAP 4: THEMA'S IDENTIFICEREN

Op basis van de geïnccludeerde publicaties is informatie over de thema's in kaart gebracht. De volgende vier thema's zijn benoemd en vastgesteld door het projectteam:

- Relatieve luchtvochtigheid (RV) in relatie tot micro organismen en virussen,
- RV en effect op medisch apparatuur,
- RV en effect op de fysiologische aspecten,
- RV en effect op perceptie/beleving/welzijn en comfort.

De thema's worden in het hoofdstuk resultaten als uitgangspunt gebruikt, en daarmee apart behandeld, om een overzicht te geven van de gevonden literatuur naar de effecten van RV op de aangegeven onderdelen in relatie tot de zorghuisvesting.

HOOFDSTUK 3: RESULTATEN

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de informatie afgeleid uit de geïnccludeerde publicaties naar de effecten van RV op de genoemde aspecten. Eerst wordt er een totaaloverzicht gegeven en daarna worden per thema (zie stap 4 vorige hoofdstuk) de resultaten uit de publicaties beschreven.

De publicaties zijn geordend naar soort studie en per thema. Totaal zijn er negen literatuurstudies geïnccludeerd. Zes van deze literatuurstudies geven informatie over het thema micro-organismen. Vier daarvan geven ook informatie op het thema fysiologische aspecten, twee op het thema medische apparatuur en één literatuurstudie gaat in op het thema gepercipieerd welzijn en comfort. Totaal zijn er acht experimentstudies geïnccludeerd waar de nadruk ligt op studies die betrekking hebben op het thema micro-organismen. Één experimentstudie gaat in op het thema perceptie en beleving. Een studie gaat in op de fysiologische aspecten en perceptie en beleving. Twee casestudies gaan in op het thema welzijn en comfort.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt per thema de relevante informatie vanuit de studies behandeld.

3.1 RV IN RELATIE TOT MICRO ORGANISMEN EN VIRUSSEN

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid beïnvloeden de microbiële groei en kunnen daardoor bijdragen aan een verminderde luchtkwaliteit binnen. Eveneens heeft de relatieve luchtvochtigheid invloed op de infectiebeheersing doordat dit verband houdt met de groei en overdracht van bacteriën in de lucht (Shajahan et al., 2019a) en de inactivatie van virussen. 22 studies zijn geïnccludeerd op het thema micro organismen en virussen, waarvan 11 studies in een ziekenhuisomgeving zijn uitgevoerd of iets zeggen over een ziekenhuisomgeving. Binnen het thema is onderscheid gemaakt in schimmels, bacteriën, virussen, mijten en allergenen. In Tabel 2 zijn de geïnccludeerde studies geordend op basis van de beoordelingsscore met bovenaan de studie met de hoogste score en onderaan de studie met de laagste score (een maximum score van 27 punten is mogelijk). Daarnaast is het soort studie aangegeven en of de studie zoals uitgevoerd statistisch onderbouwd is. In de voetnoot van de tabel wordt toelichting gegeven op de gebruikte symbolen.

Tabel 2. Overzicht resultaten RV en micro organismen en virussen.

Subthema	Score	Omgeving	Type Studie	Micro organismen				
				Schimmels	Bacteriën	Virussen	Mijten	Allergenen
[Dabisch et al., 2021]	24	AC	EXP			RV 20%-70% [T=10-30°C] inactivatie SARS-CoV-2 nauwelijks beïnvloed.		
(Wolkoff, 2018)	23	KO	LS			RV > 40% Virus ↓		
(Shajahan et al., 2019b)	22	ZO	LS	RV > 45%-50% bevordert schimmelgroei	RV > 45%-50% beïnvloedt concentratie bacteriën	T=30°C bij een RV 50% om griepvirussen te beheersen		RV > 45%-50% beïnvloedt concentraties allergenen
(Božić, Ilić, & Ilić, 2019)	21	ZO	CS	→ RV 30% - 40% *	→ RV 30% - 40% *			
(Heutte et al., 2017)	21	ZO	EXP	RV kan worden beschouwd als omgevingsdeterminant van schimmels in de lucht.				
(Pyankov, Bodnev, Pyankova, & Agranovski, 2018)	21	LO	EXP			Overleving neemt af bij hete en droge lucht *		
(Mousavi et al., 2019)Iran	21	ZO	CS	RV 23% - 33% *	coagulase-negatieve staphylococci (68%), Micrococcus, bacillus RV 23% - 33% *			
(Yang, Elankumaran, & Marr, 2012)	20		LO			Influenza virus en de levensvatbaarheid; RV <50% ↑*		
(Lowen & Steel, 2014)	19,5	ONB	EXP			Transmissie tussen gastheren ~100% bij T=5°C en RV 20% -35%		
(Peccia, Werth, Miller, & Hernandez, 2001)	19,5	AC	EXP		Afname inactivatie bij gebruik UV-C bij RV>50%; Natuurlijke inactivatie wordt niet beïnvloed door RV in range 20%-90% *			
(Arundel, Sterling, Biggin, & Sterling, 1986)	18,5	KO/SO	LS	RV> 75% schimmels ↑	RV 40% - 70% minimaliseren	Adenovirus en coxsackie virus RV> 70%	RV < 40%-50%; seizoensgebonden	is afhankelijk van RV in de binnenomgeving
(López-Gigosos, Mariscal, Gutierrez-Bedmar, Mariscal-Lopez, & Fernández-Crehuet, 2014)	18,5	ZO	EXP		Nosocomial bacterie; RV 40% weinig stammen overleven tot 7 dagen. *			
(Reiman et al., 2018)	18,5	SO	CS			Actieve bevochtiging RV 40-60% ↓*		
(Obbard & Fang, 2003)	18	ZO	CS		Airborne bacteria; Er is een correlatie tussen de concentratie van bacteriën in de lucht en de relatieve luchtvochtigheid. *			
(Turner & Salmonsens, 1973)	18	ZO	EXP		Klebsiella; RV 53% - 85% overlevingskans ↓; RV 11% - 33% aantal ↑			

Tabel 2.(vervolg) Overzicht resultaten RV en micro organismen en virussen.

Subthema	Thema	Score	Omgeving	Type Studie	Micro organismen				
					Schimmels	Bacteriën	Virussen	Mijten	Allergenen
(Baurès et al., 2018)		17,5	ZO	EXP	RV 15.7% - 47.9% (winter) en RV 36.7 % - 70,3% (zomer) schimmels ↓*	RV 15.7% - 47.9% (winter) en RV 36.7 % - 70,3% (zomer) bacterien ↓*			
(Kudo et al., 2019)		16,5	ONB	EXP			Influenza A virussen; lage RV (10% -20%)* resulteert in hogere vatbaarheid voor Influenza A Virussen		
(Memarzadeh, 2012)		16	ZO	LS		duidelijke evidentie dat inactivatie gedeeltelijk afhangt van de RV. Binnen normale RV condities in binnenmilieu echter geen effect [influenza].			
(Byber et al., 2016)		15,5	KO	LS			lage vochtigheid en lage temperatuur bevordert het verspreiden van het influenza virus		
(Moriyama, Hugentobler, & Iwasaki, 2020)		14	ALG	LS			→ RV 40 -60%		
(CAREL Industries, n.d.)		5	ZO	WP	→ RV 40% - 60%	→ RV 40% - 60%	→ RV 40% - 60%		
(Asthma Canada, 2016)			ZO	WP			RV > 40% ↓		

Legenda:

- Omgeving ZO: Ziekenhuisomgeving; KO: Kantooromgeving; SO: Schoolomgeving; VO: Vliegtuigomgeving; AC: Aerosol kamer; ONB: Onbekend
- Type studie EXP: experiment; INT: Interventie; CS: Casestudie; LS: literatuurstudie; WP: Whitepaper; ALG: Algemeen
- * Statistische onderbouwing
- ↑ Toename / Groei
- ↓ Afname
- Richtlijn / Advies
- lege velden Niet van toepassing op de studie

3.2 RV EN EFFECT OP MEDISCH APPARATUUR

Het effect van de RV op het functioneren van medische apparatuur is normaal gesproken afhankelijk van het specifieke apparaat en de gebruiksspecificaties die door de fabrikant worden gegeven. In principe zullen voor een correcte (gegarandeerde) werking deze condities moeten worden gerealiseerd. De RV heeft daarnaast effect op de werking van medische apparatuur door de potentie van elektrostatische ontlading (Electrostatic discharge - ESD). Hoewel niet direct tot medische apparatuur gerekend, vormt UV-C een manier om de lucht te zuiveren van micro-organismen en virussen. Zij wordt daarmee wel indirect gerekend tot medische apparatuur. In vier geïncludeerde studies wordt ingegaan op het thema medische apparatuur, drie hiervan specifiek met betrekking tot de elektrostatische ontlading. Voor individuele apparaten wordt verwezen naar de fabrikantspecificaties van de betreffende apparaten. Een samenvatting van de resultaten staat in Tabel 3.

Tabel 3. Overzicht resultaten RV en medische apparatuur.

Thema	Score	Omgeving	Type Studie	Medische apparatuur
Subthema	MAX. 27			Omschrijving
(Peccia et al., 2001)	19,5	AC	EXP	De hoeveelheid UV straling wordt niet beïnvloed door RV in de range 20%-90%*
(Kohani & Pecht, (2016)	19	ZO	LS	→ minimum RV 30% vanwege ESD
(Kohani & Pecht (2018)	18	ZO	LS	RV < 30% risico op ESD ↑ Anesthesie locaties
(CAREL Industries, n.d.)	5		WP	→ RV > 35%

Legenda:

- Omgeving O: Ziekenhuisomgeving; KO: Kantooromgeving; SO: Schoolomgeving; VO: Vliegtuigomgeving; DC: Data Centre
- Type studie EXP: experiment; INT: Interventie; CS: Casestudie; LS: literatuurstudie; WP: Whitepaper; RL: Richtlijn
- * Statistische onderbouwing
- ↑ Toename
- ↓ Afname
- Richtlijn / Advies
- lege velden Niet van toepassing op de studie

3.3 RV EN EFFECT OP FYSIOLOGISCHE ASPECTEN

Uit de review zijn 13 studies geïncludeerd op het thema fysiologische aspecten. Hiervan zijn vier studies gerelateerd aan een ziekenhuisomgeving. Binnen het thema is onderscheid gemaakt in algemene klachten, neusklachten, oogklachten, huidklachten, luchtwegklachten, niezen en hoofdpijn. In Tabel 4 zijn de geïncludeerde studies geordend op basis van de score met bovenaan de studie met de hoogste score en onderaan de studie met de laagste score. Zo scoort Sunwoo, Chou, Takeshita, Murakami, & Tojihara (2006) met 25 de meeste punten. Uit deze studie komt dat bij een RV waarde < 30% er bij ouderen een significante verslechtering van bescherming van het neusslijmvlies plaatsvindt. Waar hier informatie over beschikbaar is, is ook een aanduiding gegeven van de duur van de periode waarover is gemeten en indien enkel perceptie is gemeten en op welke wijze dat is gedaan (over de periode of right-now).

Tabel 4. Overzicht resultaten RV en fysiologische aspecten.

Thema	Score	Omgeving	Type Studie	Fysiologische aspecten							
				Subthema	MAX. 27	Algemeen	Neusklachten	Oogklachten	Huidklachten	Luchtwegklachten	Niezen
(Sunwoo et al., 2006)	25	ONB	EXP 3uu			RV > 10% ↓* voor ouderen	RV > 30% ↓* voor ouderen	RV > 30% ↓* voor ouderen			
(Nordstrom et al., 1994)	24	ZO	INT 4ma (R)	→ RV 30% - 40% *							
(Norbäck, Wieslander, Nordström, Walinder, & Venge, 2000)	24	ZO	INT 6we (R)					RV 30% -40% ↓ tov RV 20%-30%; → RV 35%-43%*			
(Wolkoff, 2018)	23	KO	LS			RV 5% - 30% ↑		RV 5% - 30% ↑			
(Nordstrom et al., 1995)	22,5	KO	CS 3we (R)	Slijmvliesirritatie; huid symptomen; oogklachten kwamen voor bij personen met hoge mate van stress; hoofdpijn*							
(Takei, Denda, Kumamoto, & Denda, 2013)	22	ONB	EXP					RV 10% ↑ (cortisol productie)* referentie situatie RV = 100%			
(Loomans & Cox, 2001)	20	VO	LS					RV > 40% symptomen ↓			
(Reinikainen & Jaakkola, 2003)	20	KO	INT 1we		Bevochtigings condities RV 27% - 41% ↓*			RV 20 - 32% (niet bevochtigd)	Bevochtigde conditie RV 27% - 41% ↑*		
(Arundel et al., 1986)	18,5	KO/SO	LS	RV 40%-60%							
(Hawkins, 1981)	17,5	KO	INT 3ma	RV 66% - 80% oncomfortabel							RV 65% geen klachten *
(Byber et al., 2016)	15,5	KO	LS			Laag bevochtigings-niveau (5 - 30%) (Wolkoff, 2008)					
(CAREL Industries, n.d.)	5	ZO	WP	→ RV 40% -60%							
(Asthma Canada, 2016)		ZO	WP					→ RV 40% -60%			

Legenda:

Omgeving ZO: Ziekenhuisomgeving; KO: Kantooromgeving; SO: Schoolomgeving; VO: Vliegtuigomgeving; ONB: Onbekend

Type studie EXP: experiment; INT: Interventie; CS: Casestudie; LS: literatuurstudie; WP: Whitepaper; uu: uur; da: dag; we: week; ma: maand; (R) perceptie/ medische informatie over de periode; (RN) right-now perceptie

* Statistische onderbouwing

↑ Toename

↓ Afname

→ Richtlijn / Advies

lege velden Niet van toepassing op de studie

3.4 RV EN EFFECT OP GEPERCIPIEERD WELZIEN EN COMFORT

Op het vierde thema over welzijn en comfort zijn uiteindelijk 16 studies geïncludeerd. Hiervan zijn vijf studies specifiek gerelateerd aan een zorgomgeving. Binnen het thema is nog onderscheid gemaakt in klachten als (gepercipieerde) vermoeidheid, concentratie, misselijkheid en stress en prestatie/productiviteit, droge lucht, comfort. Dit is gebaseerd op de aspecten die genoemd worden in de verschillende studies. In Tabel 5 zijn de geïncludeerde studies geordend, van hoog naar laag, naar de beoordeelde score van de kwaliteit van de studie.

Tabel 5. Overzicht resultaten RV en gepercipieerd welzijn en comfort.

Thema	Score	Omgeving	Type Studie	Gepercipieerd welzijn en comfort										
				Vermoeidheid	Concentratie	Prestaties / productiviteit	Droge lucht	Comfortabel	Geur	Misselijkheid	Stress	Elektrische ontlading/ elektrische schok		
[Kohani et al., 2020]	26	ZO	EXP											Effect RV [10%, 20%, 30%] bij handelingen in ziekenhuis (opstaan bed, overbrengen patient op bed). Advies: ≥30% RV in ziekenhuizen. (apparaat: 25kV voltage limiet voor ESD ipv 15 kV.)
[Endo et al. 2019]	25	ZO	EXP											Effect RV [10% 30% 50%] bij verschonen bed. Effect ESD op ontbranding alcohol-gebaseerde handreiniging op metalen objecten [6-16 kV]. Polyester beddenkleding ook bij RV 50% in staat tot opbouw spanning >6kV (ondergrens ESD schok). Katoen geen probleem bij 30%. Ontbranding mogelijk bij 25-30°C oppervlak en >10kV. Bij opgedroogde handen geen probleem.
(Sunwoo et al., 2006)	25	ONB	EXP 3uu				droge ogen verschil jong-oud (jong ↓*) droge keel RV 50% tov 10% ↓*	Geen verschil whole body (10%, 30%, 50%; jong-oud). Wel koeler bij start experiment bij RV 10%*						
[Talebzadeh et al., 2015]	25	DC	EXP											Twee condities (27°C, 8%; 27°C, 45%); Enkel geleidende vloer en dissipatief schoeisel leidt tot voldoende korte ontladingstijd (1-3 sec)
[Talebzadeh et al., 2016]	25	DC	EXP											Vergelijkbaar aan Talebzadeh et al. (2015). Meer typen schoeisel en vloeren onderzocht. Uitkomsten vergelijkbaar.
(Nordstrom et al., 1994)	24	ZO	INT 4ma (R)				→RV 40% - 60%*		→RV 40% - 60%*					
(Norbäck et al., 2000)	24	ZO	INT 6we (R)				RV 30% -40% ↓ tov RV 20%-30%; RV 35%-43%*							
(Fang, Clausen, & Fanger, 2004)	21,75	KO	EXP			lage T en RV beïnvloeden *								
[Mahdi et al., 2014]	20,5	DC	EXP											Twee condities (15%, 15°C en 50%, 27°C). Risico nagenoeg verwaarloosbaar bij geleidende vloer en schoeisel. RV ↓ risico ↑ bij andere situaties (vloer/ schoeisel).
(Reinikainen & Jaakkola, 2003)	20	KO	INT 1we						Humidified condition RV 30% - 40% ↑*					

Tabel 5.(vervolg) Overzicht resultaten RV en gepercipieerd welzijn en comfort.

Thema	Score	Omgeving	Type Studie	Gepercipieerd welzijn en comfort								
Subthema	MAX. 27			Vermoeidheid	Concentratie	Prestaties / productiviteit	Droge lucht	Comfortabel	Geur	Misselijkheid	Stress	Elektrisch ontlading/Elektrisch schok
(Skoog, 2006)	20	ZO	CS (RN)				RV 16% Staff; RV 22% patients (winter); RV 43% staff; RV 46% patients (zomer)*					
(Takada, 2020)	20		EXP 2:40uu				RV 30% tov RV 10% ↓*(voor individuele gevallen)					
(Hall & Dusseldorp, 2008)	19,5		LS	T = 26°C / RV 60%; T 20°C/ RV 40%	T = 26°C / RV 60%; T 20°C/ RV 40%							
(Kallio et al., 2020)	19	SO & KO	CS 7ma			Wordt relatie gelegd. Geen specifieke waarde voor RV genoemd.						
(Razjouyan et al., 2020)	18	KO	CS 3da				RV < 30% ↑*	→ RV 30% - 60%*			RV < 30%; RV > 60% ↑*	
(Hawkins, 1981)	17,5	KO	INT 3ma							RV >50% ↑*		
(CAREL Industries, n.d.)	5		WP									RV > 35% ↑

Legenda:

Omgeving ZO: Ziekenhuisomgeving; KO: Kantooromgeving; SO: Schoolomgeving; VO: Vliegtuigomgeving; ONB: Onbekend

Type studie EXP: experiment; INT: Interventie; CS: Casestudie; LS: literatuurstudie; WP: Whitepaper; uu: uur; da: dag; we: week; ma: maand; (R) perceptie/medische informatie over de periode; (RN) right-now perceptie

* Statistische onderbouwing

↑ Toename

↓ Afname

→ Richtlijn / Advies

(Nx) Aantal x hoger of lager

lege velden Niet van toepassing op de studie

HOOFDSTUK 4: DISCUSSIE

Het doel van de literatuurstudie zoals beschreven in dit rapport was om te achterhalen welke waarde(s) voor de relatieve vochtigheid wenselijk zijn om de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel in zorghuisvestinggebouwen te kunnen waarborgen. Hiervoor zijn vier thema's gehanteerd die deze wens voor veiligheid en comfort samenvatten. Bij veiligheid kan hierbij ondermeer gedacht worden aan de apparatuur die wordt gebruikt bij patiënten, maar ook de aanwezigheid van micro-organismen en virussen. Bij comfort kan hierbij gedacht worden aan het gepercipieerde (thermische) comfort en elektrostatische ontlading, maar ook fysiologische aspecten die dit comfort en mogelijk genezing kunnen beïnvloeden. Dit steeds vanuit het oogpunt van de condities voor de RV.

In hoofdstuk 3 is aan de hand van de verschillende thema's in kaart gebracht wat er in de literatuur bekend is over de invloed van de RV op micro-organismen en virussen, medische apparatuur, fysiologische aspecten en welzijn en comfort. Echter, het overzicht van de geïncludeerde studies laat ook zien dat de RV vaak niet afzonderlijk, maar in een combinatie met verschillende andere aspecten wordt onderzocht. Onderzoek waarbij de RV als afzonderlijke parameter is onderzocht is beperkt en soms heel case specifiek (Mousavi et al., 2019). In dit hoofdstuk zullen de in de literatuur gevonden gegevens nader bediscussieerd worden. Hierbij wordt ingegaan op de specifieke RV range die per thema als meest wenselijk wordt geacht, voor zover de verkregen informatie zo een uitspraak mogelijk maakt.

Vanuit het oogpunt van micro-organismen is er een afhankelijkheid van het type organisme. Biologische verontreiniging wordt meestal veroorzaakt door schimmels en bacteriën, waarbij de beschikbaarheid van een voedingsbron, bijvoorbeeld stofdeeltjes die voedingsbestanddelen bevatten voor micro-organismen, relevant is voor schimmels en bacteriën. Bij virussen is de mens zelf een geschikte 'gastheer' voor ontvangst. Buiten de gastheer, bepalen de condities zoals temperatuur en relatieve vochtigheid de overlevingskansen van een virus. In de studie van Arundel et al. (1986) concluderen zij dat in omgevingen met een hoog ventilatievoud de RV waarschijnlijk weinig tot geen effect heeft op de incidentie van infectieziekten. De hoogte van dit ventilatievoud, dat een relatie heeft met het infectierisico, wordt met name bepaald door de overdrachtsmechanismen van bijvoorbeeld een bepaald virus. Hierbij wordt verondersteld dat de aerogene transmissieroute een rol speelt en dat de verdunning ten gevolge van het hoge ventilatievoud de kans op besmetting klein maakt. 'Klein' wordt in deze studie hierbij niet gekwantificeerd. Dit staat los van de wijze van bevochtiging die in zichzelf een potentiële bron kan zijn, afhankelijk van het type bevochtiging en het noodzakelijke en regelmatige onderhoud. In deze studie wordt hier niet verder op ingegaan. Hier betreft het enkel de RV in de ruimte en hoe deze kan bijdragen aan het verminderen, in standhouden of vermeerderen van de concentratie aan biologische verontreiniging. Wanneer de bron zich in de bevochtigings- of een filtersectie van de installatie bevindt zal dit effect hebben op de potentiële biologische verontreiniging die in de ruimte wordt gebracht. Ontwerp, uitvoering en onderhoud zijn hierbij dus belangrijk. Er zal een relatie zijn met het gehanteerde ventilatievoud maar dit is ook zeer afhankelijk van het ontwerp van het totale systeem en zou, in geval een bron wordt verondersteld, ter plaatse moeten worden gemeten, en eventueel aangepakt. Richtlijnen zoals ISSO 55.3, VDI 6022 en/of VLA¹, voor het goed ontwerpen en onderhouden van installaties, zijn de aangewezen referenties om de kans hierop te reduceren.

Een algemene richtlijn is dat lage en hoge RV-waardes vermeden moeten worden, echter inactivatie en groei is van verschillende aspecten afhankelijk. Voor schimmels is een hoge RV per definitie te vermijden (Shajahan et al., 2019b). Een RV waarde hoger dan 45% bevordert de schimmelgroei en, afhankelijk van de soort, beïnvloedt de concentraties van allergenen en bacteriën (Shajahan et al., 2019a).

Voor bacteriën en virussen is dit niet altijd het geval. Voor infectiebeheersing wordt aangegeven dat lage RV waardes en koude omstandigheden de overleving en overdracht van bepaalde influenzavirussen, zoals het respiratoir syncytieel (RS) virus, humane rhinovirus en het aviaire influenzavirus bevorderen (Byber et al., 2016; Lowen & Steel, 2014; Wolkoff, 2018). Dit heeft te maken met hoe de wand van het virus is opgebouwd (lipid containing). Lipid containing virussen geven de voorkeur aan lage RV waardes.

¹ Vereniging Leveranciers van Luchttechnische Apparaten, 2019, 'Bestek onderhoud en beheer ventilatie'.

Ter illustratie, voor SARS-CoV-2 zijn inmiddels studies verschenen die meer duidelijkheid geven over de inactivatie als functie van de temperatuur en de relatieve vochtigheid. Door Dabisch et al. (2021) zijn metingen uitgevoerd naar het effect van temperatuur, RV en zonlicht op de inactivatie van het virus. Deze resultaten laten zien dat het effect van RV beperkt is tussen 20% en 70% voor temperaturen die normaal gesproken in gebouwen (ca. 20°C) worden gehanteerd. Interessant is dat ook een vergelijkbaar effect wordt gemaakt met het absolute vochtgehalte. De afgeleide resultaten leveren een vergelijkbare inactivatie snelheid op en dus beide kunnen gebruikt worden. Zonlicht (UV) heeft een veel sterker effect dan de RV (orde grootte factor 10).

De RV heeft daarnaast nog invloed op de afname van de grootte van druppeltjes die geproduceerd worden wanneer we ademen, praten, hoesten, etc. Als functie van de RV zal er verdamping optreden en zullen de druppeltjes snel (enkele seconden) kleiner worden. Daardoor zullen zij langer in de lucht kunnen blijven zweven. Deze worden aerosolen genoemd. Afhankelijk van de situatie kunnen aerosolen langere tijd in de lucht blijven zweven. Hoe kleiner, hoe minder snel er depositie zal plaatsvinden, en verdunning enkel via ventilatie gerealiseerd kan worden. Uit de analyse van (Marr, Tang, Van Mullekom, & Lakdawala, 2019) blijkt dat verdamping van druppeltjes, wanneer deze worden geproduceerd, binnen enkele seconden plaatsvindt en dat het druppeltje dan een eindwaarde bereikt van ongeveer 30% van de oorspronkelijke afmeting. De mate waarin de geproduceerde druppels verdampen is afhankelijk van de samenstelling. Zij bevatten onder andere eiwitten en zouten. De studie laat ook zien dat evenwicht ongeveer bij een RV < 70% wordt bereikt. Bij lagere waardes voor de RV is er geen additioneel effect meer op de verdamping.

Waar de half-life van een virus direct wordt beïnvloed door RV en temperatuur, bepaalt de tijdsduur waarover er sprake is van blootstelling aan een hoge RV en de mogelijkheid van drogen op andere momenten de ontwikkeling van schimmels (time-of-wetness (Adan, 1994)).

Een RV waarde om de potentiële en gemiddelde concentratie van micro-organismen en virussen te beperken ligt tussen de 40% - 60%. Božić et al. (2019) komt in zijn studie tot een meer beperkte range van 30% - 40%. Dit omdat naarmate de RV waarde toeneemt ook de concentratie van schimmels en bacteriën, en de gerelateerde toxines, toenemen. Dit heeft invloed op de microbiële luchtkwaliteit en is daarmee van invloed op een gezond binnenklimaat. Wordt gebruik gemaakt van UV-C straling voor inactivatie van micro-organismen en virussen, dan toont (Peccia et al., 2001) aan, voor bacteriën, dat RV-waardes hoger dan 50% een negatief effect hebben op dit inactivatie mechanisme.

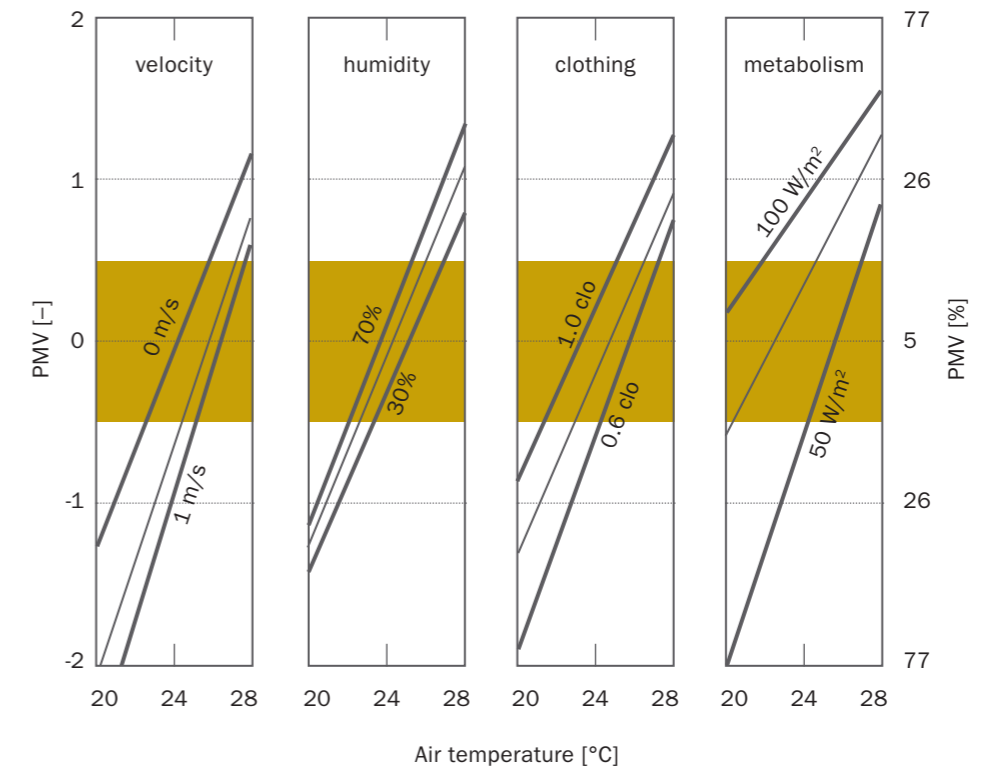
De studies van (Kohani & Pecht, 2018; 2015) tonen aan dat in ruimtes waar gevoelige elektronische (medische) apparaten aanwezig zijn aandacht nodig is voor de RV waarde. In ASHRAE Standard 170 wordt een RV waarde van 20% aangehouden. Echter, in storingsrapporten van defecte apparatuur werd expliciet aangegeven dat problemen al optraden bij een RV waarde lager dan 30% (Kohani & Pecht, 2018). De storingsrapporten zijn opgehaald uit de MAUDE database, waarvan in totaal 1342 rapporten werden gerelateerd aan ESD. In de studie van (Kohani & Pecht, 2018) constateerden zij dat het aantal ESD storingen tijdens de koude maanden bijna 6 keer hoger was dan in de zomermaanden. In sommige ESD storingsmeldingen werd expliciet vermeld dat de RV waarde lager was dan 30% (Kohani & Pecht, 2018). Het verder verlagen van de RV waarde kan het risico op ESD verhogen. Dit heeft te maken met het feit dat er een hogere elektrostatische lading opgebouwd kan worden bij een lage RV waarde (Kohani & Pecht, 2016). In de richtlijnen voor medische apparatuur zijn specificaties opgenomen voor de minimale RV waarde. Dit is meestal bij een RV waarde van 30% om de opbouw van lading en de daaruit voortvloeiende ESD storingen van het apparaat te minimaliseren (Kohani & Pecht, 2018) (Kohani & Pecht, 2016).

In het algemeen zijn de richtlijnen voor RV meer gericht op infectieoverdracht dan op ESD storingen van apparatuur (Memarzadeh, 2012). Los van ESD, wordt ten aanzien van minimumeisen aan de RV voor medische apparatuur met name verwezen naar de specificaties van de betreffende apparatuur. Uit anekdotische informatie vanuit de praktijk blijkt dat een te lage RV, onder de gestelde eis in de specificaties, kan leiden tot het niet goed werken van de apparatuur. Een voorbeeld hiervan betreft het ontstaan van spikes bij beeldvormende technieken zoals MRI en CT. Ook bij andere apparatuur kunnen mogelijk storingen ontstaan. In dat verband zijn de minimum waarden zoals gesteld in de specificaties leidend boven de in de literatuur gevonden minimum eisen ten aanzien van de RV. Voor het functioneren van UV-C systemen is de invloed

van RV beperkt (Peccia et al., 2001).

Fysiologische symptomen als droge ogen, neusklachten en luchtwegklachten kunnen worden veroorzaakt door een lage RV. Oogklachten en luchtwegklachten nemen toe bij een RV waarde lager dan 30% (Wolkoff, 2018). (Norbäck et al., 2000) toont in zijn studie aan dat bij een RV waarde tussen 30% - 40% de huidklachten en luchtwegklachten afnemen ten opzichte van een RV waarde van 20 -30%. De studie van (Sunwoo et al., 2006) is interessant omdat hierin zowel meerdere fysiologische aspecten als ook het verschil tussen een jongere (~20 jaar) en een oudere populatie (~70 jaar) wordt vergeleken, dit naast gepercipieerde ervaringen. Het belangrijkste onderscheid wordt gevonden in het functioneren van het neusslijmvlies. Dit is bij ouderen bij een RV van 10% significant minder dan dat bij jongeren, ten opzichte van de pre-conditie situatie. Bij RV lager dan 30% worden ogen (frequentie knipperen) en huid (hydratie status) droog. (Sunwoo et al., 2006) concluderen derhalve dat het wenselijk is de RV >30% te houden, met een specifieke opmerking om hiervoor te zorgen in ziekenhuizen en zorghuisvesting voor ouderen. Het onderzoek van bijvoorbeeld (Sunwoo et al., 2006), vaak klimaatkameronderzoek waar zeer gecontroleerd interventies worden uitgevoerd en onderzocht, is zeer interessant voor de context van deze literatuurstudie. Echter, er zit ook een belangrijke beperking aan dergelijke onderzoeken, de tijdsduur van blootstelling aan een lage RV. Vaak is deze beperkt tot enkele uren en wordt hierover in de studies weinig informatie gegeven. In (Sunwoo et al., 2006) laten enkele grafieken een situatie zien die enigszins op een stabiele situatie lijken te duiden. Echter, dit is maar voor 3 uur en er zit nog de nodige variatie rondom de gepresenteerde resultaten. Het betreffende onderzoek maakt overigens een vergelijk met een vergelijkbaar onderzoek van 2 uur en wil met het eigen onderzoek de wintersituatie, met verwarming, representeren. De vraag is of dat met 3 uur realistisch is. Omdat in een zorghuisvestingomgeving blootstelling aan de meeste kritische personen (de patiënten) lang verondersteld mag worden (meerdere dagen), lijkt het wenselijk om een RV waarde van tenminste 30% als ondergrens aan te houden.

Het binnenklimaat van een gebouw heeft effect op het welzijn en comfort van de gebruikers. Dit is enerzijds afhankelijk van persoonlijke variabelen zoals individuele metabolisme, kledingvoorkeuren en activiteiten, maar wordt ook beïnvloed door de omgeving waar de gebruiker zich bevindt. Op het gebied van thermisch comfort, bepaald op basis van de Predicted Mean Vote (PMV) zoals ontwikkeld door Fanger (1970), is de gevoeligheid van de RV beperkt (zie Figuur 3). Enkele significante effecten ten aanzien van gepercipieerde drogen ogen en een droge keel zijn gevonden door (Sunwoo et al., 2006). Zij concluderen op basis van de resultaten desondanks wel dat ouderen een vertraagde reactie hebben wanneer het gaat om het ervaren van droge lucht. Dit als gevolg van een leeftijd-gerelateerde degeneratie van de perceptie van thermische and hygrische veranderingen. In het algemeen lijken significante effecten van de RV op de perceptie van droge lucht beperkt te blijven (Takada, 2020). Echter de onderzoeker concludeert ook dat individuele parameters effect kunnen hebben op deze perceptie. Een conditie van 30% RV levert daarbij een betere uitkomst op dan 10% RV.



Figuur 3. Gevoeligheid van PMV voor variatie in snelheid, relatieve vochtigheid, kledingweerstand en metabolisme als functie van de homogene luchttemperatuur ($T_{mrt} = T_{air}$). Voor elke variabele worden drie lijnen getoond. De dikke lijnen geven het resultaat voor het aangegeven bereik van de onderzochte variabele en de dunne lijn het resultaat voor de mediaanwaarde. Wanneer de variabele niet wordt gewijzigd is een constante waarde gebruikt: $u = 0,1 \text{ m/s}$, $RV = 50\%$, $I_{clo} = 0,8 \text{ clo}$, $M = 58,2 \text{ W/m}^2$. De corresponderende PPD-waarde (Percentage of Dissatisfied is aangegeven op de buitenste rechters (niet-lineaire schaal)(Loomans, 1998).

In het algemeen kan gesteld worden dat veel onderzoek ten aanzien van perceptie het niet goed mogelijk maakt om inzicht te krijgen in bijvoorbeeld het effect van de geografische ligging en het bijbehorende klimaat, en daarmee cultuur en de verwachtingen. De studie van (Skoog, 2006) laat bijvoorbeeld zien dat in een Zweeds klimaat een gemiddelde relatieve vochtigheid van 20% in de winter als redelijk acceptabel wordt beschouwd. Onduidelijk is hoe representatief dit is voor een ander klimaat, bijvoorbeeld in Nederland.

Het binnenklimaat kan ook effect hebben op de werkprestaties en productiviteit van gebruikers. In de studie van Razjouyan et al. (2020) is aangetoond dat individuen in droge ($RV < 30\%$) en vochtige werkomstandigheden ($RV > 60\%$) hogere stressreacties ondervonden dan in de groep met een RV waarde tussen de 30% - 60%. Daarbij is gevonden dat stressreacties rond een RV waarde van 45% minimaliseren. Dit is feitelijk een fysiologische reactie die ook in de studie van (Takei et al., 2013), met behulp van een huidmodel, wordt aangetoond. In zijn studie wordt het effect van RV op de productie van cortisol aangetoond. Bij een RV waarde van 10% is de cortisol afgifte in de huid (epidermis) enkele malen hoger dan bij een RV waarde van 100%. Uitgaande van de gehanteerde methode geven de onderzoekers aan dat de uitkomsten met name van belang zijn voor personen met specifieke huidziekten, bijvoorbeeld atopie dermatitis en psoriasis.

Een ander welzijn/comfort aspect wordt onderzocht in de studie van bijvoorbeeld (Kohani et al., 2020). Dit betreft de opbouw van het voltage (elektrostatisch laden) in personen als functie van specifieke activiteiten, in dit geval gerelateerd aan een ziekenhuisomgeving. Dat geldt ook voor de experimenten van (Endo, Ohsawa, & Yamaguma, 2019) die hebben gekeken naar het verschonen van beddegoed en de mogelijke ontbranding van handreinigers gebaseerd op alcohol. De keuze van het materiaal van het beddegoed blijkt relevanter dan de RV. Een RV van 30% levert geen problemen op bij gebruik van katoenen materiaal. Polyester dient vermeden te worden. Een voltage van 6 kV of hoger dient vermeden te worden. Drogen van handen na reiniging is belangrijk om de kans op mogelijke ontbranding te vermijden. Vergelijkbaar onderzoek is beschikbaar via bijvoorbeeld (Talebzadeh, Moradian, Han, Swenson, & Pommerenke, 2015) maar heeft als uitgangspunt datacentres en onderzoekt bijvoorbeeld het effect van het uitdoen van een trui of opstaan van een stoel. Ook dit zijn activiteiten die voorkomen in een ziekenhuisomgeving. Deze studies laten het belang zien van het gebruik van een (enigszins) geleidende vloer en dissipatief schoeisel. Zelfs bij lage RV zal dat dan normaal gesproken niet tot problemen (ongewenste of hinderlijke ontlading) leiden. In alle andere gevallen kan ESD optreden. Vanuit de studie van (Kohani et al., 2020) wordt aanbevolen om voor ziekenhuisomgevingen ten minste een RV van 30% aan te houden. Voor medische apparatuur wordt aanbevolen om het maximum voltage voor het testen op ESD te verhogen van 15 kV naar 25 kV. Dit omdat de studie laat zien dat hogere waarden dan 15 kV kunnen worden bereikt voor de onderzochte situaties.

In de analyse van de literatuur ten aanzien van RV en zorghuisvesting komt ook de naam van Stephanie Taylor regelmatig naar voren. Op basis van haar onderzoek propageert zij een set-point van de RV tussen 40-60% voor een zorghuisvestingomgeving. Dit op basis van een longitudinale (lange duur) studie naar, niet verder gespecificeerde, ziekenhuisinfecties (Taylor & Hugentobler, 2016) en infecties en andere medische gebeurtenissen in een verpleeghuis (Taylor & Tasi, 2018). Het zwakke punt van deze studies is dat zij veel worden aangehaald in de meer populaire publicaties (met name de ziekenhuisstudie), maar dat een beschrijving van de onderzoeken enkel in een tweetal conferentie papers is teruggevonden en niet daadwerkelijk is gepubliceerd in een wetenschappelijk journal. De beschrijving van het onderzoek daarin is relatief beperkt. Voor de verpleeghuissituatie worden statistisch significante verschillen gevonden voor infecties van de bovenste luchtwegen en maagdarminfecties bij een RV<40%. Naast dat de gehanteerde test daarvoor niet correct is, laat een grafische weergave zien dat voor de genoemde infecties pas bij RV<30% een daadwerkelijk toename zichtbaar is. In dit geval is de RV bepaald op basis van de buitencondities en de binnentemperatuur. Verder ontbreken in de beschrijvingen gegevens ten aanzien van bijvoorbeeld de temperatuur of het ventilatievoud. Bij het ziekenhuisonderzoek zijn meerdere parameters gemeten, maar is weinig informatie beschikbaar over de resultaten van de analyse. Ook is onduidelijk of er sprake is van andere mogelijke versturende variabelen, zoals het aantal infecties buiten het ziekenhuis of ziekenhuispersoneel dat een infectie heeft. Hoewel de studies interessant zijn en in principe in opzet toetsen op belangrijke prestatie indicatoren in een zorghuisvestingsomgeving is door de onvolledige informatie de kwaliteit moeilijk te bepalen. Vanuit de publicaties van Taylor et al. zijn in de referentielijst referenties gevonden die wel zijn meegenomen in het literatuuronderzoek.

Het aanwezig zijn in een droge of vochtige ruimte kan ook indirecte effecten opleveren. Zoals bijvoorbeeld een lagere slaapkwaliteit, echter is hier meer onderbouwing voor nodig (Razjouyan et al., 2020; Wolkoff, 2018). Slaapkwaliteit kan worden uitgedrukt in onder andere slaapduur, moment van in slaap vallen en het aantal momenten van ontwaken gedurende de slaaperiode.

Figuur 4 geeft een overzicht van de waarden voor de relatieve vochtigheid zoals die uit de literatuur kunnen worden samengevat. De figuur maakt duidelijk dat er geen eenduidige conclusie kan worden gegeven ten aanzien van welke RV waarde er in een zorggebouw gehanteerd moet worden om op ieder thema een optimale conditie te verkrijgen. Ofwel, specifieke onderdelen kennen een voorkeur voor een specifieke RV-range. Duidelijk is dat hoge waarden (RV>60-70%) vermeden moeten worden. De ondergrens voor de RV kan vanuit de mens geredeneerd (perceptie en fysiologische aspecten) op basis van de beschikbare gegevens op 30% worden gesteld. Er is echter weinig onderzoek beschikbaar dat specifiek ingaat op de RV in zorghuisvesting en het type gebruik (functies) in dat soort huisvesting.

RV waarden	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Micro-organismen											
Medische apparatuur											
Fysiologische aspecten				5-30%							
Perceptie en beleving											

Figuur 4. Overzicht RV waardes per thema. Het grijze vlak geeft de range voor de gewenste waarde voor de relatieve vochtigheid aan. De grijze vlakken geven geen demarcatie aan de hoge RV-waarde van het vlak omdat hiervoor geen expliciete gegevens beschikbaar zijn, ofwel dit is niet specifiek onderzocht. De lichtoranje vlakken geven aan dat bij een RV < 30% dit een negatieve invloed heeft op de fysiologische aspecten en perceptie en beleving.

De wens om te komen tot harde en duidelijke eisen is logisch. Echter, de literatuur laat het op dit moment niet toe om zulke uitspraken verantwoord en onderbouwd te kunnen doen. De beschikbare kennis daarvoor is onvolledig. Daarom is uiteindelijk gekozen voor een minimum RV waarde die op basis van het beschikbare onderzoek vastgesteld kan worden. Een maximum-waarde kan om die reden in dit rapport niet worden gegeven.

Het is duidelijk dat er zeker nog een kennislacune is en daarmee behoefte aan aanvullend onderzoek om hier verdere stappen te kunnen maken. In het kader van bevochtigen lijkt de minimum-eis voor de RV in dit stadium echter het meest belangrijk.

Uitgaande van het feit dat in zorghuisvesting een oververtegenwoordiging wordt verondersteld van mensen met een hoger risico voor klachten gerelateerd aan de RV en aangezien sprake zal zijn van een langere verblijftijd (orde van dagen en langer) is het wellicht wenselijk om iets hogere waarden na te streven. Echter, de onderbouwing hiervoor kan niet in de huidige literatuur worden gevonden. Voor ESD bij medische apparatuur is volgens de literatuurgegevens een RV van tenminste 30% een wenselijke waarde, maar hier zullen normaal gesproken de specificaties van de fabrikant leidend zijn.

HOOFDSTUK 5: CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Bevochtiging is een specifiek onderdeel in de luchtbehandeling van zorggebouwen. Dit heeft invloed op het energieverbruik en heeft de aandacht nodig bij het ontwerp van een zorggebouw. Echter, dit mag niet ten koste gaan van de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel. De volgende vraag is in deze literatuurstudie onderzocht:

Wat is de noodzaak van bevochtiging in ziekenhuizen vanuit het oogpunt van de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel en is er een onderscheid in functies?

De termen veiligheid en comfort zijn hierbij meer expliciet gemaakt met behulp van een viertal thema's. In het algemeen kan er gesteld worden dat er slechts zeer beperkt literatuur beschikbaar is over het onderwerp RV dat in gaat op zorghuisvesting en de specifieke karakteristieken en gebruikers van dit type gebouwen. Reflecterend op de geraadpleegde literatuur is er nagenoeg geen onderbouwing gevonden die leiden tot het vaststellen van strikte RV-grenswaarden voor specifieke functies in ziekenhuizen en RV in relatie tot medisch handelen. Dat wil niet zeggen dat zulke grenswaarden niet bestaan, enkel dat het geïdentificeerde onderzoek hier tot op dit moment geen uitsluitend over geeft.

Figuur 4 laat voor het thema micro-organismen en virussen een brede RV range zien. Dit komt doordat er een afhankelijkheid is naar het type organisme of virus. Inactivatie en groei is afhankelijk van verschillende aspecten en een bovengrens is niet duidelijk vast te stellen. Voor RV in relatie tot medische apparatuur wordt een ondergrens van 30% voorgesteld, hoewel apparatuur specificaties hierin leidend blijven. Lagere waarden kunnen resulteren in een verhoogde kans op ESD. Heel specifiek voor UV-C lijkt een RV >50% bij te dragen aan een verminderde inactivatie bij toepassing van een dergelijk systeem. Fysiologische symptomen lijken met name te worden veroorzaakt door een lage RV. Oogklachten en luchtwegklachten nemen bijvoorbeeld af bij een RV tussen 30% - 40% en hoger. Een RV tussen de 30% - 60% lijkt acceptabel voor het welzijn en comfort. Bij een RV lager dan 30% wordt de lucht als droog ervaren en wordt aangegeven dat dit invloed heeft op de prestaties. Voor ESD bij personen is het materiaalgebruik een belangrijk onderwerp om de kans daarop te verkleinen.

Hoewel de kwantitatieve onderbouwing vanuit de literatuur beperkt is, lijkt op basis van de verkregen informatie een ondergrens voor de RV van ten minste 30% wenselijk, gekeken naar de thema's medische apparatuur, fysiologische aspecten en welzijn en comfort. Voor micro-organismen en virussen is geen relatie gevonden tussen het ontstaan van infecties en de RV. Dit ligt ondermeer aan het feit dat blootstelling wordt bepaald door veel meer aspecten dan enkel de RV. Denk hierbij onder andere aan de dosis-respons. Wel zijn er studies die aangeven in welke RV-gebied micro-organismen en virussen beter en minder goed actief kunnen blijven.

De genoemde ondergrens is indicatief en gebaseerd op de interpretatie van de geïncorporeerde studies. Er is geen eenduidig optimum voor alle vier de thema's. Een bovengrens kan niet worden geadviseerd op basis van de beschikbare gegevens. Voor micro-organismen en virussen geldt hierbij dat dit individueel en verschillend is. Er is slechts zeer beperkt informatie beschikbaar over de effecten van een hogere RV voor de andere thema's. De interesse in het overgrote deel van het beschikbare onderzoek ligt bij lage waardes voor de RV.

De vanuit de literatuur gevonden RV-waardes kunnen niet zondermeer gekoppeld worden aan specifieke functies in bijvoorbeeld ziekenhuizen en in relatie tot medisch handelen. Het is in dat geval van belang dat per ruimte en functie een balans wordt gezocht tussen infectiebeheersing (specifiek bronbeheersing), comfort van de gebruiker (denk daarbij ook aan tijdsduur van blootstelling aan het specifieke binnenklimaat), activiteit, en aanwezigheid van apparatuur in de ruimte. Zo kan het, gezien het type gebruiker (patiënten), wellicht wenselijk zijn om iets hogere waarden voor de RV na te streven. De effectiviteit van zo een aanname zal echter met aanvullende studies moeten worden geverifieerd. Dergelijke studies worden meer in het algemeen aangeraden om een betere onderbouwing te krijgen voor de mate van invloed van de relatieve vochtigheid op de veiligheid en het comfort van de patiënt en het personeel.

Specifieke voorbeelden van aanvullend onderzoek dat wenselijk wordt geacht zijn:

- Onderzoek naar effect RV, met name interventies indien mogelijk, bij blootstelling over langere duur (orde grootte dagen en/of seizoenen in plaats van uren). Een mogelijke praktische vraag in dat verband kan zijn: Na hoeveel tijd, na het uitvallen een bevochtigingssysteem, ontstaan er bij een lage RV buiten (koude winterdag) problemen met betrekking tot een of meerdere van de onderzochte thema's.
- In het verlengde van bovenstaande, meer monitoring. Dit betreft niet alleen de monitoring van fysische parameters, maar ook relevante medische (bijv. infecties), fysiologische en (momentane) gepercipieerde parameters.
- Differentiatie in RV-eisen voor verschillende functies. Een grof onderscheid kan gemaakt worden in hot-zone, polikliniek, verpleegafdeling en kantooromgevingen.

REFERENTIELIJST

- Adan, O. (1994). *On the fungal defacement of interior finishes*. Eindhoven University of Technology.
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H., & Sterling, T. D. (1986). *Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments*. *Health Perspectives* (Vol. 65).
- Asthma Canada. (2016). Breathe Easy: Medications. Retrieved from <https://asthma.ca>
- Baurès, E., Blanchard, O., Mercier, F., Surget, E., le Cann, P., Rivier, A., ... Florentin, A. (2018). Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants. *Science of the Total Environment*, 642, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.047>
- Božić, J., Ilić, P., & Ilić, S. (2019). Indoor air quality in the hospital: The influence of heating, ventilating and conditioning systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180295>
- Byber, K., Flatz, A., Norbäck, D., Hitzke, C., Imo, D., Schwenkglens, M., ... Mutsch, M. (2016). Humidification of indoor air for preventing or reducing dryness symptoms or upper respiratory infections in educational settings and at the workplace. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2016(6). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012219>
- CAREL Industries. (n.d.). *White paper Luchtbevochtiging in ziekenhuizen*.
- College bouw zorginstellingen. (2007). *Gebouwdifferentiatie van een ziekenhuis*.
- Dabisch, P., Schuit, M., Herzog, A., Beck, K., Wood, S., Krause, M., ... Ratnesar-Shumate, S. (2021). The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 55(2), 142–153. <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1829536>
- Dusseldorp, A., & van Bruggen, M. (2007). Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update, 52. Retrieved from <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609021043.pdf>
<http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Milieu/Luchtkwaliteitsnormen>
- Endo, Y., Ohsawa, A., & Yamaguma, M. (2019). Electrostatic hazards of charging of bedclothes and ignition in medical facilities. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 25(1), 35–39. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1424793>
- Fang, L., G. C. and P. F. (1998). Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures. *Indoor Air*, 8(4), 276–284. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1998.00008.x>
- Fang, L., Clausen, G., & Fanger, P. (2004). Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures. *Indoor Air*, 8, 276–284. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1998.00008.x>
- 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, Supplement*, 14(SUPPL. 7), 74–81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00276.x>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Hall, E. F., & Dusseldorp, A. (2008). *Gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in woningen*.
- Hawkins, L. H. (1981). The influence of air ions, temperature and humidity on subjective wellbeing and comfort. *Journal of Environmental Psychology*, 1(4), 279–292. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(81\)80026-6](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(81)80026-6)
- Heutte, N., André, V., Dubos Arvis, C., Bouchart, V., Lemarié, F., Legendre, P., ... Garon, D. (2017). Assessment of multi-contaminant exposure in a cancer treatment center: a 2-year monitoring of molds, mycotoxins, endotoxins, and glucans in bioaerosols. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5751-z>
- Kallio, J., Vildjiounaite, E., Koivusaari, J., Räsänen, P., Similä, H., Kyllönen, V., ... Vehmas, K. (2020). Assessment of perceived indoor environmental quality, stress and productivity based on environmental sensor data and personality categorization. *Building and Environment*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106787>
- Kohani, M., & Pecht, M. (2016). New minimum relative humidity requirements are expected to lead to more medical device failures. *Journal of Medical Systems*. Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0421-1>
- Kohani, M., & Pecht, M. (2018). Malfunctions of Medical Devices Due to Electrostatic Occurrences Big Data Analysis of 10 Years of the FDA's Reports. *IEEE Access*, 6, 5805–5811. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2782088>
- Kohani, M., Pommerenke, D., Kinslow, L., Bhandare, A., Guan, L., Zhou, J., ... Pecht, M. G. (2020). Electrostatic Charging of a Human Body Caused by Activities and Material Combinations in Hospitals. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 62(2), 315–323. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2019.2914114>
- Kompatscher, K., Traversari, A. A. L., Huisman, E., Loomans, M. G. L. C., Kort, H. S. M., & Maassen, W. (2021). *Bevochtigingseisen in de zorghuisvesting - Praktijk*. Delft, The Netherlands.
- Kudo, E., Song, E., Yockey, L. J., Rakib, T., Wong, P. W., Homer, R. J., & Iwasaki, A. (2019). Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 166(22), 10905–10910. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116>
- Loomans, M. G. L. C. (1998). The measurement and simulation of indoor air flow. *Technovation*.
- Loomans, M. G. L. C., & Cox, C. W. J. (2001). *literature rv health.pdf*. Delft, The Netherlands: TNO.
- López-Gigosos, R., Mariscal, A., Gutierrez-Bedmar, M., Mariscal-Lopez, E., & Fernández-Crehuet, J. (2014). Persistence of nosocomial bacteria on 2 biocidal fabrics based on silver under conditions of high relative humidity. *American Journal of Infection Control*, 42(8), 879–884. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2014.04.019>
- Lowen, A. C., & Steel, J. (2014). Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality. *Journal of Virology*, 88(14), 7692–7695. <https://doi.org/10.1128/jvi.03544-13>
- Marr, L. C., Tang, J. W., Van Mullekom, J., & Lakdawala, S. S. (2019, January 1). Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence. *Journal of the Royal Society Interface*. Royal Society Publishing. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0298>
- Memarzadeh, F. (2012). *Literature Review of the Effect of Temperature and Humidity on Viruses*.
- Moriyama, M., Hugentobler, W. J., & Iwasaki, A. (2020). Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 1–19. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
- Mousavi, M. S., Hadei, M., Majlesi, M., Hopke, P. K., Yarahmadi, M., Emam, B., ... Shahsavani, A. (2019). Investigating the effect of several factors on concentrations of bioaerosols in a well-ventilated hospital environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7559-0>
- Norbäck, D., Wieslander, G., Nordström, K., Walinder, R., & Venge, P. (2000). *The effect of air humidification on symptoms and nasal patency, tear film stability, and biomarkers in nasal lavage: A 6 weeks' longitudinal study*. *Indoor and Built Environment* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1177/1420326X0000900107>
- Nordstrom, K., Norback, D., & Akseleson, R. (1994). Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: A four month longitudinal study. *Occupational and Environmental Medicine*, 51(10), 683–688. <https://doi.org/10.1136/oem.51.10.683>
- Nordstrom, Klas, Norback, D., & Akseleson, R. (1995). *Influence of indoor air quality and personal factors on the sick building syndrome (SBS) in Swedish geriatric hospitals*. *Occupational and Environmental Medicine* (Vol. 52).
- NVVA. (2018). *Vuistregels voor blootstelling aan levensvatbare micro-organismen in kantoren en soortgelijke werkruimten*. *Nederlandse Vereniging Voor Arbeidshygiënist*, 1–4.
- Obbard, J. P., & Fang, L. S. (2003). Airborne concentrations of bacteria in a hospital environment in Singapore. *Water, Air, and Soil Pollution*, 144(1–4), 333–341. <https://doi.org/10.1023/A:1022973402453>
- Peccia, J., Werth, H. M., Miller, S., & Hernandez, M. (2001). Effects of Relative Humidity on the Ultraviolet Induced Inactivation of Airborne Bacteria. *Aerosol Science and Technology*, 35(3), 728–740. <https://doi.org/10.1080/02786820152546770>
- Pyankov, O. V., Bodnev, S. A., Pyankova, O. G., & Agranovski, I. E. (2018). Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air. *Journal of Aerosol Science*, 115(September 2017), 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.09.009>
- Razjouyan, J., Lee, H., Gilligan, B., Lindberg, C., Nguyen, H., Canada, K., ... Najafi, B. (2020). Wellbuilt for wellbeing: Controlling relative humidity in the workplace matters for our health. *Indoor Air*, 30(1), 167–179. <https://doi.org/10.1111/ina.12618>

- Reiman, J. M., Das, B., Sindberg, G. M., Urban, M. D., Hammerlund, M. E. M., Lee, H. B., ... Pierret, C. (2018). Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A. *PLOS ONE*, 13(9), e0204337. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204337>
- Reinikainen, L. M., & Jaakkola, J. J. K. (2003). Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*, 13(4), 344–352. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2003.00155.x>
- Shajahan, A., Culp, C. H., & Williamson, B. (2019a). Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: A review of scientific research on hospital buildings. *INDOOR AIR*, 29(2), 161–176. <https://doi.org/10.1111/ina.12531>
- Shajahan, A., Culp, C. H., & Williamson, B. (2019b). Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: A review of scientific research on hospital buildings. *Indoor Air*, 29(2), 161–176. <https://doi.org/10.1111/ina.12531>
- Skoog, J. (2006). Relative air humidity in hospital wards - User perception and technical consequences. In *Indoor and Built Environment* (Vol. 15, pp. 93–97). <https://doi.org/10.1177/1420326X06062100>
- Sunwoo, Y., Chou, C., Takeshita, J., Murakami, M., & Tochiara, Y. (2006). Physiological and subjective responses to low relative humidity in young and elderly men. *Journal of Physiological Anthropology*, 25(3), 229–238. <https://doi.org/10.2114/jpa2.25.229>
- Takada, S. (2020). Study on the lower limit of indoor humidity subject experiments on psychological responses. *Indoor Air*, (June 2019), 1–14. <https://doi.org/10.1111/ina.12717>
- Takei, K., Denda, S., Kumamoto, J., & Denda, M. (2013). Low environmental humidity induces synthesis and release of cortisol in an epidermal organotypic culture system. *Experimental Dermatology*, 22(10), 662–664. <https://doi.org/10.1111/exd.12224>
- Talebzadeh, A., Moradian, M., Han, Y., Swenson, D. E., & Pommerenke, D. (2015). Electrostatic charging caused by standing up from a chair and by garment removal. In *2015 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity, EMCSI 2015* (pp. 57–62). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/EMCSI.2015.7107659>
- Taylor, S., & Hugentobler, W. (2016). Is low indoor humidity a driver for healthcare-associated infections? In *Indoor Air 2016 - 14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Gent, Belgium. Retrieved from <https://www.isiaq.org/docs/Papers/Paper340.pdf>
- Taylor, S., & Tasi, M. (2018). The Effects of Indoor-Air Relative Humidity on Health Outcomes and Cognitive Function in Residents in a Long-term Care Facility. In *Indoor Air*. Philadelphia, USA. Retrieved from https://www.isiaq.org/ia_2018_proceedings_page.php
- Turner, A. G., & Salmonsens, P. A. (1973). The Effect of Relative Humidity on the Survival of Three Serotypes of Klebsiella. *Journal of Applied Bacteriology*, 36(3), 497–499. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1973.tb04132.x>
- Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>
- Yang, W., Elankumaran, S., & Marr, L. C. (2012). Relationship between Humidity and Influenza A Viability in Droplets and Implications for Influenza's Seasonality. *PLoS ONE*, 7(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046789>

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 ZOEKSTRINGS

Zoekstring Web of Science

TI=(indoor air humidity OR indoor air quality OR relative humidity OR absolute humidity OR moisture content OR temperature OR thermal OR thermal comfort OR humidity ratio OR particulate matter OR ventilation OR indoor climate OR indoor environment OR thermal environment)
 AND
 TI=(cure sector OR operation rooms OR hospitals OR healthcare)
 AND
 TI=(perceived OR headache OR dry eyes OR dry skin OR mental performance OR work performance OR perceived air quality OR airways OR staff outcomes OR patient outcomes OR sick leave OR fatigue OR electrostatic discharge)

Zoekstrings Scopus

(TITLE-ABS-KEY ("indoor air humidity" OR "indoor air quality" OR "relative humidity" OR "absolute humidity" OR "moisture content" OR temperature OR thermal OR "thermal comfort" OR "humidity ratio" OR "particulate matter" OR "ventilation systems" OR "indoor environment") AND TITLE-ABS-KEY ("hospital environment" OR "healthcare environment" OR "cure sector" OR "Office environment" OR "School environment") AND TITLE-ABS-KEY ("work performance" OR productivity OR "mental performance" OR outcomes))
 (TITLE-ABS-KEY ("indoor air humidity" OR "indoor air quality" OR "relative humidity" OR "absolute humidity" OR "moisture content" OR temperature OR thermal OR "thermal comfort" OR "humidity ratio" OR "particulate matter" OR "ventilation systems" OR "indoor environment") AND TITLE-ABS-KEY ("infectious concentrations" OR "virus Viability"))
 (TITLE-ABS-KEY (humidity) AND TITLE-ABS-KEY ("headache" OR "dry eyes" OR "dry skin") AND TITLE-ABS-KEY ("indoor environment" OR "inside building"))
 (TITLE-ABS-KEY (humidity) AND TITLE-ABS-KEY ("hospital environment" OR "healthcare environment" OR "cure sector" OR "Office environment" OR "School environment"))

BIJLAGE 2 BEOORDELINGSMATRIX ARTIKELEN

Titel

Auteur

Beoordelaar

Toelichting Rubric								
Weging			Goed 3	Voldoende 2	Onvoldoende 1	Ontbreekt 0	Opmerkingen/Toelichtingen	Score
	1. Reliability		De vraagstelling is adequaat geformuleerd	Er is een vraagstelling geformuleerd	De vraagstelling is onduidelijk geformuleerd	Er is geen vraagstelling		3
			De belangrijkste kenmerken van de oorspronkelijke onderzoeken zijn beschreven	Er worden kenmerken van onderzoeken beschreven	Er worden weinig tot geen kenmerken van onderzoeken beschreven.	De kenmerken van de oorspronkelijke onderzoeken worden ontbreken in zijn geheel.		3
	2. Context		Er wordt een relatie gelegd tussen relatieve vochtigheid en gezondheid en comfort in een ziekenhuisomgeving	Er wordt een relatie gelegd tussen relatieve vochtigheid en gezondheid en comfort in een andere context dan een ziekenhuisomgeving	Er wordt enkele tot geen aspecten van indoor air quality beschreven in relatie tot bevochtiging.	Er worden geen aspecten van indoor air quality beschreven in relatie tot bevochtiging.		3
	3. Methode	3.1. Algemeen	De methode is uitgebreid beschreven. Op basis van de methode kan het onderzoek op dezelfde manier worden uitgevoerd	De methode is beschreven	De methode is summier beschreven en het wordt niet inzichtelijk gemaakt hoe het onderzoek precies is uitgevoerd.	De methode is niet aanwezig		3
			Er wordt daadwerkelijk gemeten aan indoor air quality	Er wordt gevraagd naar perceived air quality bijv. dmv. vragenlijsten	Er wordt gevraagd naar meningen	nvt	3	
		3.2 Soort Studie	Het is een systematic review	Cohort studie	Het gaat om een praktijkervaring	nvt	3	
			RCT Er wordt een voor- en na situatie beschreven	Het is een literatuurstudie Het gaat om een (meervoudige) casestudie	Mening	nvt	3	
	3.3. Interventies	Wordt de bevochtiging in ziekenhuizen beoordeeld	Wordt de bevochtiging in een andere context beoordeeld?	Wordt bevochtiging meegenomen in de beoordeling van het binnenklimaat van ziekenhuizen?	nvt	3		

Toelichting Rubric								
Weging			Goed 3	Voldoende 2	Onvoldoende 1	Ontbreekt 0	Opmerkingen/Toelichtingen	Score
	4. Resultaten		Er wordt een relatie gelegd tussen de indoor environment en gezondheid	Er worden relaties gelegd perceived health	Er worden nauwelijks relatie gelegd tussen perceived comfort en air quality	nvt		3
			Infection rates	Productiviteit	Er worden geen specifieke aspecten benoemd			
			Transmission Effect op apparatuur fysiologische uitkomsten als eye symptoms, droge huid etc.	Ziekteverzuim Concentratie				
	5. Beperkingen/ Conclusies		Conclusie met duidelijke randvoorwaarden beschreven	Er is een conclusie met enkele randvoorwaarden beschreven	Er is conclusie beschreven zonder duidelijke randvoorwaarden	nvt		3
			Conclusie generiek toe te passen		Conclusie alleen specifiek toe te passen	nvt		
								27

TNO innovation
for life

TNO.NL