

# › BEVOCHTIGINGSEISEN IN DE ZORGHUISVESTING PRAKTIJK



› **TNO**

## **auteurs**

Ir. K. Kompatscher (TNO)  
Dr.ing. A.A.L. Traversari, MBA (projectleider TNO)  
Dr.ir. E. Huisman (HU)  
Dr.ir. M.G.L.C. Loomans (projectleider TU/e)  
Prof.dr. H.S.M. Kort (TU/e)  
Ir. W. Maassen, 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 tweede onderzoeksvraag. Deze management-samenvatting vat kort de aanpak en resultaten samen uit het eerste deelonderzoek met betrekking tot de eerste 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			5-30%								
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%) conditioneert 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 ≥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 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 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, e, 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 het specifieke onderwerp RV, gerelateerd aan de zorghuisvesting, relatief beperkt. Daarmee is ook de mogelijkheid om een goede kwantitatieve onderbouwing te geven voor te hanteren waarden 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 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 waarden 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

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1 Leeswijzer	7
<b>2 Aanpak</b>	<b>8</b>
<b>3 Inventarisatie</b>	<b>8</b>
3.1 Luchtvochtigheidsrichtlijnen	8
3.2 Inventarisatie huidige praktijk	12
3.3 Functieverdeling	16
<b>4 Alternatieven voor luchtbevochtiging</b>	<b>17</b>
4.1 Luchtbevochtigingstechnieken	17
4.2 Richtlijnen aangaande luchtbevochtigers	21
4.3 Beoordelingscriteria voor toepassing in een zorginstelling	22
4.4 Analyse bevochtigingstechnieken	24
<b>5 Discussie</b>	<b>26</b>
<b>6 Conclusie</b>	<b>27</b>
6.1 Inventarisatie	27
6.2 Alternatieven voor stoombevochtiging	27
6.3 Aanbevelingen	28
<b>7 Literatuurlijst</b>	<b>29</b>
Bijlage(n)	
A Vragenlijst	
B Overzicht bevochtigingstechnieken	

# 1 INLEIDING

Ongeveer 1,6% van het totale energiegebruik van Nederland is toe te schrijven aan de gezondheidszorg<sup>a</sup>. Het percentage heeft niet uitsluitend betrekking tot huisvesting. In het kader van de Green Deal 'Duurzame zorg voor een gezonde toekomst' is reductie van het energiegebruik (CO<sub>2</sub>-emissie) een van de pijlers binnen de zorgsector<sup>b</sup>.

Energiebesparing in ziekenhuizen is niet van de laatste jaren. Echter, energiebesparing mag niet ten koste gaan van de beschikbaarheid van functies, patiëntveiligheid, zorgkwaliteit en omgevingskwaliteit waarbinnen deze zorg wordt geleverd. Het uitgangspunt van zorghuisvesting is dat het te allen tijden mogelijk moet zijn om veilige en kwalitatief hoogstaande zorg te leveren.

Het onderwerp bevochtiging, als specifiek onderdeel in de luchtbehandeling bij ziekenhuizen, heeft al enige tijd de aandacht. In het UMCU werd in het jaar 2018 bijna 60% van de totale stoomproductie (4 mln. m<sup>3</sup>, CO<sub>2</sub> emissie 7,1 mln. kg) ingezet voor bevochtiging. Dit betrof 2,4 mln. m<sup>3</sup> gas, resulterend in 4,3 mln. kg CO<sub>2</sub> emissie. De literatuur geeft nog geen eenduidige conclusie als het gaat over grenzen waaraan de luchtvochtigheid (relatieve vochtigheid) dient te voldoen voor een veilige omgeving voor patiënten en personeel vanuit de perceptie van het binnenklimaat<sup>1</sup>. Voor kantoorgebouwen geldt dat voldoen aan een relatieve vochtigheid tussen de 30% en 70% als behaaglijk ervaren wordt volgens het ARBO-portaal<sup>c</sup>. De ARBO wetgeving stelt echter geen harde eisen aan de relatieve vochtigheid (RV). In het Programma van Eisen Gezonde Kantoren voor de kantooromgeving wordt een onderscheid gemaakt in klasse A (zeer goed), klasse B (goed) en klasse C (voldoende) waarbij de luchtvochtigheidsrichtlijn 35%-70% (A), maximaal 70% (B), maximaal 70% (C) respectievelijk bedraagt<sup>2,3</sup>. Deze classificatie geeft aan dat er ruimte is voor keuzes.

Hoe zit het dan in ziekenhuizen? Welke ruimte is er ten aanzien van de range waarbinnen de relatieve vochtigheid zich vanuit het oogpunt van patiëntveiligheid en -comfort, en medewerkersveiligheid moet bevinden? Hierbij dienen primaire taken als patiëntveiligheid, kwaliteit van zorg en de kwaliteit van de omgeving niet negatief beïnvloed te worden. De literatuurstudie uitgevoerd als onderdeel van dit onderzoek beschouwt de optimale relatieve vochtigheid vanuit een viertal thema's:

1. Groei en inactivatie van micro-organismen en virussen;
2. Het functioneren van medische apparatuur;
3. De fysiologie van de mens; en
4. Het ervaren welzijn en comfort van de mens.

De uitgevoerde literatuurstudie als onderdeel van dit onderzoek heeft op bovenstaande vier thema's de beschikbare literatuur onderzocht. Met betrekking tot welzijn en comfort wordt vanuit de wetenschappelijke literatuur een relatieve vochtigheid tussen de 30% en 60% RV geadviseerd. Buiten deze grenswaarden komen klachten voor gerelateerd aan stressreacties (gemeten hartslagvariatie bij RV>60%) en te droge lucht (<30%). Voor micro-organismen en virussen is geen relatie gevonden tussen het ontstaan van infecties en de RV, wel zijn er studies die aangeven in welke RV-range micro-organismen en virussen beter en minder goed vitaal zijn. Met een beperkte kwantitatieve onderbouwing uit de literatuur lijkt een ondergrens van ten minste 30% wenselijk als het gaat om medische apparatuur, fysiologische aspecten en welzijn en comfort. De genoemde ondergrens is een indicatie, er is geen eenduidig optimum voor de thema's gevonden. Op basis van de geraadpleegde literatuur kan geen duidelijke bovengrens geadviseerd worden die voor alle thema's geldt. Het handhaven van specifieke grenswaarden van RV in relatie tot medisch handelen heeft onvoldoende onderbouwing vanuit de literatuur<sup>4</sup>.

a <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83141NED/table?dl=645B>

b <https://www.greendeals.nl/green-deals/duurzame-zorg-voor-gezonde-toekomst>

c <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/luchtvochtigheid>

## 1.1 DOELSTELLING

In de praktijk wordt, op dit moment, overwegend stoomopwekking middels gasketels toegepast om luchtbevochtiging in de luchtbehandelingskast te realiseren (stoombevochtiging) voor zorginstellingen. Ondanks dat dit een bewezen en betrouwbare methode is zijn ziekenhuizen toch op zoek naar een alternatief waarbij er substantieel minder of zelfs geen fossiele brandstof nodig is om op een hygiënische wijze lucht te bevochtigen.

De onderzoeksvragen luiden:

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 energievriendelijke wijze, kan bevochtiging worden gerealiseerd? Dit met inachtneming van de patiëntveiligheid en comforteisen van de gebouwgebruikers.

Dit deelrapport richt zich op de tweede vraag en heeft tot doel om inzicht te geven in welke functies (onder andere operatiekamers, isolatiekamers, beddenkamers, poliklinieken) kunnen worden onderscheiden als het gaat om de gestelde eisen aan de klimatologische omstandigheden, specifiek de luchtvochtigheid, in een ziekenhuis en welke alternatieven voor luchtbevochtiging beschikbaar zijn die op een hygiënische wijze lucht kunnen bevochtigen.

Om deze vragen te beantwoorden zijn enkele deelvragen opgesteld:

- I. Welke luchtvochtigheidsrichtlijnen en -eisen zijn er en wat is bekend over het type bevochtiging in ziekenhuizen?
- II. Welke conclusies volgen uit een inventarisatie van de huidige situatie in Nederlandse ziekenhuizen?
- III. Welk categorieën zijn te onderscheiden als het gaat om functies met gelijke klimatologische omstandigheden?
- IV. Welke bevochtigingstechnieken bestaan er?
- V. Welke randvoorwaarden zijn er om bevochtigingstechnieken toe te passen in een zorginstelling?

## 1.2 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak beschreven die is gehanteerd in dit onderzoek. De onderzoeksresultaten zijn opgedeeld in twee onderwerpen. Als eerste de inventarisatie van de huidige stand van zaken omtrent luchtbevochtiging in ziekenhuizen (hoofdstuk 3). Ten tweede het onderdeel dat ingaat op mogelijke alternatieven voor luchtbevochtiging (hoofdstuk 4). De laatste twee secties vormen de discussie en de conclusies die voortkomen uit dit onderzoek.



## 2 AANPAK

Om de deelvragen zoals geformuleerd in hoofdstuk 1 te beantwoorden is een tweetal inventarisaties uitgevoerd. Ten eerste een inventarisatie van de eisen en aanbevelingen die gegeven worden voor relatieve vochtigheid in ziekenhuizen, zoals die op dit moment in (inter-) nationale richtlijnen zijn opgenomen. Hiervoor is middels desk research gezocht naar richtlijnen die gehanteerd zijn in het verleden en waar nog veelvuldig naar wordt verwezen voor klimatologische eisen in ziekenhuizen.

Ten tweede is een inventarisatie uitgevoerd door zoveel mogelijk relevante (praktijk) experts vanuit ziekenhuizen te vragen welke gestelde eisen zij hanteren voor de relatieve vochtigheid. Deze inventarisatie betreft een semigestructureerd interview omtrent (i) gestelde eisen voor de luchtvochtigheid, (ii) of en welke verdeling in functie is toegepast, en (iii) welke bevochtigingsprincipes worden gehanteerd. De vragen zijn zo veel mogelijk telefonisch gesteld, indien er zaken nagezocht moesten worden is de vraag per e-mail toegestuurd. Dit is gedaan door een semigestructureerde vragenlijst op te stellen en deskundigen (o.a. facilitaire medewerkers en klinisch fysici) in dienst van ziekenhuizen en fabrikanten van medische apparatuur te spreken over dit onderwerp. Er is gekozen voor deze aanpak omdat het sturen van een digitale vragenlijst wellicht wel response zou opleveren, maar naar mening van de onderzoekers komen de obstakels en uitdagingen van luchtbevochtiging in ziekenhuizen beter in beeld in de vorm van een (telefonisch) gesprek. In Bijlage A is de vragenlijst weergegeven.

Vanuit de inventarisaties, desk research en response van ziekenhuizen, zijn mogelijke categorieën gedefinieerd waarbinnen functies gegroepeerd kunnen worden op basis van gestelde klimatologische eisen. En als er bevochtiging toegepast dient te worden in ziekenhuizen, wat zijn dan mogelijke alternatieven voor de betrouwbare stoombevochtiging? Om een antwoord te kunnen formuleren op deze vraag is middels desk research gezocht naar verschillende bevochtigingstechnieken waarbij de toepassing kan worden ingezet binnen de randvoorwaarden van ziekenhuizen. Verder is een inventarisatie via desk research uitgevoerd naar normen, standaarden en richtlijnen die meer inzicht geven over de techniek(en) die geschikt worden geacht voor ziekenhuizen. Informatie uit beide studies is samengevoegd in een overzicht waarin een topic-analyse is uitgevoerd naar de verschillende bevochtigingstechnieken en de randvoorwaarden waar deze aan moeten voldoen om toegepast te kunnen worden in ziekenhuizen.

## 3 INVENTARISATIE

### 3.1 LUCHTVOCHTIGHEIDSRICHTLIJNEN

Het toepassen van luchtbevochtiging in ziekenhuizen is deels geïntroduceerd in de eerste helft van de 19e eeuw voor het verminderen van het risico op elektrostatistische ontlading. Statische elektriciteit kon leiden tot de explosie van ontvlambare, zuurstofrijke narcosegassen zoals distikstofmonoxide (lachgas) in een operatieruimte. Een relatieve vochtigheid van ten minste 60% werd aangeraden in combinatie met het toepassen van antistatische materialen om elektrostatische ontlading te voorkomen<sup>5,6</sup>. Ondertussen is er veel doorontwikkeld op zowel het gebied van narcosegassen, bewaarmogelijkheden en antistatische materialen, (geleidende) vloeren, schoeisel, et cetera. Toch is de notie voor het toepassen van luchtbevochtiging gebleven.

Dit hoofdstuk is verdeeld in twee paragrafen. In de eerste paragraaf wordt een selectie van internationale normen, standaarden en richtlijnen beschouwd. In de tweede paragraaf wordt ingegaan op een selectie aan nationale informatiebronnen voor luchtvochtigheidsrichtlijnen in ziekenhuizen.

#### 3.1.1 ASHRAE 170-2017

De American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) heeft een uitgebreid overzicht van binnenklimaatcondities verdeeld per ziekenhuisfunctie opgesteld in standaard 170-2017. In ~61% van de gedefinieerde functies in deze standaard zijn er geen eisen geformuleerd voor de relatieve vochtigheid, deze zijn buiten beschouwing gelaten<sup>7</sup>. Tabel 1 geeft een overzicht van ziekenhuisgebieden en specifieke ruimten waarbij wel omgevingseisen

gesteld worden aan de relatieve vochtigheid en temperatuur. Ondanks dat het een omvangrijke lijst is, zijn wel enkele trends zichtbaar. Zo is er in alle gevallen ook een bovengrens aangegeven, waarbij die bovengrens voor RV altijd bij 60% (en in een enkel geval 65%) ligt. Een ondergrens voor RV wordt niet altijd gegeven. In de categorie operatie en kritieke zorg wordt een ondergrens van 20% of 30% gegeven behalve bij algemene ruimtes als de wachtkamer of triageruimte.

Tabel 1. Overzicht omgevingseisen per functieklassse volgens internationale standaard ASHRAE 170-2017.

Functie	RV (%)		T (°C)	
	min	max	min	max
<b>Chirurgie en acute zorg</b>				
Acute en intensieve zorg	30	60	21	24
Verloskamer	20	60	20	24
Spoedeisende hulp onderzoek/behandelkamer		60	21	24
Spoedeisende hulp wachtruimte		65	21	24
Intermediate zorg		60	21	24
Ooglaser ruimte	20	60	21	24
NICU	30	60	22	26
Operatiekamer	20	60	20	24
Operatiekamer/ cystoscopie	20	60	20	24
Behandelkamer	20	60	21	24
Radiologie wachtruimte		60	21	24
Herstelruimte	20	60	21	24
Traumaruimte (crisis of shock)	20	60	21	24
Behandelkamer	20	60	21	24
Triage		60	21	24
Brandwondenafdeling	40	60	21	24
<b>Intramurale verpleging</b>				
Alle ruimtes		60	21	24
Combinatie AII/PE ruimtes		60	21	24
Voortgezette zorg verloskamer	30	60	22	26
Verloskamer/ herstel/post partum		60	21	24
Pasgeborenen ruimte	30	60	22	26
Patientenkamer		60	21	24
Beschermde ruimte		60	21	24
<b>Radiologie</b>				
Röntgen (diagnostiek en behandeling)		60	22	26
Röntgen (operatie, intensieve zorg en katherisatie)		60	21	24
<b>Diagnostiek en behandeling</b>				
ECT procedure ruimte		60	22	26
Gastro-intestinale endoscopie ruimte	20	60	20	23
Algemene behandelkamer		60	21	24
Medicatiekamer		60	21	24
Fysiotherapie		65	22	27
Speciale onderzoekruimte		60	21	24
Behandelkamer		60	21	24
<b>Centrale Sterilisatie Afdeling (CSA)</b>				
Clean room		60	20	23
Steriele opslagruimte		60		24

### 3.1.2 DIN1946-4

De Duitse richtlijn DIN1946-4<sup>8</sup> focust met name op het vermijden van verspreiding van gecontamineerde lucht in operatiekamers. In de norm wordt voor operatiekamers geen richtwaarde gegeven voor de RV. Wel voor beddenkamers waar patiënten verblijven, zoals de isolatiekamers. Deze dient binnen een bandbreedte van 30%-60%RV geregeld te worden (zie Tabel 2). Voor alle operatiekamers geldt dat indien deze niet in gebruik zijn, koeling en bevochtiging uitgeschakeld kunnen zijn zolang wordt voldaan aan de gestelde klimatologische eisen. In de DIN1946-4 wordt, voor ontbrekende waarden, verwezen naar de Europese normen EN-16798-3:2017 en EN-16798-1:2019 waarin ontwerpwaardes in utiliteitsgebouwen zijn opgenomen<sup>9,10</sup>. In deze normen worden echter geen criteria aangedragen voor de relatieve vochtigheid in zorginstellingen zoals ziekenhuizen. Er wordt verwezen naar technische eisen, indien aanwezig, van medische apparatuur als criterium voor het aanpassen van klimatologische eisen.

Tabel 2. Overzicht omgevingseisen per functieklassie volgens Duitse standaard DIN1946-4.

Functie	RV (%)		T (°C)	
	min	max	min	max
Operatiekamers			19*	26*
Beddenkamer	30	60	22	26
Isolatiekamer	30	60	22	26

\*Minimale en maximale temperatuurwaarden voor toevoerlucht

### 3.1.3 ÖNORM

De Oostenrijkse ÖNORM H 6020:2007 geeft voor meerdere functiegroepen zowel temperatuur als absolute luchtvochtigheidscriteria. Hierbij is een onderscheid gemaakt of de installatie moet verwarmen of koelen, afhankelijk van de buitenluchtcondities. Hierbij geldt dat de absolute vochtigheidseisen zoals hier gesteld in Tabel 3 de minimale en maximale luchtvochtigheden zijn<sup>11</sup>. Een vochtigheid van 6,5 g/kg komt bij 22°C overeen met een relatieve vochtigheid van 40% en 11,5 g/kg komt bij 24°C overeen met een relatieve vochtigheid van 61,5%.

Tabel 3. Overzicht omgevingseisen per functieklassie volgens ÖNORM H 6020:2007.

Functie	x (g/kg)		T (°C)	
	Heating operation	Cooling operation	Heating operation	Cooling operation
Operatiekamers	6,5	11,5		
Beddenkamer	6,5	11,5		
Isolatiekamer	6,5	11,5	22-24	24
Behandelkamer (PET/CT/Röntgen)	6,5	11,5	22	26
Intensive Care	6,5	11,5	22-26	22-26
Behandelkamer (endoscopie/ bronchoscopie)	6,5	11,5	22-24	26
Hartbewaking	6,5	11,5	22-26	22-26
Behandelkamer (MRI)	6,5	11,5	22-26	26
Behandelkamer (niet-invasieve bestraling)	6,5	11,5	22-26	26
Centrale sterilisatie afdeling	6,5		22	26
Interventionele Diagnostiek	6,5	11,5	22-24	26
Opslagruimten voor medische en technische apparaten die geen medische producten zijn	#	#	20	#
Opslagruimten met speciale eisen, bijv. farmaceutica en medische apparatuur omgekeerde osmose-systemen	\$	\$	\$	\$

# = ondergrens te hanteren wordt aangeraden als er narcosegassen opgeslagen zijn

\$ = speciale eisen kunnen o.a. om luchtstroming, relatieve vochtigheid of explosiegevaar gaan.

### 3.1.4 UNI 11425

In de Italiaanse norm UNI 11425 worden voor een aantal functies toegestane bandbreedtes voor luchtvochtigheden en temperaturen gegeven. Voor de relatieve vochtigheid wordt over het algemeen de 40%-60%RV bandbreedte gehanteerd<sup>12</sup>.

Tabel 4. Overzicht omgevingseisen per functieklassie volgens UNI 11425.

Functie	RV (%)		T (°C)	
	min	max	min	max
Operatiekamer	40	60	20	24
Verloskamer	30	60	20	24
Intensive care	40	60	20	24
Farmacie laboratorium	40	60	20	26
Sterilisatieafdeling	40	60	20	27
Verkoeverkamer	40	60	22	26
Mortuarium	5	60		18

### 3.1.5 COLLEGE BOUW ZIEKENHUISVOORZIENINGEN (NEDERLAND)

Het College Bouw Ziekenhuisvoorzieningen (CBZ) heeft in haar publicatie uit 1981 'Bouwkundig functionele beoordelingsmaatstaven ten behoeve van nieuwbouwplannen voor een operatieafdeling' een maximale relatieve vochtigheid van 60% als richtlijn opgenomen ten behoeve van behaaglijkheid. In het stuk wordt ook gesproken over de toelaatbare relatieve vochtigheid in operatiekamers die met name bepaald worden door eisen (NEN 3134) die betrekking hebben op veiligheid, waaronder het voorkomen van statische elektriciteit. Hierin wordt juist gesproken over een ondergrens van 60%RV indien er sprake kan zijn van elektrische ontlading in een ruimte. Indien voldoende afvloeiing van statische elektriciteit is te realiseren bijvoorbeeld via enigszins elektrisch geleidende vloeren wordt aangeraden, omwille van comfort uit te gaan van 50%RV als minimum luchtvochtigheidseis<sup>13</sup>.

Latere uitgaven van het CBZ geven meer nuance voor bepaalde functiegroepen zoals in Tabel 5 is weergegeven. Een eis voor relatieve vochtigheid in operatieafdelingen is echter niet gegeven in desbetreffende publicatie, behalve de verwijzing dat in medisch gebruikte ruimten bevochtiging verplicht is volgens de reeds genoemde NEN 3134 (ondertussen vervangen voor NEN 1010:2015).

Tabel 5. Overzicht omgevingseisen per functieklassie volgens het college bouw en ziekenhuisvoorzieningen<sup>14</sup>.

Functie	RV (%)		T (°C)		fluctuatie
	min	max	min	max	
Couveusekamers			20	28	
High care	50			24	
Intensive care	50			24	
Centrale sterilisatieafdeling	50	75			
Operatieafdeling*			21		±3

\*instelbaar binnen bandbreedte 21°C ±3°C

### 3.1.6 WERKGROEP INFECTIEPREVENTIE

De Werkgroep Infectiepreventie (WIP) stelt in haar richtlijn 'Luchtbehandeling in operatiekamer en opdekruimte in operatieafdeling klasse 1' uit 2014 dat parameters waaronder de relatieve vochtigheid gebaseerd kunnen worden op de ARBO-eisen<sup>15</sup>.

In een latere richtlijn draagt de WIP aan dat een operatiekamer dient te voldoen aan een relatieve vochtigheid binnen bandbreedte 40%-65%RV ondanks dat de werkgroep geen relatie tussen RV en postoperatieve wond infectie heeft gevonden<sup>16</sup>. De bovengrens is opgesteld om risico's op schimmelgroei te verminderen. Hierbij wordt gesteld dat de relatieve vochtigheid niet langer dan één week achtereen een waarde boven 65% dient te hebben. De ondergrens is op 40%RV gesteld om de kans tot het opbouwen van elektrostatische lading te verkleinen. In de aanbevelingen van de WIP wordt alleen de bovengrens (<65%RV) aangeduid voor operatieklassen 1 en 2 en een zelfstandige behandelkamer. Vermeld is dat deze waarden slechts richtinggevend zijn.

### 3.1.7 ARBO

De ARBO-eisen omtrent relatieve vochtigheid in de werksituatie zijn beperkt tot het aankaarten dat een relatieve vochtigheid tussen 30%-70% RV als behaaglijk wordt ervaren. Dit wordt ook onderschreven door de studie van Loomans en Cox<sup>17</sup>.

Daarnaast ben je als werkgever, indien je een andere bevochtigmethode dan stoombevochtiging toepast, vanuit de Arbowetgeving (art. 4.87b) wettelijk verplicht om een Risico inventarisatie en evaluatie (RI&E) op te stellen waaruit blijkt dat legionella doeltreffend wordt beheerst. Dit resulteert dan in een beheersplan waarin staat dat je jaarlijks de bevochtiging op legionella laat bemonsteren.

### 3.2 INVENTARISATIE HUIDIGE PRAKTIJK

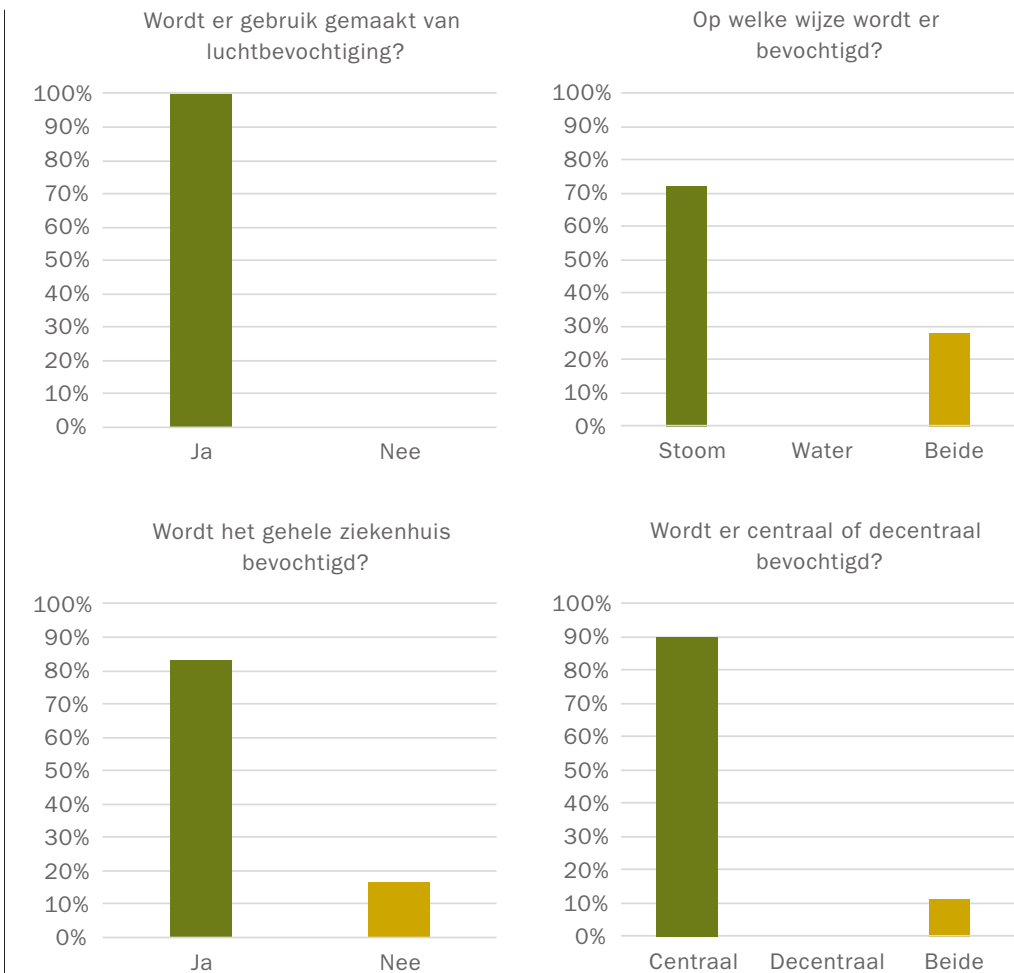
Middels inventarisatie bij Nederlandse ziekenhuizen is geprobeerd een inzicht te verwerven in de huidige situatie omtrent luchtbevochtiging in ziekenhuizen. Er is contact opgenomen met experts uit de facilitaire en technische dienst met inzicht in dit onderwerp. In de eerste paragraaf worden de resultaten van de inventarisatie besproken. Er zijn gedurende de inventarisatie 38 ziekenhuizen benaderd en bij 20 ziekenhuizen is middels een semigestructureerd interview informatie opgevraagd. Tijdens de inventarisatie kwam naar voren dat omgevingseisen van medische apparatuur soms als leidend worden gezien. Dit heeft geleid tot navraag bij klinisch fysici en fabrikanten van medische apparatuur. In de sectie 3.2 wordt dit aangedragen onderwerp verder toegelicht.

#### 3.2.1 GEHANTEERDE LUCHTVOCHTIGHEIDSCRITERIA IN NEDERLANDSE ZIEKENHUIZEN

Luchtbevochtiging kan onderverdeeld worden in stoombevochtiging en waterbevochtiging. Bij stoombevochtiging wordt water verhit met als resultaat stoom dat wordt toegevoegd aan een luchtstroom om het vochtgehalte te regelen. Bij waterbevochtiging wordt er direct vloeibaar water toegevoegd aan een luchtstroom door middel van vernevelen, verstuiven of sproeien.

##### 3.2.1.1 LUCHTBEVOCHTING

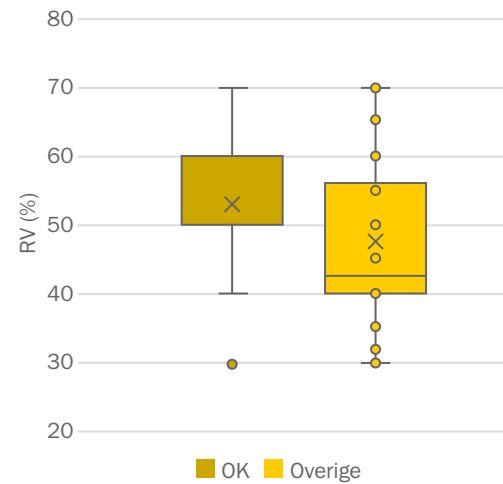
Van de ondervraagde experts (n = 20) geeft 100% aan luchtbevochtiging toe te passen, zie Figuur 1. Hierbij wordt dan veelal het gehele gebouw geconditioneerd (83%) met uitzonderingen van de kantoorfuncties of vastgoed verhuurd aan derden zonder vraag voor klimaatcontrole. De wijze waarop luchtbevochtiging wordt geregeld verschilt. Stoombevochtiging wordt het meeste gebruikt (72%). Er zijn verscheidene ziekenhuizen die de overstap overwegen of maken naar elektrisch stoombevochtigen of naar waterbevochtiging. Voor operatieafdelingen wordt nog wel zonder uitzondering gebruik gemaakt van stoombevochtiging, bijna altijd vanwege hygiëneoverwegingen. Enkele ziekenhuizen gaven aan dat er, ondanks overwegend centraal geregelde luchtbevochtiging via luchtbehandelingskasten en controle via de retourlucht, er ook van decentrale, lokale bevochtigers gebruik gemaakt wordt indien de locatie niet van centrale luchtbehandelingskasten voorzien was of het een enkele ruimte betrof. Het aanpassen van de relatieve vochtigheid door medewerkers/gebruikers is bijna nergens mogelijk (89%) en wordt centraal ingesteld. Een enkel ziekenhuis biedt deze mogelijkheid aan voor bijvoorbeeld operatiekamers. Hierbij dient echter iemand van de technische dienst de aanpassing in het gebouwbeheersysteem te doen.



Figuur 1. Resultaten op gestelde vragen over de aanwezigheid van luchtbevochtiging in een ziekenhuis.

##### 3.2.1.2 SETPOINTS EN FUNCTIEGROEPEN

De setpoints waar luchtbevochtiging op gestuurd open ver uiteen. Daarnaast verschilt het per ziekenhuis of er een fijnmazig of grovere groepering in functies is gekozen. Bijna elke respondent gaf waarden voor de operatieafdeling en overige ruimtes. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Figuur 2. De boxplot geeft weer hoe de verdeling is tussen verschillende ziekenhuizen. De gekleurde boxen representeren het tweede en derde kwartiel (50% van de waarnemingen), de dunne lijnen representeren de totale spreiding en daarmee het eerste en vierde kwartiel. De verticale lijnen geven de spreiding van de overige helft weer. Zo zijn de minimale en maximale waarden snel te herkennen. De mediaan is aangegeven als lijn in de box, voor de OK overlapt deze de 50% RV. De mediaan van de aangenomen setpoints voor relatieve vochtigheid ligt op 50% voor de operatieafdeling en op 42,5% voor overige ruimtes. Respondenten gaven aan de relatieve vochtigheid van de operatieafdeling te regelen op comfort, hygiëne en wonduitdroging vanuit richtlijnen en eerdere ervaringen.



Figuur 2. Boxplot van aangehouden setpoints voor relatieve vochtigheid voor de 'OK' en 'Overige' ruimtes. In de gekleurde kaders valt 50% van de gegeven setpoints. De lijnen geven de overige spreiding weer en de mediaan is als x (omkaderd) gegeven.

Ieder ziekenhuis kent haar eigen verdeling aangaande functiegroepen. Verschillende respondenten hebben aangegeven verschillende eisen te stellen voor de relatieve vochtigheid voor bepaalde ziekenhuisfuncties. Afhankelijk van de aanwezigheid van processen, mensen of medische apparatuur kunnen de gehanteerde setpoints verschillen. Functies waarbij afwijkende klimatologische eisen ten opzichte van de operatieafdeling en overige ruimten worden gesteld zijn bijvoorbeeld:

- Kantoorfunctie,
- Beddenkamer,
- ICU/CCU,
- Laboratoria,
- Farmacie/apotheek,
- Long(functie)afdeling,
- Scopie-afdeling,
- MRI ruimte.

In ruimtes met een kantoorfunctie die zijn aangesloten op het klimaatsysteem en in beddenkamers wordt uitgegaan van comforteisen. De respondenten gaven aan dat veel kantoorruimtes niet uitgerust zijn met luchtbevochtiging omdat voor deze ruimtes geen bevochtigingseisen zijn bepaald en er geen klachten met betrekking tot comfort zijn. Voor bepaalde processen is volgens de respondenten luchtbevochtiging noodzakelijk. In laboratoria waar gebruik gemaakt wordt van bepaalde apparatuur en op de farmacie-afdeling waar met bepaalde stoffen wordt gewerkt.

De long(functie)afdeling, scopie-afdeling en MRI-ruimte wordt genoemd in relatie tot de aanwezige medische apparatuur die daar staat. Medische apparatuur is vaker genoemd in relatie tot klimatologische eisen voor bepaalde ruimtes en soms wordt daarvoor een ondergrens voor luchtbevochtiging van 50%RV gehanteerd. Ook het hanteren van een ondergrens voor het minimaliseren van elektrische ontlading wordt veelvuldig toegepast. Voor medische apparatuur op de longfunctie afdeling worden testen uitgevoerd bij een bepaalde luchtvochtigheid waardoor de omgevingsluchtvochtigheid een belangrijke parameter wordt.

Ondanks een grote spreiding in verschillende klimatologische eisen wordt er door de ziekenhuizen steeds vaker geacteerd op de vraag van de noodzaak van luchtbevochtiging. Zo wordt er getest met het uitzetten van de luchtbevochtiging, of wordt geregeld op de hoeveelheid comfort gerelateerde klachten door gebruikers van de gebouwen. Stoombevochtiging leidt tot een hoog energiegebruik en bij nieuw- of vernieuwbouw wordt veelal meteen nagedacht over de toepassing van waterbevochtiging om het gasgebruik te kunnen reduceren dat nodig is voor stoomproductie. Er wordt dus door individuele organisaties gekeken naar zaken als het niet toepassen van luchtbevochtiging, het toepassen van een ruimere bandbreedte en het gebruik van alternatieve bevochtigingstechnieken en het uitfasen van stoombevochtiging.

### 3.2.2 OMGEVINGSEISEN MEDISCHE APPARATUUR

Binnen het onderzoek is ook contact opgenomen met fabrikanten van medische apparatuur. Dit omdat medische apparatuur regelmatig werd genoemd als een van de limiterende factoren voor de ondergrens van de omgevingseis voor relatieve vochtigheid in ruimtes waar deze apparatuur zich bevindt. Hierbij werd gevraagd of er bepaalde omgevingseisen golden voor medische apparatuur en waar deze grenzen op gebaseerd waren.

Tabel 6 is het resultaat van verschillende omgevingseisen voor relatieve vochtigheid aangeleverd door een respondent. Hierbij is te zien dat de bovengrens gelimiteerd wordt door PET/CT en Voedingsspomp met 75%RV. De ondergrens wordt bepaald door echoapparatuur die een minimale relatieve vochtigheid van 35% vereist.

Tabel 6. Overzicht omgevingseisen voor relatieve vochtigheid voor verschillende medische apparatuur aangedragen door een respondent.

	RV	
	min	max
Infuuspompen	30	90
Echo	35	85
EMG	20	80
Laser	30	80
PET/CT	20	75
Bewakingsmonitor	15	95
Voedingss pomp	30	75
Diathermie	15	80
Transcutane pO2/PCO2 meter	20	80
Bloeddrukmeter	15	90
AED	10	95
CTG		95
ECG	10	90

Elektrostatische ontlading (ESD) is in een aantal studies aangedragen als achtergrond voor een ondergrens van 30%RV voor medische apparatuur. Dit komt in de rapportage "Bevochtigingseisen in de zorghuisvesting: kennisbasis" aan bod<sup>4</sup>.

Tabel 7 laat een overzicht zien van eisen aangedragen door fabrikanten van medische apparatuur. De bovenste twee rijen zijn systemen voor het uitvoeren van echo's op de cardiologie en radiologie. In operationele omgevingseisen zijn er slechts kleine verschillen tussen beiden. De ondergrens van 30%RV is gerelateerd aan een theoretische richtwaarde voor elektrische apparaten om een elektrische oplading en elektrostatische ontlading zoveel mogelijk te beperken. Deze waarde wordt getest door fabrikanten van medische apparatuur. Dit wil niet zeggen dat onder deze grens direct problemen ontstaan.

Voor PET/CT hebben de omgevingseisen een nauwere bandbreedte. Zo is de bovengrens op 75%RV en de ondergrens op 35%RV. Voor een beeldgeleide behandeling bestaan image-guided therapy platforms. Dit apparaat maakt gebruik van MRI tijdens verschillende procedures. De omgevingseisen voor dit medische apparaat ligt tussen 20%-80%RV, deze eisen zijn representatief voor een grote selectie van medische apparatuur. Hierbij is aangegeven dat de ondergrens wordt gebaseerd op het mogelijk ontstaan van ESD in het apparaat zelf en in mindere mate het uitdrogen van componenten. In de specificaties wordt aangegeven dat de vloeren bij voorkeur hout, beton of keramische tegels dienen te zijn. Indien de vloeren een synthetische oorsprong hebben wordt een ondergrens van ten minste 30%RV aangeraden<sup>18</sup>.



Tabel 7. Overzicht omgevingseisen voor relatieve vochtigheid en temperatuur voor een selectie medische apparatuur gebaseerd op gegevens fabrikant.

	RV		T		
	min	max	min	max	
Vivid E95 (cardiologie) <sup>19</sup>	30	85	10	35	operationeel
LOGIQ E10 (radiologie) <sup>20</sup>	10	95	-20	60	opslag
	30	80	10	35	operationeel
	30	80	-10	50	opslag
Vereos (PET/CT) <sup>21</sup>	35	75	18	24	
Azurion (image-guided therapy platform) <sup>18</sup>	20	80	10	30	

### 3.3 FUNCTIEVERDELING

Functies of gebieden in een ziekenhuis zijn te verdelen op basis van verschillende classificatie methoden. Zo kan een ziekenhuis een inventarisatie maken welke gebieden overeenkomstige waarden voor luchtbevochtiging behoeven. Vanuit de literatuur is er nagenoeg geen onderbouwing gevonden voor specifieke functie-gerelateerde eisen en eisen in relatie tot medisch handelen<sup>4</sup>.

In de ASHRAE richtlijn wordt een functiegroep verdeeld in verschillende ruimtes die elke hun eigen binnenklimaatseisen lijken te hebben. Zo wordt er van een grove verdeling naar een fijne verdeling in functie gewerkt. Grote verschillen in binnenklimaatseisen in een functiegroep lijken beperkt. De bovengrens voor RV is in het overgrote deel 60%, in een tweetal functies is deze 65%RV (wachtkamer spoedeisende hulp, fysiotherapie). De ondergrens, indien aanwezig, varieert wat meer. Zo is 20%RV toegestaan in veel ruimtes, is 30%RV mogelijk en is in het (brand)wondencentrum belangrijk dat er een minimale relatieve vochtigheid van 40% is om wonduitdroging te voorkomen. Met name in chirurgie en kritieke zorg bestaan verschillen in luchtbevochtigingseisen. Het kan aan te raden zijn hierin een verdere verdeling te maken om de ondergrenzen te groeperen. Indien functiegroepen aangesloten zijn op een luchtbehandelingskast en afwijkende binnenklimaatseisen hebben, is het verstandig hier overeenstemming in te bereiken.

Het College Bouw en Ziekenhuisvoorzieningen heeft een functieverdeling gemaakt op basis van activiteiten; patiëntgebonden voorzieningen waarbij patiënten wel of juist niet aanwezig zijn. Patiëntgebonden voorzieningen met aanwezigheid van patiënten zijn de verpleging, onderzoek en behandeling (specifiek), onderzoek en behandeling (niet specifiek). Specifiek onderzoek en behandeling zijn o.a. beeldvormende diagnostiek en nucleaire geneeskunde, operatieafdeling, fysiotherapie en dialyse. Niet specifiek onderzoek en behandeling omvat de spreekuurafdeling, algemeen orgaanfunctieonderzoek, poliklinische behandeling en de spoedeisende hulp. Patiëntgebonden voorzieningen zonder aanwezigheid van patiënten zijn de centrale sterilisatieafdeling, apotheek en laboratoria (o.a. klinisch-chemisch, medisch-biologisch en klinisch-pathologisch)<sup>22</sup>.

Een andere verdeling van functiegroepen die het CBZ hanteert is gebaseerd op het geldende binnenklimaat. Deze functiegroepen zijn algemene verpleging, special care en kinderverpleging, operatieafdeling, centrale sterilisatieafdeling, apotheek en klinisch-chemisch, medisch-biologisch en klinisch-pathologisch laboratorium<sup>22</sup>.

Uit de inventarisatie op basis van verschillende Nederlandse ziekenhuizen volgt dat met name de operatieafdeling als kritisch wordt gecategoriseerd als het gaat om luchtvochtigheidseisen.

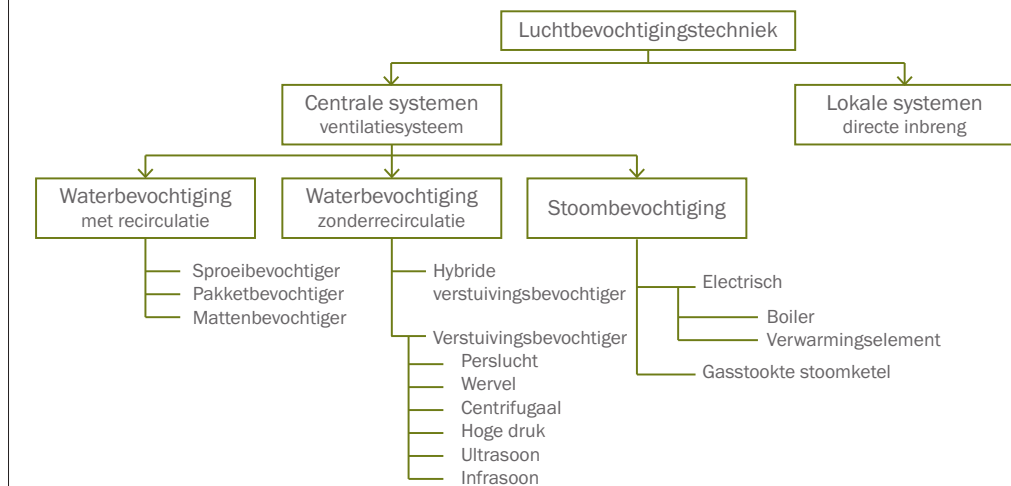
Andere kritische functiegroepen zijn de centrale sterilisatieafdeling, ICU/CCU, long(functie) afdeling, scopie-afdeling, MRI ruimte, laboratoria, farmacie/apotheek, beddenkamers en de kantoren. Hierbij zit de noodzaak tot bevochtiging met name op het gebied van thermisch comfort als er langdurig verblijf gerealiseerd wordt, op de werking van medische apparatuur om te voldoen aan de eisen van de fabrikant, en op processen die een bepaalde relatieve vochtigheid vereisen zoals bijvoorbeeld in de farmacie/apotheek.

## 4 ALTERNATIEVEN VOOR LUCHTBEVOCHTIGING

### 4.1 LUCHTBEVOCHTIGINGSTECHNIKEN

Het bevochtigen van lucht vindt plaats via water- of stoombevochtigers. Voor het rechtstreeks bevochtigen van lucht met vloeibaar water (waterbevochtiging) zijn verschillende technieken beschikbaar: sproeien, verstuiven, vernevelen of via een verdampingsoppervlak in een luchtstroom (zie ook figuur 3). Het opwekken van warmte voor stoombevochtiging gebeurt frequent met stoomketels verhit met aardgas. Opwekking gaat niet altijd via gas maar gebeurt, in mindere mate, ook middels elektriciteit. Energie die nodig is om bijvoorbeeld de lucht na te verwarmen bij waterbevochtiging kan ook uit de twee reeds genoemde energiedragers voortkomen. Als alternatieven zouden ook duurzame vormen van gas (bijvoorbeeld waterstof of biogas) onderzocht kunnen worden voor toekomstige toepassingen om alsnog traditionele vormen van stoom- en waterbevochtiging te realiseren.

Figuur 3 laat verdere onderverdeling zien voor waterbevochtiging met recirculatie van water en waterbevochtiging zonder of met in beperkte mate recirculatie van water. Bij toevoeren van bevochtigingswater door gebruik van sproeiers blijft een groot deel van het water achter in de bevochtiger. Recirculatie van opgevangen water wordt toegepast om het watergebruik te beperken. Daarnaast is een paragraaf gewijd aan stoombevochtiging en directe bevochtigers. Deze directe bevochtigers brengen, zoals de naam al zegt, vocht direct in de ruimte. Een ander systeem dat in dit rapport wordt besproken is een warmtewiel met vocht terugwinning.



Figuur 3. Overzicht van beschikbare luchtbevochtigingstechnieken.

#### 4.1.1 WATERBEVOCHTIGERSYSTEMEN MET RECIRCULATIE BEVOCHTIGINGSWATER

Deze systemen zijn onder te verdelen in sproei-, pakket-, en matten(verdamping)bevochtigers en gaan allen uit van het principe dat water wat niet in de luchtstroom is verdampt opgevangen wordt in een verzamelbak en zodoende gerecirculeerd wordt. Een deel van het water wordt middels spuiten ververst.

##### 4.1.1.1 SPROEIBEVOCHTIGER

Een sproei-bevochtiger werkt doordat fijne waterdruppeltjes via een serie sproeiers of nozzles in de lucht worden verspreid. De druppelgroottes zijn afhankelijk van de gebruikte nozzles en toegepaste druk voor het vernevelen. Een deel van deze waterdruppeltjes verdampt en draagt zo bij aan de toename van het absolute vochtgehalte van de lucht. De druppels die niet verdampen worden middels een druppelvanger opgevangen in een verzamelbak.

##### 4.1.1.2 PAKKETBEVOCHTIGER

Een pakketbevochtiger functioneert op basis van hetzelfde principe als een mattenbevochtiger. Bij dit systeem wordt een pakket van een niet water opnemend materiaal, veelal keramisch, kunststof of glas, gebruikt, Figuur 4. Hierover wordt water verdeeld dat zich door de zwaartekracht een weg door dit pakket zoekt en verdampt in de luchtstroom die ook door het pakket stroomt. Dit maakt het contact tussen de luchtstroom en het water intensiever en kan er meer

water in de lucht verdampen. Water dat niet verdampt hoeft niet via een druppelvanger afgevangen te worden maar valt aan de onderzijde van het pakket in een verzamelbak.

#### 4.1.1.3 MATTENBEVOCHTIGER

De werking van een mattenbevochtiger is gelijk aan een pakketbevochtiger met de uitzondering dat de matten vaak van een water opnemend (absorberend) materiaal zijn geproduceerd en nat worden gehouden door er fijne waterdruppels op te sproeien (in plaats van direct te bevochtigen). Deze druppels vormen een raster van stilstaande waterdruppels op de mat.



Figuur 4. Bevochtiger met wetted media ofwel, een pakket of een mat.<sup>23</sup>

#### 4.1.2 WATERBEVOCHTIGINGSSYSTEMEN ZONDER/BEPERKTE RECIRCULATIE WATER

Gebruik van verstuivers zorgt ervoor dat vocht vrijwel geheel verdampt en meegevoerd wordt in de luchtstroom. Resterend water wordt direct afgevoerd in het riool en wordt niet meer gerecirculeerd.

##### 4.1.2.1 HYBRIDE VERSTUIVINGSBEVOCHTIGER MET VERDAMPERLICHAAM

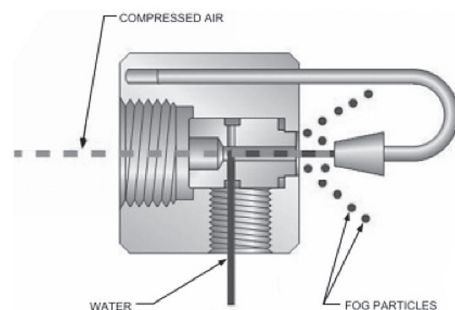
Middels verstuivers wordt water verneveld richting een poreus keramisch element. Dit zorgt ervoor dat niet verdampt water via dit element alsnog wordt opgenomen in de luchtstroom. Niet alles wordt geheel verdampt, het restant wordt afgevoerd via het riool.

##### 4.1.2.2 VERSTUIVINGSBEVOCHTIGER

Indien er geen verdampingselement aanwezig is en er alleen middels verstuiving water aan de lucht wordt toegevoegd wordt er gesproken van verstuivingsbevochtigers. Er zijn meerdere manieren waarop water verstoven kan worden. Voor de bevochtigers die met verstuiving werken geldt dat er geen sprake is van recirculatie van water, alleen bij infrasonische bevochtiging is het mogelijk dat recirculatie van water toegepast wordt.

##### 4.1.2.2.1 PERSLUCHT

Middels perslucht wordt water verneveld en aan een luchtstroom toegevoegd. Verontreinigen in de perslucht worden met een aerosolfilter gefilterd, Figuur 5.



Figuur 5. Schematische weergave perslucht bevochtiger.<sup>24</sup>

##### 4.1.2.2.2 WERVEL

Onder hoge druk wordt via een wervelwand water verneveld en in de luchtstroom ingebracht. Een aerosolfilter filtert verontreinigingen eruit.

##### 4.1.2.2.3 CENTRIFUGAAL

Centrifugaal bevochtigen gebeurt door water toe te voegen aan een snel draaiende koker, Figuur 6. Door de middelpuntzoekende kracht wordt water aan de wand uiteengeslagen, verneveld en aan de lucht toegevoegd.



Figuur 6. Centrifugaal bevochtiger.<sup>25</sup>

##### 4.1.2.2.4 HOGE WATERDRUK

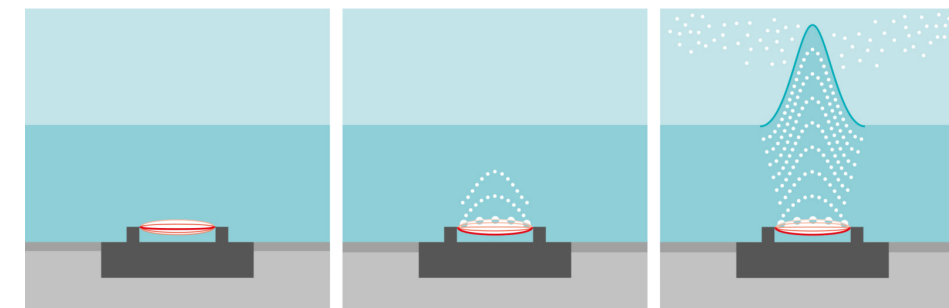
Onder hoge druk wordt water via nozzles of sproeiers verneveld en ingebracht in de luchtstroom, Figuur 7. Water wat niet verdampt wordt met een druppelvanger afgevangen en afgevoerd.



Figuur 7. Perslucht uit nozzles verneveld onder hogedruk.<sup>26</sup>

##### 4.1.2.2.5 ULTRASOON (HOOGFREQUENT)

Water komt in een waterreservoir waar metalen diafragma's in zitten. Deze trilelementen vernevelen middels hoogfrequente trillingen (ultrasoon) water wat opgenomen wordt in de luchtstroom, Figuur 8.



Figuur 8. Ultrasoon hoogfrequent bevochtigingsprincipe.<sup>27</sup>



#### 4.1.2.2.6 INFRASOON (LAAGFREQUENT)

Infrasone bevochtiging kan zowel met recirculatie als zonder recirculatie van water worden uitgevoerd. Door laagfrequente trillingen die voortkomen uit een infrasoone generator wordt onder hoge druk water verneveld. In de bevochtiger is ook een verzadigde dampdroger aanwezig.

### 4.1.3 STOOM

#### 4.1.3.1

Stoombevochtiging is een isotherm proces (een proces waarbij de temperatuur van een systeem constant blijft). De stoomopwekking kan zowel elektrisch als gasgestookt.

Het voordeel van stoombevochtiging is dat de toegevoerde stoom aan de lucht steriel is. Het energieverbruik van stoombevochtigers is echter wel hoger in vergelijking met waterbevochtiging. De stoomopwekking vindt vaak centraal plaats waarna het met leidingen naar de plaats waar de bevochtiging plaatsvindt wordt getransporteerd, dit gaat gepaard met de nodige verliezen.

#### 4.1.3.2 ELEKTRISCHE STOOMOPWEKKING

##### 4.1.3.2.1 ELEKTRODEN BOILER

Water wordt in een waterreservoir toegevoerd. Via geleiding tussen elektroden, opgewekt door elektrische spanning, wordt het water opgewarmd middels elektrolyse tot verdampingstemperatuur, Figuur 9. Vanwege de geleiding van de elektroden is onthard water aan te raden om kalkafzetting te vertragen.



Figuur 9. Elektroden boiler voor stoombevochtiging.<sup>28</sup>

##### 4.1.3.2.2 VERWARMINGSELEMENT

Het principe is gelijk aan de elektroden boiler echter wordt er van een thermisch verwarmingselement gebruik gemaakt. Dit verwarmingselement in een waterreservoir verwarmt het water tot verdampingstemperatuur. De stoom wordt middels een stoomverdeelpijp in de luchtstroom gebracht. Zowel osmosewater, onthard water als onbehandeld water kan worden gebruikt. Kalkafzetting is bij een verwarmingselement aanwezig indien onbehandeld water wordt gebruikt.

##### 4.1.3.3 GASGESTOOKTE STOOMOPWEKKING

Gasgestookte stoomopwekking kan gaan over centrale stoomopwekking die gebruik maakt van stoomketels of stoomgeneratoren, of het kan gaan over decentrale stoomopwekking waarbij één stoomvormer per luchtbehandelingskast wordt bedoeld. Stoomdistributiebuizen of stoomlansen brengen de stoom in de lucht. Het regelen van de hoeveelheid toegevoegde stoom wordt door een regelklep gedaan per luchtbehandelingskast. Onthard water wordt meestal gebruikt in dit type bevochtiger.

##### 4.1.4 DIRECTE BEVOCHTINGSSYSTEMEN (INBRENG DIRECT IN RUIMTE)

In gebouwen met functies zoals fabriekshallen, kassen en woningen is het gebruikelijk om vocht direct in de ruimte te verspreiden indien gewenst. Figuur 10. Beide principes (onverwarmd water en stoom) kunnen worden toegepast. Omdat vocht direct in een ruimte wordt geproduceerd en aan de lucht wordt toegevoegd moet bij dit soort systemen voldoende aandacht aan legionella-beheer besteed worden. Veelvoorkomende systemen voor directe bevochtiging zijn: verneveling met lage (1-6 bar wervel) druk, verneveling met water- of perslucht, rotatie bevochtigers (waaronder schijvenbevochtiger), sproeiers op een buis gemonteerd met ventilatoren (vergroten worp) en ultrasone bevochtiging.



Figuur 10. Waterbevochtiging direct in de ruimte. Worp wordt door gebruik van ventilator vergroot.

#### 4.1.5 WARMTEWIEL/ WARMTEWISSELAAR

Een warmtewiel wordt geplaatst tussen de toevoer- en afvoerlucht in een luchtbehandelingskast. Het warmtewiel roteert en draagt warmte (en koude) en vocht uit de afvoerlucht over aan de toevoerlucht. Er bestaan verschillende typen warmtewielen zoals condensatie-, enthalpie-, en sorptiewielen. Met name enthalpie- en sorptiewielen dragen naast warmte ook vocht over. Enthalpie warmtewisselaars dragen naast warmte ook vocht over. Het voordeel van een enthalpie warmtewisselaar is dat er in de winter geen condensafvoer nodig is.

### 4.2 RICHTLIJNEN AANGAANDE LUCHTBEVOCHTIGERS

In een aantal (inter)nationale normen, standaarden of richtlijnen wordt aangegeven welke luchtbevochtigingsprincipes toegestaan zijn en welke randvoorwaarden gelden om medische ruimten te voorzien van luchtbevochtiging. Zo wordt in ÖNORM H 6020 aangegeven dat luchtbevochtiging met stoom de kleinste kans heeft op microbiologische verontreinigingen. Om condensatie in de luchtkanalen te voorkomen is het noodzakelijk dat de ventilator een lange nalooftijd heeft. Indien er toch wordt gekozen om een ander bevochtigingsprincipe, buiten stoom, te gebruiken is het nodig dat de microbiologische veiligheid bewezen kan worden. Het gebruik van recirculatie water is niet toegestaan volgens deze norm<sup>11</sup>.

In de Duitse norm DIN1946-4 worden vanwege hygiëne alleen stoombevochtigers toegestaan in operatiekamers. Voor andere ruimten wordt niet nadrukkelijk aangegeven dat er met alleen stoombevochtiging mag worden bevochtigd. Ook in deze norm wordt gewaarschuwd voor de vorming van condens in de luchtkanalen, in geval van een defect en wanneer de luchtstroom te laag of niet aanwezig is. Hier wordt een richtlijn van 90%RV gegeven welke aan het eind van het luchtkanaal aanwezig mag zijn. De bevochtigingscomponenten dienen verder gemakkelijk toegankelijk te zijn om geïnspecteerd te worden en te worden schoongemaakt<sup>8</sup>.

In de ASHRAE richtlijn staat dat zowel stoombevochtiging als waterbevochtiging (hoge druk verneveling) kan worden gebruikt om de luchtbevochtiging te realiseren. Voor het gebruik van waterbevochtiging wordt aangeraden om gebruik te maken van een watervoorbehandeling met omgekeerde osmose, UV-C sterilisatie en een filter om microbiologische verontreinigingen in het voedingswater te elimineren. Ook dient er geen stilstaand water te zijn door continue te circuleren van bron naar de kleppen van de bevochtigingscomponent. Indien leidingen niet in gebruik zijn dan dienen ze compleet gedraineerd te worden<sup>29</sup>.

De HTM 03-01 (Health Technical Memorandum), uitgegeven door het Britse departement van volksgezondheid, biedt enkele aanknopingspunten als het gaat om luchtbevochtiging in zorginstellingen. Stoombevochtiging wordt als voorkeur aangeduid. In dit memorandum wordt ook periodiek onderhoud aangekaart. De luchtkanalen dienen met een goede toegang en kijkglas met verlichting te worden voorzien. Indien er lokale stoombevochtigers worden toegepast dient het water schoon te zijn en niet chemisch behandeld. Indien de waterkwaliteit niet gegarandeerd kan worden, is het mogelijk een UV systeem te installeren om microbiologische groei tegen te gaan<sup>30</sup>.

Het College Bouw Ziekenhuisvoorzieningen gaf in haar publicatie “Binnenmilieu en installatie-techniek in de zorgsector” aan dat bevochtiging het risico van microbiële groei in filters en luchttoevoerkanalen met zich meebrengt. Om legionellabesmetting te voorkomen dient luchtbevochtiging te gebeuren met stoom<sup>22</sup>. Het College Bouw en Ziekenhuisvoorzieningen is opgeheven en de publicaties worden niet meer onderhouden waardoor deze mogelijk verouderde informatie bevatten.

In de richtlijn van de Werkgroep Infectiepreventie wordt ingegaan op bevochtiging in onder andere bijzondere operatiekamers, zoals voor brandwonden, waar een nabevochtiger noodzakelijk kan zijn. Hierin wordt genoemd dat de luchtbevochtiger over het algemeen een stoombevochtiger zal zijn. Indien waterbevochtiging wordt toegepast dient gedemineraliseerd water te worden toegepast<sup>31</sup>.

#### 4.3 BEOORDELINGSCRITEIA VOOR TOEPASSING IN EEN ZORGINSTELLING

Indien luchtbevochtiging nodig is moet worden onderzocht welke alternatieven ten opzichte van stoombevochtiging geschikt zijn. In deze paragraaf wordt alleen ingegaan op de technische en organisatorische aspecten. Technische en organisatorische criteria die een rol spelen bij de beoordeling zijn:

- Investeringskosten
- Inpasbaarheid
- Operationele kosten
- Onderhoud
- Robuustheid/ storingen
- Complexiteit van het systeem
- Duurzaamheid
- Milieu (spuien chemicaliën, etc.)
- Microbiologische kwaliteit

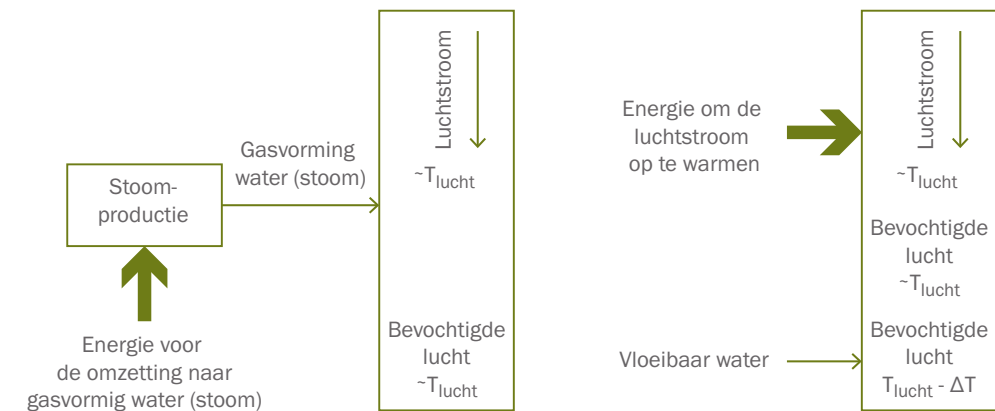
Investeringskosten en inpasbaarheid van het systeem zijn criteria die sterk afhankelijk zijn van de grootte van een ziekenhuis en de vraag naar luchtbevochtiging. Indien enkele functiegroepen van luchtbevochtiging voorzien worden scheelt dit ten opzichte van een heel ziekenhuis voorzien van luchtbevochtiging.

Operationele kosten en onderhoud zijn afhankelijk van het gebruik van luchtbevochtiging. Indien setpoints worden aangehouden die continue luchtbevochtiging noodzakelijk maakt zal er frequenter onderhoud gepleegd dienen te worden en kunnen operationele kosten stijgen. Daarnaast is men als werkgever, indien een andere bevochtigingsmethode dan stoombevochtiging toegepast wordt, 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 zal resulteren in een beheersplan waarin staat dat jaarlijks de bevochtiging op legionella wordt bemonsteren. Onderhoud van niet alleen de bevochtiger, maar ook de luchtbehandelingskast vraagt aandacht.

Er dient een gebruiks- en onderhoudsplan te zijn waar controle, inspectie, onderhoud en reiniging van de installatie en het water aan bod komen. ISSO 55.3 geeft in haar publicatie een uitgebreide lijst met informatie over welk onderhoud noodzakelijk is om het risico op micro-organismen, met name Legionella, te verkleinen en de levensduur van een installatie optimaal te benutten<sup>32</sup>. Deze aanbevelingen kunnen echter per leverancier of fabrikant afwijken en zijn lastig onderling te toetsen in een kwalitatieve analyse.

#### Duurzaamheid

Bij stoombevochtiging wordt water in de gasfase aan de luchtstroom toegevoerd. Hierdoor is in eerste instantie meer energie nodig in vergelijking met het toevoeren van water in de vloeibare fase. Bij het toevoeren van water in de vloeibare fase wordt de verdampingswarmte aan de luchtstroom onttrokken waardoor deze afkoelt, Figuur 11. Veelal is bevochtiging met name noodzakelijk bij lage buitentemperaturen. Welk principe energetisch te prefereren is, is afhankelijk van de verhouding tussen warmte en koudevraag en de opzet van het systeem.



Figuur 11 Schematische weergave van stoom- en waterbevochtiging.

De meeste bevochtigingstechnieken kunnen door gebruik te maken van hernieuwbare vormen van gas (o.a. toekomstig waterstof of biogas) als duurzaam beschouwd worden. Dit maakt duurzaamheid een lastig beoordelingscriterium. Indien er warmte benodigd is voor waterbevochtiging zou dit via duurzamere methoden zoals een warmtepomp of warmtenet opgewekt kunnen worden.

Behalve duurzaamheid in de vorm van energietransitie of het reduceren van energieconsumptie worden milieulasten ook meegenomen. Wordt er bijvoorbeeld gespuid met chemicaliën die in het milieu terecht kunnen komen.

#### Microbiologische kwaliteit

Het grote voordeel van het toevoeren van vocht in de gasfase is dat water dan al verhit is tot een temperatuur (> 100°C) waarbij vrijwel alle pathogenen (ziek makende micro-organismen) worden gedood.

Waterbevochtiging heeft extra aandacht nodig als het gaat om preventie van micro-organismen. Maar ook stoombevochtiging heeft baat bij waterbehandeling. Het doel van waterbehandeling is voornamelijk het tegengaan van vervuiling en verstopping van de sproeiers en het tegengaan van microbiologische groei<sup>32</sup>.

Om dit doel te bereiken kan voor watervoorbehandeling of waterbehandeling gekozen worden. In het eerste geval gaat het om een behandeling voordat het water de bevochtiger inkomt, in het tweede geval gaat het om waterbehandeling in de bevochtiger. Een behandeling wijzigt de kwaliteit van het water fysisch, chemisch of microbiologisch.

Systemen die geen recirculatie toepassen maken gebruik van watervoorbehandeling. Leidingwater wordt behandeld om zouten, organische stoffen, niet oplosbare deeltjes en bacteriën te verwijderen. Om bijvoorbeeld kalkaanslag (ketelsteen) te voorkomen kan gebruik worden gemaakt van een waterontharder als waterbehandeling. Onthard water heeft als nadeel dat het de kans op microbiologische groei in het water laat toenemen. Indien water niet ontkalkt is zal er bij ultrasone waterbevochtiging de kans ontstaan dat er na verdamping fijnstof ontstaat<sup>34</sup>.

Filtering via membranen is een ander type waterbehandeling. Hyperfiltratie en omgekeerde osmose zijn veel gebruikte processen voor luchtbevochtigers. Omgekeerde osmose filtert grotendeels alle bacteriën en zouten uit het water. Corrosie treedt wel sneller op door zuiverder water, dit kan tegengegaan worden door corrosiebestendige materialen toe te passen. Filtering zoals micro-, ultra-, en nanofiltratie worden ook toegepast en filteren ook bacteriën uit het water.

Waterbehandeling is gericht op het realiseren van de gewenste waterkwaliteit en kan ook bijdragen aan het bestrijden van micro-organismen o.a. legionella. Dit kan door fysische en chemische technieken. De membraantechniek is bij watervoorbehandeling al uitgelegd. Verder kan er ook gebruik gemaakt worden van ultraviolet straling, ultrasoon geluid en het verhogen van de temperatuur.

Chemische processen zijn oxidatieve en toxische processen. Voor het doden van bacteriën kunnen oxidatieve stoffen toegevoegd worden. Er moet rekening gehouden worden dat deze stoffen bij het afvoeren van water schade kunnen aanrichten en milieubelastend zijn en bij voorkeur niet moeten worden toegepast. Bacteriën kunnen ook gedood worden met voor



bacteriën giftige stoffen. Zilverionisatie is hiervan een voorbeeld. De door elektrolyse vrijgekomen zilverionen hebben een desinfecterende werking.

De Duitse richtlijn VDI 6022 geeft een overzicht voor het toepassen van controles op microbiologische kwaliteit en veiligheid (Tabel 8)<sup>33</sup>. Het bepalen van de hoeveelheid kolonievormende eenheden (KVE) kan via zogenoemde dipslides. Indien er bij drie opeenvolgende tests een niveau van minder dan 1.000 KVE/ml wordt gemeten kan de controlefrequentie omlaag. Deze richtlijn biedt informatie hoe microbiologische veiligheid is in te passen in de onderhoudscyclus van een systeem.

Tabel 8. Overzicht van de controlefrequentie voor monitoring van microbiologische veiligheid op basis van VDI 6022<sup>33</sup>.

	1 maand	3 maanden	6 maanden
<b>Bevochtigingssystemen met recirculatie</b>			
Check voor contaminatie, schade, microbiologische groei en corrosie	✓		
Bepaal de hoeveelheid kolonievormende eenheden (KVE/ml)	Semi-maandelijks		
Controleren van de nozzles	✓		
Checken van de recirculatiepomp		✓	
<b>Bevochtigingssystemen zonder recirculatie</b>			
Check voor contaminatie, schade, microbiologische groei en corrosie	✓		
Check bevochtigingscomponent			✓
Checken van de nozzles	✓		
Checken van de afvoer			✓
Bepaal de hoeveelheid kolonievormende eenheden (KVE/ml) – stoombevochtigingssystemen uitgezonderd		✓	
Check de luchtfilters		✓	
Check de luchtkanalen			✓

#### 4.4 ANALYSE BEVOCHTIGINGSTECHNIKEN

De omschreven bevochtigingstechnieken en beoordelingscriteria in de voorgaande paragraaf zijn gebruikt in een analyse. Figuur 12 in appendix B geeft een overzicht van beschikbare bevochtigingstechnieken met de systeemeigenschappen per techniek. Tabel 9 geeft een overzicht van de analyse op de beoordelingscriteria uit paragraaf 4.3 per bevochtigingstype.

Tabel 9. Analyse beoordelingscriteria per bevochtigingstype.

	Centrale stoomopwekking nodig	Investeringskosten	Inpasbaarheid	Operationele kosten	Onderhoud	Robuustheid	Complexiteit	Duurzaamheid	Milieu	Microbiologische kwaliteit
Koud water met recirculatie water	++	x	x	x	x	x	o	x	x	+ *
Koud water zonder/bepaalde recirculatie water	++	x	x	x	x	x	o	x	x	+ *
Stoom	o/--	x	x	x	x	x	o	x	x	++
Directe bevochtigingssystemen (inbreng direct in ruimte)	++	x	x	x	x	x	+	x	x	+ *
Warmtewiel	++	x	x	x	x	x	o	x	x	o

\* ++ indien poortwachter/monitoring aanwezig

#### Legenda

x afhankelijk van gebruik  
 -- zeer negatief  
 - negatief  
 o neutraal  
 + positief  
 ++ zeer positief

Zoals benoemd bij de omschrijving is het voor enkele criteria niet goed mogelijk om een beoordeling te doen gezien de afhankelijk van het gebruik van de installatie. Duurzaamheid is een criterium dat sterk afhankelijk is van de energiebron die gebruikt wordt. Indien er aardgas gebruikt wordt voor het opwekken van stoom zal dit niet een duurzame oplossing zijn, indien er echter gebruik gemaakt wordt van toekomstige hernieuwbare (duurzame) gasvormen kan ook deze vorm van bevochtigen als duurzaam beschouwd worden.

#### Waterbevochtigersystemen met recirculatie bevochtigingswater

Pakket-, en mattenbevochtigers hebben gemeen dat er lucht door een nat of bevochtigd materiaal stroomt. Een deel van het water verdampt wat resulteert in vochtige lucht. Voor deze systemen is dus geen stoomopwekking benodigd (++) . In een mattenbevochtiger wordt via een druppelvanger resterend water opgevangen in een reservoir. In een pakketbevochtiging wordt meestal geen druppelvanger geplaatst. Niet gebruikt water wordt via de verzamelbak opnieuw gebruikt. Spuien is noodzakelijk om het water te verversen en stilstaand water te voorkomen. Sproei-bevochtigers verstuiven de fijne druppeltjes direct in de droge lucht. Ook in deze bevochtiger is een druppelvanger en een verzamelbak aanwezig. Om kalkaanslag in de sproeiers te voorkomen wordt het water voorbehandeld door het te ontharden. Het is wettelijk verplicht om de verzamelbak te monitoren op microbiologische verontreinigingen (+).

#### Waterbevochtigersystemen zonder/ met beperkte recirculatie bevochtigingswater

In dit type systemen wordt over het algemeen water vanuit de waterleiding aangevoerd en direct gebruikt in verstuivers. Voor deze systemen is dus geen stoomopwekking benodigd (++) . Er is geen verzamelbak aanwezig en water wordt direct naar het riool afgevoerd en niet gerecirculeerd. Dit verkleint het risico op stilstaand water als broedplaats voor microbiologische verontreinigingen. Bij de meeste van deze bevochtigingssystemen wordt watervoorbehandeling uitgevoerd door middel van membraantechnieken zoals omgekeerde osmose of hyperfiltratie om verontreinigingen uit het water te halen. Deze filtratie kan ook in de bevochtigingssystemen zelf gedaan worden en wordt dan gezien als waterbehandeling. Het is belangrijk om deze filtratietechnieken te monitoren en tijdig onderhoud te plegen om alsnog verontreinigingen te voorkomen (+).

#### Stoom

Stoombevochtiging is een isotherm proces wat zowel in centrale luchtbehandeling als op lokale manier toegepast kan worden. Water kan worden voorbehandeld door zowel ontharden als gebruik van omgekeerde osmose. Door het verwarmen is stoom bacterievrij (++) . Neerslag van vocht in de luchtbehandelingskast vormt samen met de organische stoffen in de luchtstroom een klimaat gunstig voor bacteriële groei wat voorkomen dient te worden. Stoombevochtiging kan door elektrische stoomopwekking of gasgestookte stoomopwekking tot stand komen. Gasgestookte stoombevochtiging wordt bijna altijd centraal toegepast en in elk geval centraal opgewekt, simpelweg omdat een gasaansluiting of stoompijp in elke ruimte aansluiten niet altijd gewenst is. Centrale stoomopwekking leidt tot een hoog energiegebruik (-). Elektrische stoomopwekking zou op lokaal niveau toegepast kunnen worden (o). Wel dient de lekbak gemonitord te worden op mogelijke microbiologische verontreinigingen.

#### Directe bevochtigingssystemen

Bij directe bevochtigingssystemen wordt watervoorbehandeling toegepast. Gelijk aan bevochtigingssystemen zonder of met beperkte recirculatie zijn membraantechnieken veel gebruikt. Het is belangrijk de filtratietechnieken te monitoren en op tijd onderhoud te plegen om verontreinigingen te voorkomen (+).

#### Warmtewiel

Belangrijk is dat bij een warmtewiel dat in bedrijf is, het goed onderhouden wordt en bij voorkeur een spoelzone heeft. Met name enthalpie- en sorptiewielen kunnen, in vergelijking met een condensatiewiel, een extra energiebesparing realiseren bij onder andere het koelen van de inkomende lucht in de zomer (++) . Een condensatiewiel heeft als doel voelbare warmteterugwinning te realiseren (temperatuur is belangrijker dan luchtvochtigheid). Als er comforteisen worden gesteld dient men rekening te houden met aanvullende bevochtiging indien een warmtewiel in deellast draait (en het vochtrendement lager is). Een slecht onderhouden of foutief geplaatst warmtewiel (drukhiërarchie) kan grote lucht lekkages vertonen, afgevoerde lucht komt in de schone toevoerlucht terecht, en kan daarmee een risico vormen bij de verspreiding van geur, micro-organismen en virussen (o).

## 5 DISCUSSIE

De inventarisatie van de huidige praktijk in Nederlandse ziekenhuizen laat zien dat veelal een nauwe bandbreedte voor de relatieve vochtigheid wordt toegepast om het zekere voor het onzekere te nemen, terwijl daar geen aanleiding of duidelijke argumentatie voor is. Er komt naar voren dat kritische locaties nauw geregeld worden rondom een setpoint voor relatieve vochtigheid of absoluut vochtgehalte. Voor andere functies wordt gekeken of er luchtbevochtiging noodzakelijk is voor het proces wat plaatsvindt in die ruimtes. In een groot deel van de ziekenhuizen uit de inventarisatie worden de luchtbevochtigingseisen die gelden voor bijvoorbeeld operatieafdelingen doorgetrokken naar het gehele ziekenhuis zonder dat naar aanwezige processen of de aanwezigheid van medische apparatuur gekeken wordt waar specifieke omgevingseisen voor gelden. Hierin is ruimte om van een strikte regeling naar een regeling binnen een bandbreedte te gaan. Zo kunnen bijvoorbeeld functies waarin patiënten en medewerkers (langdurig) verblijven de range zoals toegestaan binnen de thermisch comfortrichtlijnen als uitgangspunt worden genomen.

De literatuurstudie heeft als conclusie dat er geen eenduidige uitspraken kunnen worden gedaan over luchtbevochtiging in ziekenhuizen<sup>4</sup>. Enerzijds omdat er weinig studies zijn in een ziekenhuisomgeving gericht op luchtbevochtiging, anderzijds omdat gepubliceerde studies een brede range aan luchtbevochtigingseisen laat zien. Vanuit het medisch handelen is er geen relatie met de minimale of maximale vochtigheid gevonden. Wel is er voor het toepassen van specifieke medische apparatuur een ondergrens te geven. De relatieve vochtigheid heeft voor verschillende micro-organismen en virussen variërende grenzen m.b.t. de mogelijkheden voor groei c.q. het infectieus blijven. In welke mate dit bijdraagt aan het aantal (kruis)besmettingen is niet aan te geven. Ook blijkt uit de literatuurstudie dat lage vochtigheden (veelal lager dan 30%RV) kunnen leiden tot comfort en fysiologische klachten o.a. droge ogen<sup>4</sup>. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het programma van eisen Gezonde Kantoren 2018 alleen voor klasse A 'zeer goed' een ondergrens van 35% wordt aanbevolen en bevochtiging in veel kantooromgevingen niet wordt toegepast waardoor het aantal klachten dat door een lage vochtigheid ontstaat blijikbaar als acceptabel wordt gezien.<sup>2</sup>

In de geraadpleegde normen, standaarden en richtlijnen staan verschillende richtwaarden voor relatieve vochtigheid voor ziekenhuizen. Waarop deze eisen gebaseerd zijn is veelal onduidelijk. Het heeft er alle schijn van dat deze waarden meer gebaseerd zijn op hoe het altijd is gedaan dan op wetenschappelijk onderzoek. In de meeste publicaties zijn er verschillende luchtvochtigheidseisen voor verschillende functiegroepen. Deze publicaties zijn gevoelig voor interpretatie. Zo wordt er voor een aantal functies alleen een bovengrens voor relatieve vochtigheid gegeven terwijl voor andere functies zowel een onder- als bovengrens wordt aangedragen.

Om perspectief voor een alternatief bevochtigingssysteem te kunnen bieden is een analyse uitgevoerd met de kwaliteiten en risico's in kaart gebracht. In de analyse blijkt het lastig te zijn om een kwalitatieve vergelijking te maken van bevochtigingstechnieken als het gaat om energieverbruik en onderhoud. Onderhoud is lastig te vergelijken tussen verschillende technieken. Het is belangrijk om goed onderhoud en controle te realiseren, echter is het staven met getallen zoals onderhoudsintervallen en kosten sterk afhankelijk van het gebruik van luchtbevochtiging en de wijze waarop dit binnen een organisatie is georganiseerd (proces). Wel is duidelijk dat indien een ander type luchtbevochtigingsinstallatie dan stoombevochtiging wordt verkozen dat men dan vanuit de Arbo wettelijk verplicht is om jaarlijks op legionella te bemonsteren.

Bij het gebruik van waterbevochtiging is het naverwarmen (of overmatig voorverwarmen om efficiënt vocht in de luchtstroom te verkrijgen) van de luchtstroom soms noodzakelijk om de gewenste toevoertemperatuur te bereiken. Hoe dit het energieverbruik beïnvloedt, is via een kwalitatieve analyse niet goed uit te drukken en behoeft praktijkgegevens voor kwantitatieve analyse. Uiteindelijk moet de benodigde warmte voor de verdamping van het ingebrachte vocht worden toegevoerd.

Enkele technieken zijn meer marktrijp specifiek voor de zorgsector dan andere technieken. Deze randvoorwaarde is buiten de analyse gelaten omdat alle bevochtigingstechnieken voor een sector (niet uitsluitend zorg) beschikbaar zijn en deze dus allen marktrijp zijn. Capaciteit van een systeem is indirect meegenomen door toe te kennen of een bevochtigingstechniek op centraal of lokaal niveau toegepast kan worden.

## 6 CONCLUSIE

Het onderzoek behelst de onderzoeksvraag "op welke alternatieve, meer energievriendelijke wijze, kan bevochtiging worden gerealiseerd? Dit met inachtneming van de patiëntveiligheid en comforteisen van de gebouwgebruikers" te beantwoorden. Dit is gedaan door een inventarisatie bij Nederlandse ziekenhuizen en een analyse van bevochtigingstechnieken.

### 6.1 INVENTARISATIE

De huidige gehanteerde eisen in ziekenhuizen zijn strikt als het gaat om operatieafdelingen. Dit wordt vaak doorgetrokken naar andere functiegroepen of zelfs het gehele ziekenhuis.

Vanuit het medisch handelen is er geen relatie met de minimale of maximale vochtigheid gevonden. Wel is er voor het toepassen van specifieke medische apparatuur een ondergrens te geven vanuit het oogpunt van aansprakelijkheid. Dit wil niet zeggen dat er onder deze grens problemen ontstaan.

Stoombevochtiging wordt momenteel het meest toegepast. Het produceren van stoom is een energie-intensief proces. Ziekenhuizen zijn echter bezig met analyses en overwegingen voor het toepassen van alternatieven (zoals waterbevochtiging) hiervoor. Ook is er aandacht voor de vraag of luchtbevochtiging in het gehele ziekenhuis noodzakelijk is.

### 6.2 ALTERNATIEVEN VOOR STOOMBEVOCHTING

Indien luchtbevochtiging toegepast wordt, zijn er meerdere bevochtigingstechnieken beschikbaar. Stoombevochtiging wordt als toepassing aangeraden door verschillende normen, standaarden en richtlijnen om het risico tot microbiologische verontreinigingen zo klein mogelijk te houden. Een alternatief voor stoombevochtiging is het toepassen van waterbevochtiging. Waterbevochtiging vereist geen opwarming van het water, en dus geen extra energie, om in de luchtstroom te verdampen te worden is. Welk principe energetisch het meest efficiënt is kan niet eenduidig worden aangegeven omdat dit mede afhankelijk is van het niveau van de vereiste vochtigheid en de invloed op het voor- of naverwarmen van de luchtstroom bij waterbevochtiging. Indien waterbevochtiging wordt toegepast dient de microbiologische veiligheid te zijn aangehouden. Als werkgever is men vanuit de Arboretgeving (art. 4.87b) wettelijk verplicht, indien men een andere bevochtigingstechniek dan stoombevochtiging toepast, om een Risico inventarisatie en evaluatie (RI&E) op te stellen waaruit blijkt dat legionella doeltreffend wordt beheerst. Dit zal resulteren in een beheersplan waarin staat dat jaarlijks de bevochtiging op legionella wordt bemonsteren. Waterbevochtigingssystemen met recirculatie van water wordt in het algemeen afgeraden. Er zijn mogelijkheden om waterbevochtigingssystemen geschikt te maken in de zorgsector. Zo dient er geen stilstaand water aanwezig te zijn en moet gezorgd worden dat ongebruikte leidingen gedraineerd worden als deze niet worden gebruikt. Om microbiologische verontreinigen te verwijderen kan gebruik gemaakt worden van extra filtratie (omgekeerde osmose of hyperfiltratie) of UV sterilisatie in het systeem.

Als alternatieve energiebron zouden ook duurzame vormen van gas (bijvoorbeeld waterstof of biogas) gebruikt kunnen worden. Stoombevochtiging kan dan alsnog gerealiseerd worden met de bijbehorende voordelen op microbiologisch vlak.

Om de energietransitie te bewerkstelligen kan er ook gekozen worden voor elektrische stoombevochtiging via een elektroden boiler of een verwarmingselement.

Functiegroepen waar vanwege aansprakelijkheidsredenen omgevingseisen van medische apparatuur leidend zijn voor luchtbevochtiging kunnen nader bekeken worden. Indien de functie slechts enkele ruimtes bevat is het gebruik van lokale bevochtigingssystemen voor de hand liggend, mits intensief gemonitord wordt op microbiologische kwaliteit. Indien er volledige afdelingen zijn die vanwege specifieke processen (onder andere farmacie en laboratoria) een luchtbevochtigingseis hanteren is het vanuit duurzaamheidsoogpunt aan te raden om te kijken naar hernieuwbare vormen van gas voor toekomstig gebruik. Dit kan voor zowel stoom- als waterbevochtiging een meerwaarde zijn daar stoombevochtiging veel energie behoeft om stoom te produceren en waterbevochtiging energie behoeft om de luchtstroom na te verwarmen.

### 6.3 AANBEVELINGEN

Het kan zinvol zijn een onderverdeling te maken naar afdeling, functiegroepen of ruimten met specifieke medische apparatuur waarvoor wel of geen bevochtiging toe moet worden gepast. Indien functiegroepen aangesloten zijn op dezelfde luchtbehandelingskast maar afwijkende binnenklimaatseisen hebben, moet overeenstemming worden bereikt over het niveau van de RV of moeten voor specifieke ruimtes aanvullende maatregelen worden getroffen.

Bij waterbevochtiging is het controleren van de microbiologische veiligheid wettelijk verplicht om de veiligheid te waarborgen. Op welke wijze en de frequentie waarop de monitoring dient plaats te vinden moet nader worden onderzocht en vervolgens afgestemd binnen de betreffende organisatie. Voor legionella is dit vastgelegd in o.a. ISSO 55.3, echter zijn er meerdere microbiologische verontreinigingen die een dergelijk protocol behoeven.

## 7 LITERATUURLIJST

1. Loomans MGLC, Cox CWJ. *Literature Rv Health.Pdf*. Delft, The Netherlands: TNO; 2001.
2. Platform Gezond Binnenklimaat. *PROGRAMMA VAN EISEN Gezonde Kantoren 2018.*; 2018.
3. Ferreira Porto CT. *Towards Zero Energy Hospital Buildings: Energy Savings through Central Steam Systems Analysis and Alternative Humidification Scenarios.*; 2020.
4. Huisman E, Loomans MGLC, Traversari AAL, Kompatscher K, Kort HSM, Maassen W. *Bevochtigingseisen in de Zorghuisvesting Kennisbasis En Praktijk.*; 2021.
5. Macdonald AG. *A Short History of Fires and Explosions Caused by Anaesthetic Agents*. Vol 72.; 1994. doi:10.1093/bja/72.6.710
6. Lamb H. Anesthetic explosion hazards and precautions. [https://www.aana.com/docs/default-source/exec-unit-aana-com-web-documents-\(all\)/archives-library/lamb\\_anesthetic\\_explosion.pdf?sfvrsn=a5be4edb\\_5](https://www.aana.com/docs/default-source/exec-unit-aana-com-web-documents-(all)/archives-library/lamb_anesthetic_explosion.pdf?sfvrsn=a5be4edb_5). Published 1941. Accessed December 7, 2020.
7. ASHRAE. Humidity control events in perioperative care areas. 2017:67-73. doi:10.1007/978-3-319-43210-6\_7
8. DIN 1946-4:2008. Ventilation and air conditioning - Part 4: VAC systems in buildings and rooms used in the health care sector. DIN. 2008;(December).
9. NEN-EN. 16798-3:2017 Energieprestatie van gebouwen. 2017.
10. NEN-EN. 16798-1:2019 Energieprestatie van gebouwen M1-6. 2007.
11. ÖNORM. H 6020. 2007.
12. UNI. 11425 Ventilation and air-conditioning system with controlled contamination (VCCC) for surgery unit. 2011.
13. College bouw ziekenhuisvoorzieningen. Bouwkundig functionele beoordelingsmaatstaven ten behoeve van nieuwbouwplannen voor een operatieafdeling. 1981.
14. College bouw ziekenhuisvoorzieningen. Operatieafdeling Bouwmaatstaven Voor Nieuwbouw.; 2004.
15. Werkgroep Infectie Preventie (WIP). Luchtbehandeling in operatiekamer en opdekruimte in operatieafdeling klasse 1. 2014;(november):1-69.
16. Werkgroep Infectie Preventie (WIP). Richtlijn Luchtbehandeling in operatiekamers en behandelkamers. 2020.
17. Loomans M, Cox CWJ. Grenzen voor de relatieve vochtigheid van het binnenklimaat: een beoordeling op basis van een literatuurstudie. *TVVL Mag.* 2002;6(2002):28-34. <https://research.tue.nl/en/publications/boundaries-for-the-relative-humidity-in-the-indoor-environment-an>.
18. Koninklijke Philips N.V. Azurion Instructions for use. 2017.
19. GE Healthcare. Vivid95 Technical Publication. 2020:1-68.
20. GE Healthcare. LOGIQ E10 Technical Publication. 2020.
21. Koninklijke Philips N.V. Philips Vereos Digital PET/CT Product specifications Contents.
22. College bouw ziekenhuisvoorzieningen. Binnenmilieu en installatietechniek in de zorgsector. 2002.
23. <https://www.dristeem.com/products/evaporative-cooling-humidification/wetted-media>.
24. <https://www.esmagazine.com/articles/97562-the-why-what-and-how-of-data-center-humidification>.
25. <https://www.airsain.nl/industrie-bevochtiger-franco-ux56m>.
26. <https://www.condair.nl/luchtbevochtiging/adiabatisch-luchtbevochtigers/condair-hp-hogedruk-luchtbevochtiger>.
27. <https://www.stulz-benelux.com/nl/cybersonic/functies/>.
28. <https://www.horos.nl/electrische-elektrode-drukloze-stoombevochtiging/>.
29. ASHRAE. Standard 170-2017 Ventilation of Health Care Facilities. 2017.
30. Departement of Health. *HTM 03-01 Part A: Heating and Ventilation Systems Health Technical Memorandum Specialised Ventilation for Healthcare Premises.*; 2007.
31. Werkgroep InfectiePreventie (WIP). Beheersplan Luchtbehandeling voor de Operatieafdeling. 2005. [http://www.vhig.nl/infocenter/informatief/OK beheersplan definitieve versie maart 05 doc.doc](http://www.vhig.nl/infocenter/informatief/OK%20beheersplan%20definitieve%20versie%20maart%2005%20doc.doc).
32. ISSO. *ISSO 55.3 Legionellapreventie in Koeltorens En Luchtbevochtigers.*; 2014.
33. Verein Deutsche Ingenieure. VDI Richtlinien 6022 - Blatt 1. 2006.
34. Umezawa. *Effect of aerosol particles generated by humidifiers on the lunch in mouse. Particle and Fibre Toxicology* 2013, pp. 10:64

# A VRAGENLIJST

Semigestructureerde vragenlijst

## Algemene informatie

1. Ziekenhuis
2. Naam contactpersoon
3. Functie
4. Aandachtsgebieden

## Luchtbevochtiging

5. Wordt er gebruik gemaakt van luchtbevochtiging in het ziekenhuis?
6. Hoe wordt er bevochtigd (stoom/water et cetera)?
7. Wordt er in het gehele ziekenhuis bevochtigd?
8. Zo ja, wordt er centraal of decentraal bevochtigd (luchtbehandelingskast of lokale bevochtigers)?
  - a. Wordt er centraal of decentraal (thermostaten) geregeld?
  - b. Hebben gebruikers van een ruimte mogelijkheid om de relatieve vochtigheid aan te passen?

## Setpoints

9. Op welke setpoints wordt er geregeld (eventueel absoluut vocht setpoints)?
10. waar komen de setpoint getallen vandaan? Wat is de onderliggende richtlijn/notitie/ervaring geweest?

## Functiegroepen

11. Zijn er functies/gebieden/afdelingen die andere klimatologische eisen hebben en dus andere setpoints?
12. Zo ja, welke gebieden en welke setpoints worden daar gehanteerd indien afwijkend?
13. Voor welke ziekenhuislocaties geldt dit indien er meerdere gebouwen zijn?



## B OVERZICHT BEVOCHTIGINGSTECHNIEKEN

	Isotherm	Adiabatisch	Centraal toepasbaar	Lokaal toepasbaar	Directe toevoer via leiding	Waterreservoir aanwezig	Druppelvanger aanwezig	Watervoorbehandeling		Water-behandeling
								Voorkeur aanvullende voorbehandeling voor hygiëne Waterontharding	Membraantechniek (omgekeerde osmose, hyperfiltratie) of filtratie (nano-, ultra- en microfiltratie)	
<b>Koud water met recirculatie water</b>										
sproei-bevochtiger		x	x	x		x	x	x		x
pakketbevochtiger		x	x	x		x		x		x
mattenbevochtiger		x	x	x		x	x	x		x
<b>Koud water zonder/ beperkte recirculatie water</b>										
hybride verstuiwingsbevochtiger		x	x	x	x			x		x
verstuiwingsbevochtiger										
perslucht		x	x	x	x		x			x
wervel		x	x	x	x		x	x		x
centrifugaal		x	x		x		x			x
hoge waterdruk		x	x		x		x			x
ultrasoon (hoogfrequent)		x	x	x		x	x			x
infrasoos (laagfrequent)		x	x	x	x		x			x
<b>Stoom</b>										
elektrische stoomopwekking										
elektrodenboiler	x			x		x	x	x		x
verwarmingselement	x		x	x		x	x	x		x
gasgestookte stoomopwekking	x		x			x	x	x		x
<b>Directe bevochtigingssystemen (inbreng direct in ruimte)</b>										
verneveling hoge druk		x		x	x			x		x
verneveling lage druk		x		x	x			x		x
water/persluchtbevochtiger		x		x	x			x		x
rotatiebevochtiger		x		x	x			x		x
nozzles op buis met ventilatoren		x		x	x			x		x
ultrasone bevochtiging		x		x		x		x		x

**TNO** innovation  
for life

**TNO.NL**