

Adiabatische bevochtiging in ziekenhuizen

Kwalitatief onderzoek

TNO 2025 R11952 – 22 oktober 2025

Adiabatische bevochtiging in ziekenhuizen

Kwalitatief onderzoek

Auteurs	Danilo Remmers, MSc Dr. ir. Karin Kompatscher
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	30 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	1

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Samenvatting

In het kader van verduurzaming binnen de zorgsector onderzoekt TNO de toepassing van adiabatise luchtbevochtiging als alternatief voor de gangbare stoombevochtiging in ziekenhuizen. Adiabatise bevochtiging vereist geen gasgestookte stoomketels en sluit mede daardoor meer aan bij de energietransitie, maar brengt mogelijk door afwezigheid van verhitte microbiologische risico's met zich mee. Dit kwalitatieve onderzoek beoogt inzicht te geven in deze risico's en mitigerende maatregelen.

Het onderzoek richt zich op twee hoofdvragen:

1. Welke mitigerende maatregelen zijn minimaal noodzakelijk om aerogene verspreiding en blootstelling aan micro-organismen te minimaliseren?
2. Welke microbiologische eisen (kve/m^3) zouden gesteld moeten worden aan de lucht die het bevochtigingssysteem verlaat?

De aanpak bestond uit a) literatuuronderzoek en b) interviews, locatiebezoeken en microbiologische monsterafnames bij zes Nederlandse ziekenhuizen die reeds een adiabatise systeem in gebruik hebben. De interviews richtten zich op toepassing, monitoring en onderhoud van adiabatise systemen. Monsterafnames vonden plaats op kritische locaties binnen de installaties.

Er zijn weinig specifieke richtlijnen voor adiabatise bevochtiging in ziekenhuizen. De ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021 is de enige standaard die expliciete eisen stelt, zoals het gebruik van RO-water, UV-C behandeling en submicronfilters. De Duitse VDI 6022 biedt algemene richtlijnen voor microbiologische monitoring, maar verwijst niet specifiek naar adiabatise systemen.

Ziekenhuizen hanteren uiteenlopend beleid ten aanzien van luchtbevochtiging. Sommige bevochtigen het hele gebouw, anderen hanteren het principe "geen bevochtiging, tenzij". De overstap naar adiabatise bevochtiging is vooral ingegeven door duurzaamheids-overwegingen, zoals gasloze klimaatbeheersing en energiebesparing. Wel zijn er vragen over microbiologische veiligheid. Een beperkt aantal ziekenhuizen voert microbiologische monitoring uit in de luchtstroom. Er is behoefte aan gestandaardiseerde protocollen. Alle installaties gebruiken RO-water en filters (ePM_{10} , 50-65%) / (ePM_{10} , 80%)), en sommige maken gebruik van zilverionen in het water of het materiaal. Onderhoud wordt meestal uitbesteed, maar de aanpak varieert sterk per leverancier en systeemtype. Swabs tonen aan dat aanzuigkanalen, lekbakken en RO-water potentiële bronnen zijn van microbiologische verontreiniging. De aanwezigheid van sporenvormers en koloniën onderstreept het belang van structurele monitoring.

Twee risicofactoren zijn geïdentificeerd: microbiologische groei in de installatie en mogelijk microbiologische verontreiniging in de lucht. Mitigerende maatregelen zoals RO-water, zilverionen, UV-behandeling, spoelcycli en HEPA-filters hebben wisselende effectiviteit per component. Vooral vochtige onderdelen zoals lekbakken, druppelvangsters en bevochtigingspakketten vormen een verhoogd risico.

Adiabatise luchtbevochtiging vereist minimaal het gebruik van RO-water om microbiologische verontreiniging te voorkomen. Regelmatige visuele inspectie van vochtige

componenten zoals nozzles, lekbakken en druppelvangers is essentieel, evenals het uitvoeren van water-, lucht- en oppervlakte-bemonstering op kritische locaties. HEPA-filters bieden effectieve bescherming tegen verspreiding via de lucht, maar zijn als maatregel kostbaar. Spoelcycli en onderhoud zijn noodzakelijk, vooral bij stilstand van het systeem. Een spoelcyclus zal echter geen biofilm wegspoelen als zich die eenmaal heeft gevormd. De lekbak en het aftappunt van RO-water vormen de grootste risico's op microbiologische groei. Er zijn geen vastgestelde microbiologische grenswaarden gevonden in de beschouwde literatuur voor de luchtkwaliteit na bevochtiging, wat de noodzaak onderstreept voor gestandaardiseerde monitoring en richtlijnen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	6
1.1 Doel	6
1.2 Onderzoeksvragen	7
2 Methode	8
2.1 Gericht literatuuronderzoek	8
2.2 Semi-gestructureerde interviews en locatiebezoeken	8
2.3 Monsterafname	9
2.4 Kwalitatieve risicoanalyse	10
3 Resultaten	11
3.1 Huidige normen en richtlijnen voor monitoring en mitigerende maatregelen	11
3.2 Inzichten uit de praktijk	14
3.3 Monsterafname	18
3.4 Kwalitatieve risicoanalyse	20
4 Discussie	23
4.1 Limitaties	24
5 Conclusie	25
6 Literatuurlijst	27
Ondertekening	28
Bijlage	
Bijlage A: Semi-gestructureerde interview vragenlijst	29

1 Inleiding

Luchtbevochtiging, waaronder stoombevochtiging, is een energie-intensief proces en vanwege de verduurzamingsopgave waar de zorgsector voor staat, wordt dan ook gezocht naar alternatieven voor stoombevochtiging. Stoombevochtiging is momenteel de meest gangbare techniek in Nederlandse ziekenhuizen waarbij meestal gebruik wordt gemaakt van gasgestookte stoomketels voor de productie van stoom.¹ Uit onderzoek blijkt dat luchtbevochtiging in een ziekenhuisomgeving niet altijd noodzakelijk is, al kan dit echter in enkele functies ten aanzien van comfortbeleving of in aanwezigheid van bepaalde medische apparatuur wel gewenst zijn.² Een minder energie-intensief alternatief is adiabatisch bevochtigen^a. Hierbij wordt geen opwarming en faseovergang (van vloeibaar naar gasvormig) van het toegevoerde vocht toegepast maar wordt water direct verneveld of verdampt in de luchtstroom. Voor adiabatische bevochtiging is dan ook geen aardgas nodig voor de productie van stoom. Wel is bij deze techniek naverwarming nodig om de luchtstroom op de gewenste temperatuur te krijgen en het water veelal voor te behandelen, wat beiden tot extra energieverbruik kan leiden.

Er is op dit moment echter nog geen eenduidig beeld over de risico's met betrekking tot de microbiologische veiligheid van adiabatische bevochtiging en daarmee effecten die dit kan hebben op de gezondheid van patiënten, medewerkers en bezoekers in ziekenhuizen. Bij stoombevochtiging wordt aangenomen dat dit microbiologisch veilig is vanwege de verhitting van het toegevoerde water tot het kookpunt. Hoewel dit principieel klopt, geldt deze bewering specifiek voor het toevoerwater en is er niet direct aangetoond dat stoombevochtiging in zijn geheel microbiologisch veilig is. Zo zou er bijvoorbeeld condens kunnen ontstaan aan oppervlakten in de luchtkanalen rond en na de bevochtigingsinstallatie, waar vervolgens alsnog micro-organismen kunnen groeien. Gezien het water bij adiabatisch bevochtigen een lagere maximumtemperatuur bereikt, roept dit vragen op met betrekking tot de mogelijkheid dat micro-organismen zich in het systeem zouden kunnen ontwikkelen. Als micro-organismen een biofilm zouden kunnen vormen in het systeem en als blijkt dat dit leidt tot verspreiding van micro-organismen via de luchtstroom in ziekenhuizen, dan zou dit schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van werknemers en patiënten, zeker als laatstgenoemde groep zich in een reeds kwetsbare staat bevindt.

1.1 Doel

Het doel van het kwalitatieve onderzoek is duidelijkheid te genereren of luchtbevochtiging via een adiabatisch luchtbevochtigingssysteem al dan niet voor verhoogde risico's van microbiologische verontreinigingen zorgt ten opzichte van een stoombevochtigingssysteem.

^a Hoewel adiabatische luchtbevochtiging over het algemeen minder energie-intensief is dan stoombevochtiging, hangt het daadwerkelijke verschil af van verschillende factoren. Zo wordt er hierbij in de regel gebruik gemaakt van RO-water en van verwarmende elementen. Dit soort toevoegingen kunnen de theoretische energiebesparing in de praktijk beperken, afhankelijk van het energieverbruik van deze componenten.

1.2 Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen zijn geformuleerd:

1. *Welke mitigerende maatregelen zijn met de huidige kennis bij adiabatische luchtbevochtigingssystemen minimaal noodzakelijk om de kans op aerogene verspreiding en blootstelling aan micro-organismen en schadelijke bijproducten te minimaliseren?*
2. *Welke microbiologische eisen in termen van maximale niveaus kolonievormende eenheden (kve/m³) in de lucht zouden gesteld moeten worden aan de lucht bij het verlaten van het adiabatische bevochtigingssysteem?*

2 Methode

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is in deze kwalitatieve risicoanalyse een mixed-methods aanpak gebruikt, bestaande uit de volgende methoden:

1. Gericht literatuuronderzoek naar monitoring van bevochtiging in richtlijnen;
2. Semi-gestructureerde interviews en locatiebezoeken;
3. Kwalitatieve risicoanalyse.

2.1 Gericht literatuuronderzoek

Met het literatuuronderzoek is gekeken naar de (inter)nationale richtlijnen en normen rondom microbiologische veiligheid en het monitoren hiervan voor adiabatische luchtbevochtiging.

Op basis van eerdere bevindingen¹ binnen TNO is een lijst opgesteld met de meest relevante richtlijnen. Voor elke richtlijn in deze lijst is onderzocht of er sinds 2021 nieuwe toevoegingen of revisies zijn gepubliceerd. Dit referentiejaar is gebaseerd op eerder onderzoek van TNO waarin dergelijke richtlijnen van belang waren¹. De richtlijnen zijn vervolgens gecontroleerd op verwijzingen naar luchtbevochtiging, waarna er is onderzocht of er sinds 2021 wijzigingen zijn gemaakt met betrekking tot adiabatische luchtbevochtiging en specifiek in (microbiologische) monitoringsprotocollen.

2.2 Semi-gestructureerde interviews en locatiebezoeken

Om informatie te verzamelen over mogelijke microbiologische risico's en mitigerende maatregelen met betrekking tot het gebruik en onderhoud van adiabatische bevochtigingsinstallaties zijn bezoeken gebracht aan Nederlandse ziekenhuizen voor interviews en het afnemen van monsters uit de betreffende adiabatische bevochtigingsinstallaties. Op basis van de beschikbare bronnen (portefeuilleroutekaarten) binnen TNO zijn er negen Nederlandse ziekenhuizen bekend die een adiabatische bevochtigingsinstallatie in gebruik hebben. Acht ziekenhuizen zijn benaderd om bij te dragen aan het onderzoek. Bij zes ziekenhuizen zijn interviews op locatie gehouden, gevolgd door monsterafnames in ten minste een van de aanwezige adiabatische bevochtigingsinstallaties.

2.2.1 Interviews

De interviews zijn gehouden aan de hand van een vooraf opgestelde vragenlijst (Semi-gestructureerde interview vragenlijst Bijlage A), gericht op het verkrijgen van antwoorden vanuit de afdelingen verantwoordelijk voor facilitaire zaken en die gaan over hygiëne en infectiepreventie. Ziekenhuizen zijn gevraagd om betrokkenen van beide afdelingen bij het interview te laten aansluiten.

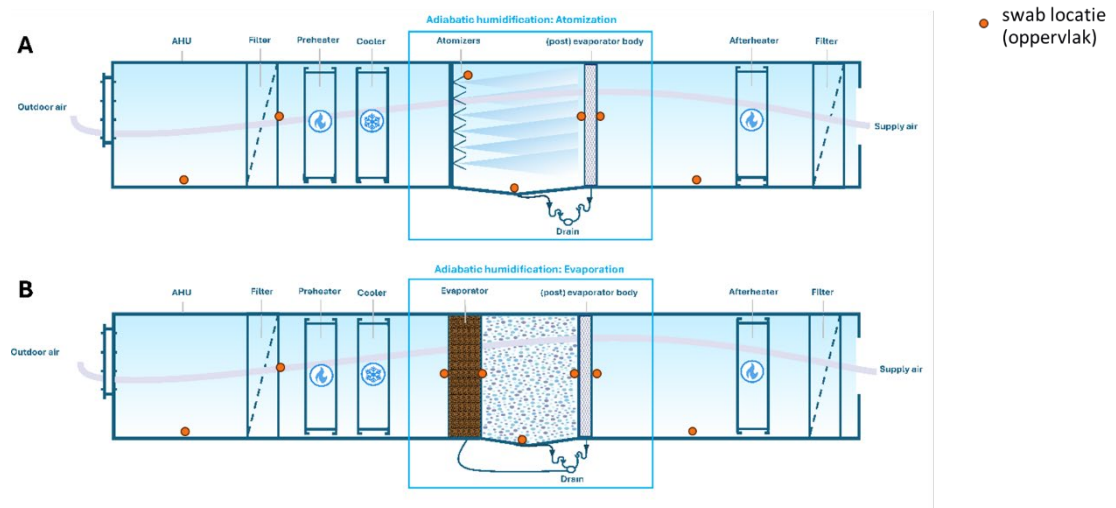
De interviews zijn semi-structureel opgezet. Binnen de volgende hoofdonderwerpen zijn detailvragen gesteld:

- Waar wordt het systeem toegepast (welke afdeling(en)),
- Welke eisen worden er aan lucht gesteld,
- Microbiologische monitoring van het systeem,
- Mitigerende maatregelen,
- Opvallende waarnemingen binnen de systemen.

2.3 Monsterafname

Monsterafname is gedaan op locaties waar dit mogelijk was. Figuur 1 geeft voor twee adiabatische bevochtigingsprincipes de locaties weer waar microbiologische oppervlakteswabs zijn genomen. Deze schematische weergave kan afwijken van de daadwerkelijke installatie of exacte bemonsteringspositie in de praktijksituatie. Idealiter worden swabs genomen in het kanaal van de inkomende lucht, na het voorfilter, van de nozzles van de vernevelaar, de lekbak, en indien aanwezig aan de in- en uitgaande zijde van de na-verdamper (in Figuur 1 als “(post) evaporator body” rechts van de vernevelaars of het verdampingspakket). Als laatste een swab van het kanaal na de na-verdamper. Monsterafname is in dit onderzoek beperkt tot oppervlakteswabs om locaties waar mogelijke biofilm-vorming kan plaatsvinden in kaart te brengen. Uiteraard zijn luchtsamples zeer waardevol om te bepalen wat er zich in de luchtstroom bevindt. Dit is omwille van de scope niet meegenomen.

Het tweede systeem werkt met een pakketbevochtiger, hier wordt water aan de bovenzijde over een pakket ingebracht en verdampt het. In de meeste gevallen zit hier geen na-verdamper achter. Ook hier worden idealiter swabs genomen in het kanaal van de inkomende lucht, na het voorfilter, aan de in- en uitgaande zijde van het bevochtigingspakket, de lekbak, en indien aanwezig aan de in- en uitgaande zijde van de na-verdamper. En als laatste een swab van het kanaal na de na-verdamper.



Figuur 1. Locaties voor oppervlakte swabs binnen een adiabatisch luchtbevochtigingssysteem dat gebruik maakt van verneveling (A) en een systeem dat gebruik maakt van pakketbevochtiging (B). Aangepast op basis van Van Rheenen et al.^b

Het uitvoeren van een oppervlakteswab gebeurt als volgt. Een oppervlak van 10 cm² wordt bemonsterd indien mogelijk (bij de nozzles worden bijvoorbeeld meerdere nozzles betrokken

^b Van Rheenen et al. (2025), Microbial contamination of air conditioning and humidifying systems in hospitals and commercial buildings: A mapping review to assess potential microbial risks of adiabatic humidification. [Submitted]

bij een enkele swab). De swab is na bemonsteren overgebracht in 10 ml bewaarvloeistof met glaspipetten in een 30 ml infuusflesje. De bewaarvloeistof is een vloeistof die zowel groei als afdoding van micro-organismen voorkomt, zodat de uiteindelijke kve-telling geldt voor het moment dat de swab is afgenomen. Het RO-water sample is onder het aftappunt gehouden en niet in extra bewaarvloeistof overgebracht. De samples zijn 5 minuten machinaal uitgeschud om eventueel aanwezig microbiologisch materiaal in suspensie in de bewaarvloeistof te brengen. 100 µL van de vloeistof is overgebracht op een voor-gedroogde plate count agar (PCA) plaat. De vloeistof is met een steriele spatel verdeeld over het oppervlak. De platen zijn 3 dagen geïncubeerd bij 30°C. De platen zijn verpakt en gekoeld (2°C-8°C) weggezet voor eventueel vervolgwerk. Er heeft geen identificatie plaatsgevonden.

2.4 Kwalitatieve risicoanalyse

Een kwalitatieve risicoanalyse is een systematische methode om potentiële risico's binnen een systeem of proces te identificeren, beoordelen en prioriteren op basis van hun waarschijnlijkheid en impact.

Dankzij de interviews en locatiebezoeken zijn inzichten verkregen om een risicomatrix te ontwikkelen die de kans en effect op een risicofactor kwalitatief beoordeeld. Hiervoor zijn verschillende mitigerende maatregelen beoordeeld die toegepast (kunnen) worden bij adiabatische luchtbevochtiging om microbiologische groei te reduceren of vermijden. De mitigerende maatregelen die zijn meegenomen in dit onderzoek betreft maatregelen die uit de praktijk zijn opgehaald en al frequent worden toegepast. Het doel van de kwalitatieve risicoanalyse is om besluitvorming te ondersteunen door risicobewustzijn te vergroten en passende beheersmaatregelen te formuleren.

3 Resultaten

3.1 Huidige normen en richtlijnen voor monitoring en mitigerende maatregelen

In dit onderzoek hanteren wij de volgende definities voor de termen standaard, norm, en richtlijn:

- Standaard: een document met te hanteren normen dat is uitgebracht door een nationale standaardisatieorganisatie;
- Norm: een waarde of eis genoemd in een standaard;
- Richtlijn: een richtinggevend document opgesteld door derden.

Ondanks de toenemende promotie en toepassing van adiabatische luchtbevochtiging als onderdeel van de energietransitie zijn directe richtlijnen voor monitoring en mitigerende maatregelen bij deze techniek schaars, met name als het aankomt op luchtbevochtiging in ziekenhuizen. In de huidige standaarden en richtlijnen voor bevochtiging wordt dan ook voornamelijk stoombevochtiging of luchtbevochtiging in zijn algemeenheid benoemd en er wordt zelden specifiek verwezen naar adiabatische luchtbevochtiging. Als resultaat van het literatuuronderzoek in dit rapport is kort beschreven hoe (inter-)nationale standaarden en richtlijnen momenteel relevant zijn voor adiabatische bevochtiging in ziekenhuizen en is er een overzicht gemaakt van relevante richtlijnen en eventuele actualisaties hiervan sinds 2021.

3.1.1 Recente wijzigingen zijn schaars en beperken zich voornamelijk tot stoombevochtiging

De standaarden en richtlijnen voor bevochtiging zijn in de afgelopen vier jaar, sinds het laatste onderzoek van TNO hiernaar, nauwelijks gewijzigd¹. De updates en aanvullingen van de relevante standaarden en richtlijnen zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Wijzigingen van relevante richtlijnen en de betrekking tot adiabatische bevochtiging, sinds 2021.

Standaard / Richtlijn	Wijzigingen sinds 2021 relevant voor adiabatische bevochtiging
ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021 // Ventilation of Health Care Facilities ³ (standaard)	Paragraaf 6.6 Humidifiers Toegevoegd aan 6.6.1 General requirements: 6.6.1-f: “Water for adiabatic high-pressure humidifiers shall comply with Section 6.6.3.” Toegevoegd aan “6.6.3 Adiabatic Atomizing Humidifier Requirements”: 6.6.3-b: “(...) Water temperature shall be maintained within the control limits in the legionellosis risk management plan. (Informative Note: For more information, reference ASHRAE Guideline 12 [2020] and ASHRAE Standard 188 [2018] in Informative Appendix E.)” 6.6.3-e: “Water purity shall meet or exceed potable water standards at the point where the water enters the ventilation system, space, or water-vapor generator.”
DIN-1946 ⁴ (standaard)	Wijziging van “Term 3.1.23 Degree of Turbulence”; Niet direct van invloed op adiabatische bevochtiging.
ISSO 55.3 ⁵ (richtlijn)	Geen
VDI 6022 ^{6,7} (richtlijn)	Corrigendum met betrekking tot VDI 6022 Deel 1:2018-01. Heeft geen directe invloed voor adiabatische bevochtiging.

Voor adiabatische luchtbevochtiging lijken momenteel bijna volledig dezelfde normen en richtlijnen te worden gehanteerd als voor stoombevochtiging. De microbiologische veiligheid bij adiabatische bevochtigingsinstallaties wordt in geen van de relevante normen of richtlijnen expliciet behandeld. Bovendien worden enkel in de ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021 eisen genoemd die specifiek gelden voor adiabatische luchtbevochtiging in zorgomgevingen.

Een van de meest gevolgde richtlijnen met betrekking tot luchtbevochtiging is onder de geïnterviewde Nederlandse ziekenhuizen de Duitse VDI 6022. Hoewel deze richtlijn luchtbevochtiging in het algemeen behandelt, wordt er niet specifiek in verwezen naar adiabatische bevochtiging. Wel geeft de VDI 6022 richtlijnen voor het waarborgen van microbiologische veiligheid bij luchtbevochtiging in het algemeen, waaronder een overzicht van procedures en frequenties voor het controleren van de microbiologische kwaliteit en veiligheid, zoals weergegeven in Tabel 2. Voor het vaststellen van het aantal kolonievormende eenheden (kve) kunnen zogenoemde dipslides worden gebruikt. Wanneer bij drie opeenvolgende metingen een niveau van onder de 1.000 kve/ml in het toevoerwater wordt gemeten, kan de controlefrequentie worden verlaagd. Dit is voor bevochtigingssystemen die met recirculatie werken, een methode die bij zorginstellingen niet wordt toegepast. Het geeft een eerste inzicht in wat er mogelijk is qua monitoring en frequentie voor systemen zonder recirculatie. Hiermee biedt de richtlijn handvatten om microbiologische veiligheid structureel in te bedden binnen het onderhoudsregime van een installatie.

Tabel 2: Overzicht van de controlefrequentie voor monitoring van microbiologische veiligheid op basis van VDI 6022¹

	1 maand	3 maanden	6 maanden
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			✓

Op basis van het aantal specifieke eisen en/of richtlijnen is de Amerikaanse ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021 het meest specifiek voor adiabatische bevochtiging in zorgomgevingen en daarmee tevens het enige onderzochte document dat specifieke eisen voor adiabatische luchtbevochtiging bevat³. De in deze standaard beschreven minimale vereisten voor luchtbevochtiging in het algemeen en ook specifiek voor adiabatische luchtbevochtiging zijn weergegeven in Tabel 3. Deze standaard is voornamelijk gericht op de kwaliteit en zuiverheid van het toegevoerde water. Zo zou bij adiabatische bevochtiging te allen tijde RO-water gebruikt moeten worden, dit aanvullend moet worden gesteriliseerd met UV-C straling en worden nabehandeld met een sub-micronfilter. Verder moet het water continu circuleren en moeten de leidingen van het systeem poorten bevatten voor het testen van de waterkwaliteit. Deze standaard werd echter niet benoemd door de in dit onderzoek geïnterviewde ziekenhuizen (hoofdstuk 3.2), wat een indicatie geeft van de lage bekendheid en toepassing van deze standaard onder Nederlandse ziekenhuizen.

Tabel 3: Minimale vereisten voor luchtbevochtiging vertaald uit ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021

	Minimale vereisten
Luchtbevochtiging algemeen	Plaats bevochtigers binnen luchtbehandelingskasten (LBK's) of luchtkanalen om vochtophoping in stroomafwaartse componenten, waaronder filters en isolatie, te voorkomen.
	Een vochtsensor moet worden geplaatst op een geschikte afstand stroomafwaarts van de injectiebron.
	Er moeten regelingen zijn om de luchtvochtigheid in het kanaal te beperken tot een maximum van 90% relatieve luchtvochtigheid (RV) wanneer de bevochtiger in werking is.
	Aftakkingen van het luchtkanaal mogen niet binnen de absorptieafstand van de bevochtiger worden geplaatst.
	De regelkleppen van de bevochtiger moeten zo zijn ontworpen dat ze gesloten blijven wanneer de LBK niet in werking is.
Aanvullende vereisten voor adiabatische luchtbevochtiging	Toegevoerd water moet behandeld worden met een reverse osmose (RO) proces, UV-C straling en een submicronfilter.
	Continue circulering van het water vanaf de bron naar de kleppen van de bevochtiger.
	Alle kleppen, verdelers en leidingen die geen deel uitmaken van de recirculatie-lus moeten volledig leeglopen wanneer niet in gebruik.
	De watertemperatuur moet binnen de grenzen blijven van de wettelijke regeling tegen legionellavorming.
	In het leidingensysteem voor behandeld water voor de luchtbevochtiger moeten poorten aanwezig zijn die geschikt zijn voor het testen van de waterkwaliteit.
	Luchtontvochtigers ter beschikking houden ter voorkoming van waterophoping in ventilatieschachten.
	Waterzuiverheid moet aan dezelfde of hogere standaarden voldoen dan op het punt waar het water het systeem binnenkomt.

3.2 Inzichten uit de praktijk

Uit de interviews met ziekenhuizen is inzicht verkregen over:

- luchtbevochtiging in het algemeen,
- de overstap naar adiabatische luchtbevochtiging,
- het gebruik en onderhoud van dergelijke installaties,
- maatregelen die getroffen zijn tegen microbiologische groei.

3.2.1 Waar, hoe en waarom bevochtigen?

Uit interviews blijkt dat bij 3 van de 6 ziekenhuizen luchtbevochtiging in vrijwel het gehele ziekenhuis wordt toegepast, terwijl bij de andere 3 ziekenhuizen slechts bepaalde delen worden bevochtigd en wordt het principe 'geen bevochtiging, tenzij' toegepast. Een gegeven reden voor volledige bevochtiging is dat dit vastgelegd zou zijn in reeds bestaande luchtbeheersplannen van het ziekenhuis die volgens het huidige beleid nog worden gevolgd. Tevens gaan enkele ziekenhuizen uit van het verlagen van gezondheidsrisico's door middel van bevochtiging. Zo heeft één ziekenhuis meer ziekteverzuim en minder comfort ervaren bij het uitzetten van de luchtbevochtiging, terwijl een ander ziekenhuis geen verschil merkte. Hoewel er tussen medewerkers van verschillende ziekenhuizen nog veel meningsverschil is

over de beschikbare evidentie van de bewering dat luchtbevochtiging het comfort verhoogt en kans op ziekte verlaagt, verklaart de mogelijkheid waarom er door alle ziekenhuizen bevochtigd wordt op afdelingen met kwetsbare patiënten. Aan de andere kant zien enkele ziekenhuizen, buiten deze uitzondering voor bijvoorbeeld operatiekamers en afdelingen waar patiënten met een verlaagd immuunsysteem zich bevinden, weinig tot geen reden om luchtbevochtiging toe te passen. Bovendien is dit in enkele van deze gevallen bepaald aan de hand van in-house tests, op afdelingen waar geen extra infectierisico is, zoals bij veel poliklinieken en bij kantoorruimtes. Daarnaast is de keuze tot minder bevochtigen ook gemaakt op basis van de resulterende energiebesparing en de daaropvolgende afname in energiekosten en CO₂-emissiereductie. In één geval wordt zelfs gewerkt aan het vinden van een minimale mate van bevochtiging. Het blijkt dus duidelijk dat er nog geen eenduidig beeld heerst bij de geïnterviewde ziekenhuizen over de benodigde mate van luchtbevochtiging.

Alle geïnterviewde ziekenhuizen hebben, ondanks enkele minpunten en onzekerheden, vanuit verschillende overwegingen gekozen om een (gedeeltelijke) overstap te maken naar adiabatistische luchtbevochtiging. Dit is voornamelijk gedaan vanuit duurzaamheidsoverwegingen. Zo plannen alle bevraagde ziekenhuizen om volledig onafhankelijk te worden van gas, en enkelen gaven aan hiermee energieverbruik en energiekosten verder te willen reduceren. Eén ziekenhuis gaf bovendien aan dat er rond de tijd van de overstap overheids subsidies beschikbaar waren ten behoeve van verduurzaming, die de keuze voor adiabatisch bevochtigen aantrekkelijk maakten.

Bij de meeste van de geïnterviewde ziekenhuizen wordt echter een klein deel van de luchtbevochtiging nog met stoombevochtiging gedaan. Dit komt voornamelijk omdat ziekenhuizen wachten op een natuurlijk vervangmoment van deze installaties, voor men overstapt naar een nieuw, mogelijk adiabatisch systeem. Daarnaast werd vermeld dat adiabatistische installaties in vergelijking met stoom meer onderhoudsgevoelig zijn. Hierdoor ontstaan op de lange termijn extra kosten. Overigens is één ziekenhuis gedeeltelijk overgestapt van adiabatistische bevochtiging naar elektrische stoombevochtiging, specifiek bij operatiekamers (OK's), vanwege de te hoge luchthoeveelheid die benodigd zou zijn voor een effectieve werking van het hiervoor geïnstalleerde adiabatistische systeem met bevochtigingspakket. Verder blijkt patiëntveiligheid een belangrijke factor, gezien er bij ziekenhuizen soms nog onzekerheid heerst omtrent de microbiologische veiligheid van adiabatistische bevochtiging. Deze onzekerheid heerste onder een deel van de medewerkers van meerdere ziekenhuizen, al verschilde de mate waarin men hier daadwerkelijk op acteerde. Hier wordt in paragraaf 3.2.2 verder op ingegaan. Vanuit de interviews komt ook naar voren dat het toepassen van stoombevochtiging ook kan resulteren in druppelvorming als de condities zich hiertoe lenen in de kanalen. Dit kan ook een risico vormen voor biofilm vorming.

De beslissing om te kiezen voor adiabatistische bevochtiging is dan ook niet overal genomen met dezelfde afdelingen binnen de organisatie. In dit onderzoek bleek ongeveer de helft van de ziekenhuizen hierbij medisch microbiologen, deskundigen infectiepreventie (IP) of arbeidshygiënist betrokken te hebben. Verder was in de meeste gevallen de energiecoördinator betrokken, en vrijwel altijd zijn medewerkers van de facilitaire afdeling betrokken bij (beslissingen over) de implementatie en het onderhoud.

Met verschillende leveranciers en uiteenlopende typen adiabatistische bevochtigingssystemen op de markt is er een variatie aan overwegingen gemaakt bij het maken van een keuze hieruit. Zo zijn er systemen die onder hogedruk water vernevelen in de lucht, systemen die onder lage druk vernevelen met een na-verdamper erachter, en systemen met een bevochtigingspakket waar het water langsloopt en vervolgens wordt opgenomen in de lucht. Opvallend was dat iedere organisatie overtuigd leek van hun eigen keuze, op een enkel geval

na, waar de minimaal benodigde luchttoevoer te hoog was voor een bepaald bouwdeel en er een andere keuze is gemaakt op basis hiervan. Veiligheid en gerelateerde certificeringen werden meermaals genoemd als belangrijkste reden om voor een bepaald systeem te kiezen. Hierbij werd herhaaldelijk aangenomen dat de keuze die de organisatie maakte een veilige keuze was, met een laag tot zeer lage kans op microbiologische groei. Ook werden de kosten van het onderhoud afgewogen, evenals de benodigde inbouwruimte. Een enkele keer werd expliciet de voorkeur uitgesproken voor een techniek gebaseerd op verneveling, omdat de betrokkenen graag op moleculair niveau wilden verdampen met als doel om de kans op druppelvorming en daarmee de theoretische groei van micro-organismen (MO) zo laag mogelijk te houden. Alle geïnterviewde ziekenhuizen hebben gekozen voor minstens een installatie met zilverionen in het water of zilverionen verwerkt in het bevochtigingspakket d.m.v. zilverseoliet. Door de ziekenhuizen is aangegeven dat ze geen problemen hebben gehad met de implementatie van zilver, op één geval na, waarbij de arbeidshygiënist dit inbracht als punt van aandacht.

Ziekenhuizen hanteren over het algemeen een relatieve vochtigheid (RV) van 40 tot 60%. De ondergrens ligt echter tussen de 50 en 55% voor OK's. Daarnaast doet een enkel ziekenhuis momenteel onderzoek naar de mogelijkheid om een RV van 30% te hanteren ter besparing van energie. Verder maken alle installaties gebruik van RO-water, 1 tot 2 F7 (ePM1, 50-65%) voorfilters en soms een extra F9 (ePM1, 80%) filter. Ziekenhuizen meldden ook HEPA-filters te gebruiken in hun luchttoevoer naar bouwdeelen met infectiegevoelige patiënten, waaronder OK's. Benodigde warmte voor het toevoeren van de verdampingswarmte aan de luchtstroom werd tevens opgewekt met een warmtepomp, WKO en/of WKK.

3.2.2 Monitoring, mitigerende maatregelen en onderhoud

Monitoring

Twee van de zes geïnterviewde ziekenhuizen voeren microbiologische controle uit op lucht stroomafwaarts of -opwaarts van de adiabatische bevochtigingsinstallatie. In beide gevallen hanteert men een grens van 10 kve/m³ en wordt verwezen naar de NVVA/VLA documentatie "Vuistregels voor blootstelling aan levensvatbare micro-organismen vanuit de praktijk", waar bij overschrijding gekeken wordt naar vervolgstappen zoals de typering van de aanwezige micro-organismen, op basis van expert opinion kan van deze grens worden afgeweken. Een van deze ziekenhuizen controleerde op de aanwezigheid van *Aspergillus* tijdens bouwwerkzaamheden, terwijl het andere ziekenhuis een lopend onderzoek heeft naar deze schimmel. De monitoring wordt meestal specifiek ingezet als er reeds een vermoeden is dat er een uitbraak van een bepaald organisme is.

De betrokken ziekenhuizen controleren op de aanwezigheid van legionella. Het drinkwater gaat dan ook door een koper-zilver installatie, ook voordat het door een eventuele RO-water installatie gaat. Richtlijnen die hierbij benoemd werden zijn de (verouderde) richtlijnen van de WIP^c, de NVVA^d, VLA^e (nu Binnenklimaat Nederland) richtwaarden voor totaal koloniegetallen, en de VCCN^f met betrekking tot monitoring. Twee ziekenhuizen meldden expliciet geen harde eisen te hebben gesteld aan microbiologische verontreinigingen noch een protocol te hebben voor microbiologische monitoring.

^c Werkgroep Infectie Preventie

^d Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne

^e Vereniging Leveranciers van Luchttechnische Apparaten

^f Vereniging Contamination Control Nederland

Mitigerende maatregelen

Zoals eerder omschreven maken alle adiabatische bevochtigingsinstallaties gebruik van een of meer F7 (ePM1, 70%) voorfilters en een eventueel F9 (ePM1, 90%) filter om de luchtkwaliteit te beïnvloeden, evenals van de toevoer van RO-water voor de bevochtiging. Vier van de geïnterviewde ziekenhuizen hebben een of meer installaties waarbij zilverionen in het water aanwezig zijn, en twee ziekenhuizen hebben een installatie met zilverionen verwerkt in het materiaal van het bevochtigingspakket. De installaties met verdampingspakketten maken gebruik van zilverionen, wat in het veld een controversieel discussiepunt vormt vanwege de onduidelijke balans tussen de voordelen en potentiële nadelen hiervan (zie paragraaf 3.4). Luchtbevochtigingsinstallaties met enkel een bevochtigingspakket als bevochtigingsmethode spoelen elke 24 uur 5 minuten met RO-water. Minstens één ziekenhuis maakt aanvullend ook gebruik van UV-lampen om het water verder te steriliseren.

Onderhoud

Onderhoud wordt, op één ziekenhuis na, uitbesteed aan de leverancier, die bij de verkoop onderhoudscontracten aanbiedt. Uitvoerig onderhoud wordt over het algemeen een keer per jaar uitgevoerd, eventueel aangevuld door een tot twee (visuele) controlemomenten per jaar. Bij visuele controle vanuit de technische dienst van het ziekenhuis wordt gekeken of er vocht of verkleuringen zichtbaar aanwezig zijn. Water wordt verwijderd en bekeken of dit voorkomen kan worden (bijvoorbeeld bij een lekbak die niet goed afloopt). Eén ziekenhuis meldde dat bij het grote onderhoud 1) de vernevelaars worden geïnspecteerd op visuele verontreiniging en eventueel worden doorgespoeld indien deze inderdaad verontreinigd zijn, 2) de integriteit van het aanwezige zilver(patroon) wordt gecontroleerd gezien deze kan degraderen, de filters worden bekeken en indien nodig vervangen en 3) wordt getest of de gehele bevochtigingsinstallatie verder naar behoren werkt. Dit onderhoudsprotocol werd echter niet door alle andere ziekenhuizen bevestigd. Dit komt doordat de verschillende systemen andere componenten bevatten. Zo zou de leverancier van een ander ziekenhuis enkel het systeem spoelen. Een ander ziekenhuis meldde de onderhoudscontracten te duur te vinden en is dan ook van plan om na het eerste onderhoudsmoment het onderhoud in-house proberen te faciliteren. Storingen kwamen niet veel voor bij de geïnterviewde partijen, op enkele storingen in het RO-systeem na. De interne technische afdeling van ziekenhuizen loopt dan ook regelmatig de machines na bij storingen en alarmeringen, volgens een van de geïnterviewde ziekenhuizen.

3.2.3 Overige inzichten

Meerdere ziekenhuizen benoemden dat er momenteel geen vaste richtlijnen zijn voor de microbiologische monitoring van een adiabatische luchtbevochtigingsinstallatie. Dit zouden ze wel graag willen zien en idealiter via een gestandaardiseerd protocol, zodat vergelijken binnen verschillende afdelingen of zelfs ziekenhuizen mogelijk is.

Eén ziekenhuis meldde dat het water slecht wegloopt uit de lekbakken bij enkele kasten. Dit kan resulteren in stilstaand water waar zich een mogelijke biofilm kan vormen. Ook gaf één ziekenhuis aan een hoog waterverbruik op te merken van de installaties. Bovendien bleek bij nadere controle hiervan dat de vernevelaars, na langdurig buiten gebruik te zijn geweest, niet leeggelopen waren, wat resulteerde in verontreiniging die een onaangename geur verspreidde.

Enkele ziekenhuizen hebben in het kader van geen luchtbevochtiging de adiabatische bevochtigingsinstallaties uitgezet. Bij lage relatieve vochtigheden gaf dit een wisselend

effect bij medewerkers. Soms kwamen er meer klachten waarna er maatregelen zijn getroffen, en in een ander geval kwamen er, bijzonder genoeg, klachten van afdelingen waar geen wijzigingen in het luchtbevochtigingsbeleid waren doorgevoerd.

3.3 Monsterafname

De genomen swabs gedurende dit onderzoek geven inzicht in mogelijk kritische locaties. In enkele gevallen was de luchtbevochtiging niet actief vanwege reeds behaalde gewenste setpoints. Bij een aantal locaties zorgden primaire processen ervoor dat de kast niet open kon voor de monsterafname. Waar mogelijk zijn de swablocaties zoals in Figuur 1 gehanteerd.

Tabel 4 geeft de resultaten van de afgenomen swabs. Hieruit blijkt dat aanzuigkanalen een bron voor microbiologische verontreiniging is. Dit is geen vreemd resultaat. In alle gevallen is na de filtersectie minder verontreiniging aanwezig op deze oppervlakken. Met name de lekbakken en het RO-water lijken toch mogelijke bronnen voor microbiologische verontreiniging te zijn. Het RO-water wordt afgetapt net na de RO-installatie. Om microbiologische verontreiniging van het monster te voorkomen wordt pas afgetapt nadat het water minstens 10 s heeft gelopen. Het neemt niet weg dat er alsnog verontreinigingen in het aftappunt zijn vastgesteld die zorgdragen voor de hogere gemeten verontreinigingen. Een biofilm wordt namelijk niet verwijderd als er water langs stroomt. Daardoor is het doorspoelen van het tappunt waarschijnlijk niet voldoende om een schoon sample te kunnen nemen bij een aftappunt.

Sporenvormers zijn bacteriën die in staat zijn om sporen te vormen, een soort rusttoestand die ze gebruiken om te overleven onder moeilijke omstandigheden. Deze sporen zijn beter bestand tegen hitte, droogte en andere schadelijke factoren. Microkolonies zijn zeer kleine kolonies. Deze organismen groeien niet goed bij deze omstandigheden (temperatuur, medium, atmosfeer). In enkele gevallen was een soort dominant aanwezig. Tijdens dit onderzoek is enkel gekeken naar de hoeveelheid en niet naar identificatie van de verschillende micro-organismen.

Visueel was te zien dat de aanzuigkanalen erg verontreinigd waren met o.a. stof of grotere deeltjes. In het geval van een luchtbehandelingskast die buiten gepositioneerd was, zijn ook veel spinrag en bladeren aangetroffen. De systemen met zilverionen toegevoegd aan het RO-water laten een grijze laag achter op de druppelvanger. In enkele lekbakken is sprake van water dat niet goed wegloopt, of er zijn afzetkringen zichtbaar. Over het algemeen zijn bacteriekolonies of gist, en geen schimmelkolonies waargenomen.

Tabel 4. Overzicht resultaten in kve/100 µL per verschillende swab afdname locatie.

Locatie	Swablocatie	kve	Aanvullend
1	Aanzuigkanaal bodem	2 kve/cm ²	visueel sporenvormers
1	Voorfilter uitgaand	2 kve/cm ²	visueel sporenvormers
1	Voorfilter Kanaal bodem	<1 kve/cm ²	
1	Nozzles	<1 kve/cm ²	
1	Lekbak	<1 kve/cm ²	
1	Druppelvanger ingaand	<1 kve/cm ²	
1	RO water	<10 kve/mL	
2	Aanzuigkanaal lamellen	17 kve/cm ²	Overgroei door sporenvormer
2	RO water	<10 kve/mL	
3	Aanzuigkanaal bodem	31 kve/cm ²	LBK 1*
3	Voorfilter uitgaand	1 kve/cm ²	LBK 1
3	Nozzles	<1 kve/cm ²	LBK 1
3	Lekbak	<1 kve/cm ²	LBK 1

Locatie	Swablocatie	kve	Aanvullend
3	Druppelvanger ingaand	<1 kve/cm ²	LBK 1
3	RO water	<10 kve/mL	LBK 1
3	Nozzles	1 kve/cm ²	LBK 2
3	Lekbak	<1 kve/cm ²	LBK 2
3	Druppelvanger ingaand	<1 kve/cm ²	LBK 2
4	Voorfilter Kanaal bodem	<1 kve/cm ²	
4	Nozzles	<1 kve/cm ²	
4	Lekbak	>>300 kve/cm ²	1 type dominant visueel aanwezig
4	RO water	150 +150 microkolonies kve/mL	Microkolonies
4	DW1 Drinkwater	1 kve/cm ²	
4	DW2 Drinkwater	<1 kve/cm ²	
5	Voorfilter uitgaand	<1 kve/cm ²	LBK 1
5	Bevochtigingspakket ingaand	<1 kve/cm ²	LBK 1
5	Bevochtigingspakket uitgaand	1 kve/cm ²	LBK 1
5	Lekbak	<1 kve/cm ²	LBK 1
5	RO water	<10 kve/mL	LBK 1
5	Voorfilter uitgaand	1 kve/cm ²	LBK 2; Spreider - Sporenvormer?
5	Bevochtigingspakket ingaand	<1 kve/cm ²	LBK 2
5	Bevochtigingspakket uitgaand	<1 kve/cm ²	LBK 2
5	Lekbak	1 kve/cm ²	LBK 2; Spreider - Sporenvormer?
5	RO water (individueel)	150 kve/mL	LBK 2; 1 type visueel waarneembaar
5	RO water (centraal)	<10 kve/mL	
6	Voorfilter uitgaand (F7)	<1 kve/cm ²	
6	Filter uitgaand (F9)	<1 kve/cm ²	
6	Nozzles	<1 kve/cm ²	
6	Lekbak	>300 kve/cm ²	Meerdere typen visueel waarneembaar
6	Druppelvanger ingaand	<1 kve/cm ²	
6	Druppelvanger uitgaand	<1 kve/cm ²	
6	Onthard water	>300 kve/mL	1 type visueel waarneembaar
6	RO water	270 kve/mL	1 type visueel waarneembaar

*LBK x = luchtbehandelingskast 1 of 2 in het geval er bij meerdere LBKs samples zijn genomen.

3.4 Kwalitatieve risicoanalyse

Op basis van de interviews, locatiebezoeken en resultaten van de monsterafnamen is geanalyseerd waar in het proces van luchtbevochtiging zich risico's voordoen en door welke maatregelen deze over het algemeen worden gemitigeerd. Er zijn een tweetal risicofactoren geïdentificeerd. Namelijk microbiologische groei in een luchtbehandelingskast, en microbiologische verontreiniging in de lucht. Per risicofactor kunnen andere mitigerende maatregelen een groter reducerend effect hebben.

Risicofactor: Microbiologische groei

Zonder mitigerende maatregelen zou er relatief eenvoudig microbiologische groei kunnen plaatsvinden op verscheidene plekken in de luchtbevochtigingsinstallatie. De mitigerende maatregelen die volgens de interviews in gebruik zijn, hebben hierbij een remmend effect op de groei bij een of meer componenten, al heeft een maatregel in principe nooit bij alle componenten een remmend effect tot gevolg.

In Tabel 5 is op basis van de interviews, metingen en expert opinion aangegeven welke mitigerende maatregelen een remmend effect hebben op microbiologische groei per component in en rond de bevochtigingsinstallatie. Eveneens is er een indicatie gegeven voor de mate waarin een mitigerende maatregel dit effect heeft bij een bepaald component.

De indicatie kan als volgt worden geïnterpreteerd: als er geen mitigerende maatregelen worden toegepast geeft dat per component een waarschijnlijkheid/kans dat er microbiologische groei is. Bij het toepassen van een bepaalde maatregel kan de kans op microbiologische groei worden gereduceerd. De mate waarin deze wordt verminderd wordt aangegeven met 'o', '-' en '+'.

Bij het verdampingspakket of een druppelvanger is er kans op microbiologische groei. Deze pakketten worden samengesteld om een zo groot mogelijk oppervlak te creëren. Dit kan door bijvoorbeeld een open (cellen)structuur of een honingraatstructuur. Als vocht niet wordt opgenomen in de luchtstroom blijft het achter en vormt het een gunstige conditie voor biofilm-vorming en -groei (risicofactor). Het toepassen van mitigerende maatregelen zoals RO-water zou deze biofilm-vorming moeten remmen doordat er geen voedingsmateriaal en micro-organismen aanwezig zijn. Ditzelfde geldt voor het toepassen van zilverionen in water of in het materiaal van de druppelvanger. Door de structuur van het pakket lijkt het toepassen van een spoelcyclus minder effectief in het verminderen. Niet alle locaties binnen een pakket worden bereikt, en in een aantal specifieke gevallen kan het zelfs leiden tot het uitspoelen van zilverionen die in het materiaal zijn ingekapseld.

Periodiek onderhoud betreft de frequentie die is afgestemd met de leverancier die dit onderhoud uitvoert. Hierbij worden componenten visueel geïnspecteerd en waar nodig schoongemaakt of vervangen. De spoelcyclus wordt bij verschillende systemen anders uitgevoerd. Bij een bevochtigingspakket wordt elke 24 uur een spoelcyclus doorlopen. Water wordt over het pakket geleid en zal afgevoerd worden via de lekbak. Bij vernevelingssystemen worden na een bepaalde duur van stilstand de leidingen leeggespoet. Volgens de VDI 6022 dient dit minstens elke 48 uur te gebeuren.

Zilverionen, in zowel water als in het materiaal van de druppelvanger of bevochtigingspakket hebben een antimicrobiële werking. Indien het in het water zit, wordt dit mee verneveld en opgenomen in de lucht. In de praktijk is te zien dat systemen met een druppelvanger grijze

afzetting hebben op deze druppelvanger. De zilverionen slaan neer en vormen op dit materiaal een antimicrobiële laag. Deze zal bij onderhoud of een spoelcyclus weggespoeld kunnen worden. Zilverionen in een materiaal zijn of volledig ingekapseld waardoor de werking niet volledig antimicrobieel is, of zal na verloop van tijd uitspoelen. Het is niet bekend hoe snel dit proces verloopt en wanneer de antimicrobiële werking onvoldoende is.

Tabel 5: Mate van reducering door mitigerende maatregelen op de kans op microbiologische groei per component van de adiabatische bevochtigingsinstallatie. 0 = geen effect; - = klein effect; + = groot effect.

		Mitigerende maatregel						
Risicofactor: microbiologische groei	Component		Specifieke maatregel waterkwaliteit	Zilverionen in water	Zilverionen in materiaal druppelvanger	Periodiek onderhoud (handeling)	Spoelcyclus (automatisch)	UV-behandeling van water
		Voorfilter	0	0	0	+	n.v.t.	0
		Nozzle	+	+	0	-	-	+
		Verdampingspakket / druppelvanger	+	+	+	-	-	+
		Lekbak	+	+	+	+	0	+
		Nafilter	0	0	0	+	n.v.t.	0

Risicofactor: Microbiologische verontreiniging in de lucht

Als er microbiologische groei op een installatiecomponent is, is de mogelijkheid aanwezig dat deze in de lucht terecht komt (risicofactor). De mate waarin dit gebeurt, is niet bekend. Ook kan het zijn dat er reeds microbiologische verontreiniging in de lucht aanwezig is, als deze de luchtbehandelingskast inkomt.

De buitenluchtkwaliteit kan dus invloed hebben op de microbiologische verontreiniging in de lucht. Door met een voorfilter te werken wordt een groot deel reeds afgevangen. Het kan zijn dat een HEPA na-filter als mitigerende maatregel wordt toegepast om microbiologische groei en verspreiding in de luchtstroom te voorkomen. Dit zal een groot effect hebben op de verspreiding van micro-organismen in de lucht. Na de HEPA-filter zal de kans hierop verwaarloosbaar zijn. Het toepassen van een HEPA-filter zal wel resulteren in een hogere weerstand en daardoor meer energiegebruik.

Een andere mitigerende maatregel is het toepassen van UVC in de luchtkanalen. Hiervoor dient wel voldoende intensiteit en lengte te zijn om de hoeveelheid lucht te behandelen. Deze mitigerende maatregel is daarom minder effectief dan het toepassen van een HEPA-filter. Een hoge luchtvochtigheid kan ook als gevolg hebben dat het vocht in de lucht UV-straling absorbeert en afbuigt en deze maatregel minder effectief maakt onder deze condities.⁸

Versterkende kansen en effecten

Voor beide risicofactoren geldt dat eigenschappen van, en het gebruik van, de installatie invloed hebben op microbiologische groei of de verspreiding in de luchtstroom.

- Materiaalgebruik kan invloed hebben op groei waar dan ook;
- (Buiten) Luchtkwaliteit kan invloed hebben op groei waar dan ook;
- Waterkwaliteit kan invloed hebben vanaf het punt waar water het systeem binnenkomt;
- Zilverionen lijken effectief, maar kunnen mogelijk in de lucht komen;

- Onderhoud van het systeem;
- Vochtige onderdelen.

Het materiaalgebruik van de luchtbehandelingskast, en met name de behuizing ervan (kast), is te onderscheiden in verzinkt staal, aluminium, RVS of kunststof. RVS wordt toegepast bij onderdelen die bestand moeten zijn tegen corrosie en in hygiënische omgevingen. Isolatiematerialen (thermisch en akoestisch) van een kast kunnen bestaan uit steenwol, glaswol of kunststof/hardschuim. Met name aansluitingen van verschillende onderdelen kunnen een verhoogd risico met zich meenemen als het gaat om microbiologische groei. Zo dient de lekbak zorgvuldig geïnstalleerd te zijn, onder afschot en van een materiaal dat corrosiebestendig is. Regelmatig visuele inspectie is noodzakelijk om te zien of het water goed weggevoerd wordt en of er visuele corrosie aanwezig is.

De buitenluchtkwaliteit kan invloed hebben op microbiologische groei. Als een gebouw op een locatie staat waar veel luchtverontreiniging is dient de filtersectie hierop aangepast te worden om verontreinigingen weg te filteren en mogelijke voedingsbodem (o.a. stof) voor micro-organismen te elimineren. Een HEPA-filter is het meest effectief om microbiologische verspreiding in de lucht tegen te gaan.

De waterkwaliteit is van invloed. Veel ziekenhuizen passen al een RO-systeem toe om mineralen uit het water te verwijderen. In enkele gevallen zal een koperzilverinstallatie draaien op het water dat ook voor luchtbevochtiging gebruikt wordt. Monitoring binnen dit systeem dient aanwezig te zijn. Dit kan volgens de VDI 6022 richtlijn, of in het geval van legionella, volgens de ISSO 55.3.

Zilverionen toepassen als mitigerende maatregel lijkt effectief, maar kunnen ook mogelijk in de lucht komen. De gevolgen hiervan op materialen en mens is niet bekend in deze situatie. Wel lijkt het dat bacteriën een mogelijke resistentie kunnen ontwikkelen door overmatige blootstelling aan zilver.

Onderhoud van het systeem dient regelmatig uitgevoerd te worden. Volgens de VDI 6022 zou er bij de aanvang semi-maandelijks een check moeten zijn op contaminatie, schade, microbiologische groei en corrosie. Visueel is schade en corrosie het makkelijkst te identificeren. Na constatering dienen passende acties het probleem te verhelpen. Contaminatie en microbiologische groei die niet visueel zichtbaar is, kan door middel van periodieke microbiologische monitoring gecontroleerd worden.

Vochtige componenten vormen het grootste risico om microbiologische groei en eventueel verspreiding in de luchtstroom te realiseren. Met name componenten waarbij ook druppelvorming aanwezig is en stilstaand water. Hogedruk vernevelaars vormen hierin een minder groot risico omdat deze fijner vernevelen (en kleinere druppels genereren die in de luchtstroom worden opgenomen) dan lagedruk vernevelaars. Druppelvangers waarbij de structuur het mogelijk maakt om vocht goed af te laten lopen naar de lekbak vormen een kleiner risico dan druppelvangers met een structuur waarbij vocht zich intern kan ophopen. Het spoelen van deze druppelvangers en bevochtigingspakketten zal op die locaties het effect op microbiologische groei niet verminderen.

4 Discussie

Hoewel de kwalitatieve risicoanalyse in dit onderzoek uitsluitend de maatregelen omvat die uit de praktijk zijn opgehaald en reeds frequent worden toegepast, kunnen er mogelijk mitigerende maatregelen bestaan die niet in de praktijkstudie zijn voorgekomen, maar wel potentie bieden en nader onderzoek vergen. Alternatieve mitigerende maatregelen zouden bijvoorbeeld kunnen werken op basis van onder andere thermische, chemische, biologische of fysische technieken. Dergelijke maatregelen vallen buiten de scope van dit onderzoek, maar zouden potentieel in de toekomst toegepast kunnen worden bij adiabatische luchtbevochtiging.

Bij thermische mitigerende maatregelen kan men denken aan verhitting van het toegevoerde water tot hoge temperaturen, wat een algemeen bekende methode is om micro-organismen in water te elimineren.⁹ De effectiviteit van sterilisatie bij verhitting hangt af van de typen aanwezige micro-organismen. Een aantal veelvoorkomende bacteriën zoals *E. coli* overleven niet bij temperaturen hoger dan 75°C, al zijn er verscheidene thermofiele micro-organismen die ook hogere temperaturen overleven.¹⁰ Principeel kan verhitten van water tot boven 90°C zeer effectief zijn, maar in dit geval kunnen bacteriële endosporen nog in staat zijn te overleven vanwege hun extreme hitteresistentie. Daarnaast brengt het verhitten tot hoge temperaturen een toename in energieverbruik met zich mee, terwijl het energieverbruik voor verwarming juist geminimaliseerd wordt met het originele principe van adiabatische luchtbevochtiging. Verder onderzoek zou de effectiviteit van aanvullende verhitting en de bijkomende toename in energieverbruik aan het licht kunnen brengen.

Bij chemische mitigerende maatregelen kan men denken aan de toevoeging van middelen zoals chloor of waterstofperoxide in het toevoerwater of de toepassing van dergelijke antimicrobiële stoffen in bijvoorbeeld de lekbak van de bevochtigingsinstallatie. Principeel is de toevoeging van de genoemde chemicaliën aan het toevoerwater effectief in het minimaliseren of zelfs volledig elimineren van de populatie overlevende bacteriën.¹¹ Echter kunnen dergelijke stoffen, ook wel desinfectantia genoemd, een schadelijk effect op de menselijke gezondheid hebben wanneer deze worden geïnhaleerd.¹² Ditzelfde risico zou zich voor kunnen doen bij toepassing van chemicaliën op oppervlakken waar kans op groei is, al omzeilt men hierbij de directe toevoeging van stoffen aan het water dat later in de lucht opgenomen wordt¹³. Verder onderzoek is vereist om te bepalen hoe effectief en veilig de toepassing van dit soort methoden is bij adiabatische bevochtiging en hoe eventueel deze stoffen uit het water te verwijderen of tot acceptabele waarden te reduceren. Eventueel kan worden onderzocht of technieken met nanodeeltjes hier een alternatieve oplossing in bieden.¹⁴

Hoewel er bestaande biologische technieken zijn voor de behandeling van water, hebben deze meestal als doel om giftige stoffen of andere (organische) materie uit het water te verwijderen. Verder onderzoek zou nodig zijn om te achterhalen of er biologische technieken zijn die micro-organismen uit water kunnen verwijderen en of deze mogelijk toepasbaar kunnen zijn voor het toevoerwater bij adiabatische bevochtiging.

Bij fysische mitigerende maatregelen kan men denken aan het gebruik van UVC (ultraviolet C-licht) in combinatie met andere technieken, bijvoorbeeld met microstatische elektriciteit¹⁵.

Uit onderzoek blijkt dat deze combinatie van methoden potentie zou bieden in het effectief elimineren van micro-organismen in de lucht. Hoewel UVC al in enkele installaties in ziekenhuizen wordt gebruikt, is dit in de interviews niet genoemd in combinatie met andere technieken. Mogelijk kan verder onderzoek naar dergelijke combinaties, of het gebruik van andere natuurkundige fenomenen als mitigerende maatregelen verder uitwijzen hoe de kans op microbiologische groei in adiabatische luchtbevochtiging verder teruggedrongen kan worden.

4.1 Limitaties

Het doel van het kwalitatieve onderzoek is duidelijkheid te genereren of luchtbevochtiging via een adiabatisch luchtbevochtigingssysteem al dan niet voor verhoogde risico's van microbiologische verontreinigingen zorgt ten opzichte van een stoombevochtigingssysteem. Er is geïnventariseerd welke componenten van dergelijke systemen enige risico's vormen met betrekking tot microbiologische groei, en er is gekeken naar welke mitigerende maatregelen genomen kunnen worden om de kans op microbiologische groei en eventuele daarop volgende aerogene verspreiding en blootstelling te beperken. Tevens werd gezocht naar inzichten in hoe ziekenhuizen momenteel omgaan met onderhoud en microbiologische criteria voor de beoordeling van deze installaties, evenals hun eventuele behoefte aan een gestandaardiseerd monitoringsprotocol en richtlijnen.

Het aantal geïnterviewde en bezochte ziekenhuizen is beperkt. Dit wordt veroorzaakt doordat er simpelweg weinig ziekenhuizen al (deels) een overstap hebben gemaakt naar adiabatische luchtbevochtiging. Bovendien hebben enkele van de geïnterviewde ziekenhuizen de adiabatische bevochtigingsinstallatie(s) voor slechts een korte duur van soms minder dan een jaar in gebruik. Hierdoor zijn de gedeelde ervaringen gebaseerd op een beperkt aantal cycli van seizoenen. Generieke conclusies trekken is door de beperkte steekproefgrootte en beperkte ervaringen lastig.

De monsterafnames gaven inzichten over mogelijk kritische locaties waar volgens een microbiologisch monitoringsprotocol minstens zou moeten worden gemeten. Echter kon niet bij alle ziekenhuislocaties of luchtbehandelingskasten dezelfde set aan monsterlocaties worden gehanteerd. Enerzijds omdat dit afhankelijk is van de verschillende luchtbevochtigingssystemen, deels omdat de luchtbehandelingskast in gebruik was en niet geopend kon worden, en deels omdat andere componenten dusdanig waren gemonteerd dat er geen fysieke ruimte was om een monster af te nemen. Vanuit de praktijk blijkt dat het aseptisch aftappen van RO-water niet eenvoudig is, waardoor microbiologische verontreiniging in een aftappunt soms onterecht wordt geconstateerd. Daarom is een aanbeveling om bij de installatie meer rekening te houden met de mogelijkheid om microbiologische monsters te nemen voor eenduidige conclusies ten aanzien van de microbiologische status van het systeem.

5 Conclusie

1. Welke mitigerende maatregelen zijn minimaal noodzakelijk om de kans op aerogene verspreiding en blootstelling te minimaliseren?

Welke mitigerende maatregelen minimaal noodzakelijk zijn om de kans op aerogene verspreiding en blootstelling te minimaliseren, hangt samen met het adiabatische luchtbevochtigingsprincipe dat wordt gehanteerd. Bij zowel verneveling als verdamping is het belangrijk dat de waterkwaliteit vrij is van microbiologische verontreinigingen. Het toepassen van een RO-installatie is het minimale dat hiervoor nodig is. Dit voorkomt dat er microbiologische verontreinigingen en mineralen en zouten vanuit het water in de lucht terecht komen.

Regelmatig (in eerste instantie maandelijks) visuele controle op stilstaand water/ vochtige componenten (nozzles, druppelvangers, bevochtigingspakketten en lekbakken), schade en corrosie aan componenten is belangrijk. Acties om dit te verhelpen dienen direct uitgevoerd te worden.

Op kritische locaties kunnen water-, oppervlakte- en luchtmonsters inzicht geven in mogelijke microbiologische verontreiniging en andere contaminatie. Hierbij kan dan een desinfectieprotocol worden uitgevoerd.

Het na filteren met een HEPA-filter voorkomt dat microbiologische verontreinigingen die in de lucht zitten in een ruimte terecht komen. Het is echter een energie- en kosten-intensieve maatregel en zou daarom overwogen kunnen worden op kritische locaties zoals OK's en afdelingen waar patiënten met een verzwakt immuunsysteem zich bevinden.

Bij een bevochtigingspakket zal een periodieke spoelcyclus verontreinigingen kunnen wegspoelen indien alle locaties binnen het pakket voldoende worden bereikt. Wanneer microbiologische verontreinigingen een biofilm vormen, kan deze echter niet worden weggespoeld met enkel langslowend water. Een minimale maatregel dient te zijn dat de leidingen regelmatig doorgespoeld worden ter preventie van biofilmvorming, zeker als er een periode geen bevochtiging nodig is.

De lekbak en het toegevoerde RO-water hebben, op basis van de water-minnende eigenschappen van micro-organismen, dat bevestigd is door onderzoek, de grootste kans op microbiologische groei. Toch lijken in de risicoanalyse deze componenten de meeste potentie te hebben als plaats voor mitigerende maatregelen zoals het gebruik van een RO-installatie of het toepassen van UVC.

2. Welke microbiologische eisen in termen van maximale niveaus kolonievormende eenheden (kve/m³) in de lucht zouden gesteld moeten worden aan de lucht bij het verlaten van het adiabatische bevochtigingssysteem?

Op basis van het onderzoek zijn er in de beschouwde literatuur geen microbiologische criteria naar voren gekomen die aan de lucht gesteld worden. In de VDI 6022 wordt enkel gesproken van periodieke microbiologische monitoring in het toegevoerde bevochtigungswater (en met name bij recirculatiesystemen die in de zorgsector niet toegepast worden). Hierbij moet de hoeveelheid niet boven de 1.000 kve/ml zijn in drie

opvolgende tests, waarna de monitoringsfrequentie verlaagd kan worden. Dit geldt voor alle typen bevochtiging. De vraag welke microbiologische eisen gesteld zouden moeten worden aan de lucht bij het verlaten van het adiabatische bevochtigingssysteem kan op basis van de beschouwde literatuur en de risicoanalyse niet worden beantwoord.

6 Literatuurlijst

1. Kompatscher K, Traversari AAL, Huisman E, Loomans MGLC, Kort HSM, Maassen W. *Bevochtigingseisen in de Zorghuisvesting - Praktijk*; 2021.
2. Loomans MGLC, Huisman E, Kompatscher K, Traversari R, Kort HSM, Maassen W. *Bevochtigingseisen in de Zorghuisvesting - Kennisbasis*; 2021.
3. Sheerin MP, Granzow FE, Anderson DJ, et al. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021 Ventilation of Health Care Facilities. 2020;8400.
4. Norm D. Din 1946-4. Published online 2008.
5. ISSO. *ISSO 55.3 Legionellapreventie in Klimaatinstallaties*; 2014.
6. Verein Deutsche Ingenieure. VDI Richtlinien 6022. Published online 2006.
7. Anlagen R. Ingenieure Vdi 6022. Published online 2023.
8. Luo H, Zhong L. Investigating the effects of particle size and relative humidity on bioaerosol disinfection in an in-duct ultraviolet germicidal irradiation system. *Build Environ*. 2024;261:111752. doi:10.1016/J.BUILDENV.2024.111752
9. Bharti B, Li H, Ren Z, Zhu R, Zhu Z. Recent advances in sterilization and disinfection technology: A review. *Chemosphere*. 2022;308:136404. doi:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136404
10. Wang Q, Cen Z, Zhao J. The survival mechanisms of thermophiles at high temperatures: An angle of omics. *Physiology*. 2015;30(2):97-106. doi:10.1152/PHYSIOL.00066.2013/ASSET/IMAGES/LARGE/PHY0011502560002.JPEG
11. Nocker A, Lindfeld E, Wingender J, Schulte S, Dumm M, Bendinger B. Thermal and chemical disinfection of water and biofilms: only a temporary effect in regard to the autochthonous bacteria. *J Water Health*. 2021;19(5):808-822. doi:10.2166/WH.2021.075
12. White CW, Martin JG. Chlorine gas inhalation: Human clinical evidence of toxicity and experience in animal models. *Proc Am Thorac Soc*. 2010;7(4):257-263. doi:10.1513/PATS.201001-008SM;ISSUE:ISSUE:10.1513/PATS.2010.7.ISSUE-4;WGROU:STRING:DEFAULT
13. National Air Duct Cleaners Association, Mike White, Dan Stradford, et al. Using Chemical Products in HVAC Systems: NADCA PROVIDES GUIDANCE.
14. Li Q, Mahendra S, Lyon DY, et al. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. *Water Res*. 2008;42(18):4591-4602. doi:10.1016/J.WATRES.2008.08.015
15. Xie Y, Zhu X, Zhang P, Wang S, Yang J, Li J. Cost-effective instant air disinfection for building ventilation system by a combination of UV and micro-static electricity. *Chem Eng J*. 2023;454(P2):140231. doi:10.1016/j.cej.2022.140231

Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Delft, 22 oktober 2025

Ir. R.M.A Kroeze
Research Manager

Dr.ir. K. Kompatscher
Auteur

Bijlage A

Semi-gestructureerde interview vragenlijst

Facilitair

Systeem & onderhoud

Waarom wordt er bevochtigd, en op welke setpoints?

Hoe is de keuze ontstaan om van stoombevochtiging naar adiabatisch over te stappen?

- Verbouwing/renovatie bestaande locatie of nieuwbouw?

Welk adiabatisch systeem wordt er gebruikt? (vernevelaar i.c.m. verdampingspakket?)

- Hoeveel van de luchtbehandeling is vervangen? Volledig nieuwe installatie (nieuwbouw, renovatie), of enkel bevochtigingscomponent vervangen (renovatie)

Waar wordt het systeem toegepast (welke afdeling(en)/ gebouwen)?

- Bewuste keuze om deze afdelingen via adiabatische bevochtiging te voorzien? Zo ja, welke reden om dit te doen?
- Welke redenen om ergens geen adiabatische bevochtiging toe te passen en om welke afdelingen/functies hebben we het dan?

Zijn er medewerkers uit de disciplines infectiepreventie/microbiologie betrokken geweest bij de beslissing om adiabatische bevochtiging toe te passen i.p.v. stoom. Waarom wel/niet?

Welke type voorfilter zit er in, welk type nafilter zit er in?

Welk type warmtebron wordt er gebruikt?

- Wordt er gebruik gemaakt van WKO / WKK / stadsverwarming?

Microbiologische preventie & onderhoud

Welke eisen zijn er aan de inkomende ruimtelucht gesteld op het gebied van relatieve vochtigheid op de afdelingen waar adiabatische bevochtiging aanwezig is? Waarop zijn deze gebaseerd (richtlijn, norm, ervaring etc.)?

Worden er eisen gesteld aan microbiologische verontreinigingen in de ruimte? Zo ja, waar zijn deze op gebaseerd (richtlijn, norm, ervaring etc.)?

- Wat is het maximale aanvaardbare kiemgetal voor microbiologische verontreinigingen in lucht en evt. andere plaatsen?

Van welke mitigerende maatregelen wordt reeds gebruik gemaakt?

- Intake luchtfilter
- Type water en waterbehandeling (RO)
- Antibacteriële materialen (bijv. zilver)
- Onderhoudsaspecten
- In hoeverre heeft de fabrikant jullie al in dergelijke maatregelen voorzien (bijv. met ingebouwde voorzorgsmaatregelen in het systeem) en wat hebben jullie zelf moeten invoeren?

Wordt het onderhoud aan de bevochtigingspakketten intern of extern gedaan?

- Is hier iemand van infectiepreventie/microbiologie bij betrokken?
- Welke richtlijnen worden er gehanteerd voor onderhoud?
- Zijn er protocollen om te monitoren op micro-organismen? Zo ja, hoe regelmatig wordt gemonitord en op welke locaties in de lbk/bevochtigingscomponent?
- Zijn er protocollen voor onderhoud aan de bevochtigingscomponent?

Waarnemingen die wellicht gedaan zijn:

- Is er tijdens onderhoud visuele vervuiling?
- Hebben jullie storingen gehad die tot de bevochtigingscomponent terug te leiden zijn, zo ja, welke en hoe zijn deze opgelost, met name op het vlak verontreinigingen.

Mobility & Built Environment

Molengraaffsingel
2629 JD Delft
www.tno.nl

8