

Forschungsprojekt
Energieeffizienz in Krankenhäusern -
Effizienzpotentiale einer adiabaten Kühlung in bestehenden
RLT-Anlagen

Leitfaden zur Implementierung von adiabater Kühlung in Lüf-
tungsanlagen im Gesundheitssektor

August 2022

Erstellt durch: Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Versorgungstechnik, Institut für energieoptimierte Systeme

Projektname: Forschungsinitiative EnOB
Energieeffizienz in Krankenhäusern - Effizienzpotentiale einer adiabaten
Kühlung in bestehenden RLT-Anlagen,
FKZ: 03ET1370A

Projektlaufzeit: 01.02.2016 – 31.01.2019
(Verlängert bis 31.12.2021)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Autoren:

Prof. Dr.-Ing Lars Kühl (Ostfalia Hochschule)

M. Eng. Ronja Maatmann (Ostfalia Hochschule)

1. Ausgabe, Stand 19.08.2022

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz und dem Förderkennzeichen 03ET1370A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Forschungsprojekt Energieeffizienz in Krankenhäusern (EnKH) und Motivation	4
2	Adiabate Kühlung	6
2.1	Technik und Funktion	6
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen, Technisches Regelwerk	12
3	Auslegung	17
3.1	Werkzeug „Ad-Cool“	17
3.2	Regenwasserzisterne	19
4	Monitoring	20
5	Checkliste	21
6	Quellen	22

1 Forschungsprojekt Energieeffizienz in Krankenhäusern (EnKH) und Motivation

Krankenhäuser und Klinikgebäude spiegeln aufgrund der hohen technischen Ausstattung und des energieintensiven Betriebes die systematische Komplexität beim Umbau der Energieversorgung wieder. Gerade in diesem Bereich sind Lösungsansätze erforderlich, die die technologische Weiterentwicklung im Energiebereich berücksichtigen müssen. Ohne die Entwicklung von ganzheitlich optimierten Konzepten auf Basis passiver baulicher Maßnahmen sowie dem Einsatz auf die konkrete Nutzung und den jeweiligen Lastfall angepasster Anlagentechnik ist eine wesentliche Reduzierung des Energieverbrauchs sowie der energetisch und wirtschaftlich optimierte Einsatz regenerativer Energien nicht möglich. Im Rahmen der Entwicklung und Umsetzung von hohen Zielvorgaben für zu erreichende Energiekennwerte und Gesamteffizienz sind die bisherigen Lösungsansätze und Standards zu hinterfragen und neue Modelle auf dem Gebiet der Effizienz zu entwickeln.

Die adiabate Kühlung, auch die adiabate Abluftkühlung, ist keine neue Technik. Seit Jahrzehnten wird sie eingesetzt, um die Luft energieeffizient zu kühlen. Jedoch gibt es keine hinreichenden Untersuchungen, die deren Einsatz speziell in Krankenhäusern in Kopplung mit mehreren Nutzungsprofilen über unterschiedliche RLT-Anlagen zum Inhalt haben. Aus diesem Grund ist das Forschungsprojekt EnKH – Energieeffizienz in Krankenhäusern entstanden. In dem Forschungsvorhaben (Förderkennzeichen: 03ET1370A) sollen Lüftungsanlagen in verschiedenen Krankenhäusern mit der Technik ausgestattet werden und das Betriebsverhalten messtechnisch dokumentiert werden, sodass Effizienz- und Optimierungspotenziale aufgezeigt werden können.

Die Erfahrungen aus diesem Projekt sollen anhand von Handlungsempfehlungen zusammengefasst und für die Bewertung / Konzeptionierung von Anlagen zur adiabaten Kühlung von anderen Gebäuden oder Prozessen zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 1 Steckbrief Forschungsvorhaben EnKH - Energieeffizienz in Krankenhäuser

Projektname:	EnKH - Energieeffizienz in Krankenhäuser
Ziel:	Aufzeigen von Effizienzpotentiale einer adiabaten Kühlung in bestehenden RLT-Anlagen im Gesundheitssektor
Projektlaufzeit:	01.02.2016 – 31.01.2019 (Verlängert bis 31.12.2021)
Fördergeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Forschungsinitiative EnOB im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung
Projektpartner:	Teilnehmenden Krankenhäuser /Kliniken

2 Adiabate Kühlung

2.1 Technik und Funktion

Durch den Einsatz einer adiabaten Kühlung wird ohne den Betrieb einer weiteren Energiequelle der Luftstrom gekühlt und befeuchtet. Bei der Kühlung durch Verdunstung nimmt warme Luft Wasser auf, das vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand übergeht (latente Wärme). Die Verdampfungswärme, die für den Phasenübergang benötigt wird, wird der Luft als sensible Energie entzogen und es kommt zur Abkühlung der Luft. Je mehr Wasser bei diesem Prozess verdunstet und von der Luft aufgenommen werden kann, umso mehr Wärme kann der Luft entzogen werden.

Eine Form der adiabaten Kühlung ist die indirekte Verdunstungskühlung. Die Abluft einer RLT-Anlage wird heruntergekühlt (vgl. Bild 1). Die gewonnene Kälteenergie wird über die Wärmerückgewinnung der RLT-Anlage an den Zuluftvolumenstrom übertragen.

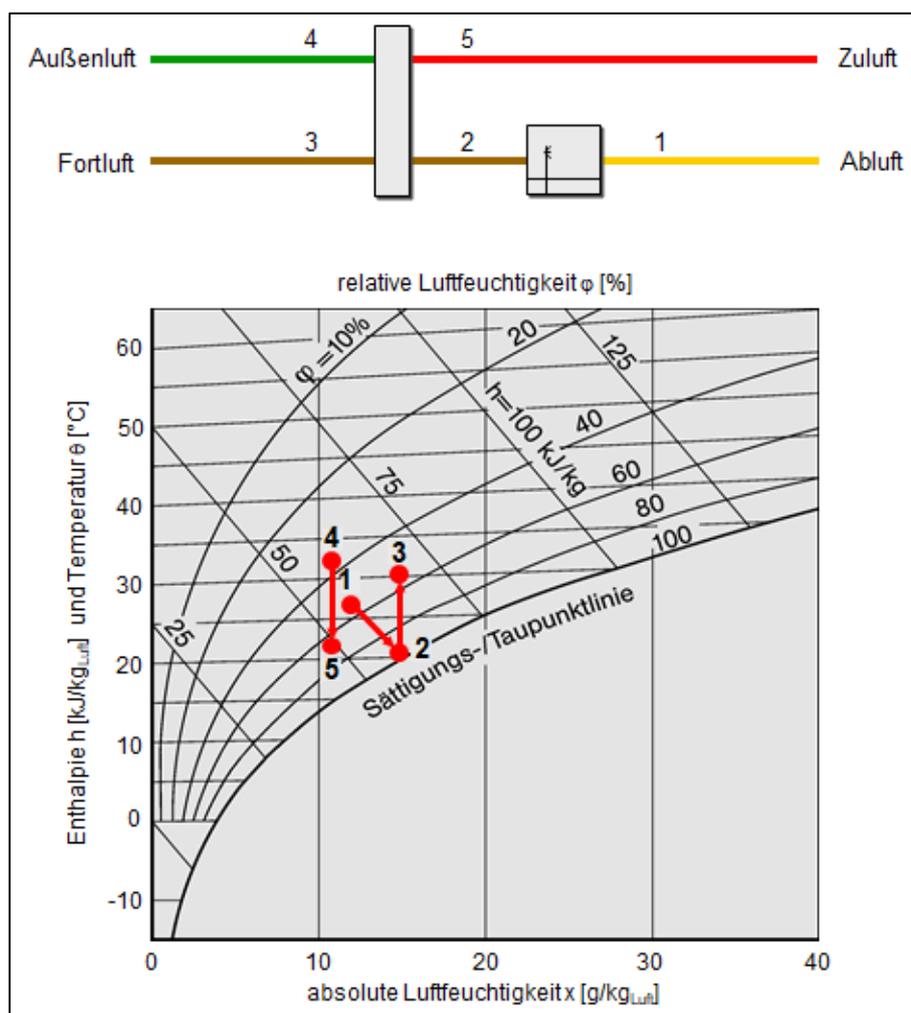


Bild 1 Zustandsänderung der Luft bei adiabater Kühlung

Die Vorteile einer indirekten Verdunstungskühlung liegen in der fast vollständigen Trennung der Luftvolumenströme und dem damit hygienisch unbedenklicheren Betrieb der adiabaten Kühlung. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten der adiabaten Kühlung näher vorgestellt:

Befeuchter:

Es gibt verschiedene Arten zur Befeuchtung von Luft. In Bild 2 ist eine Übersicht dargestellt:

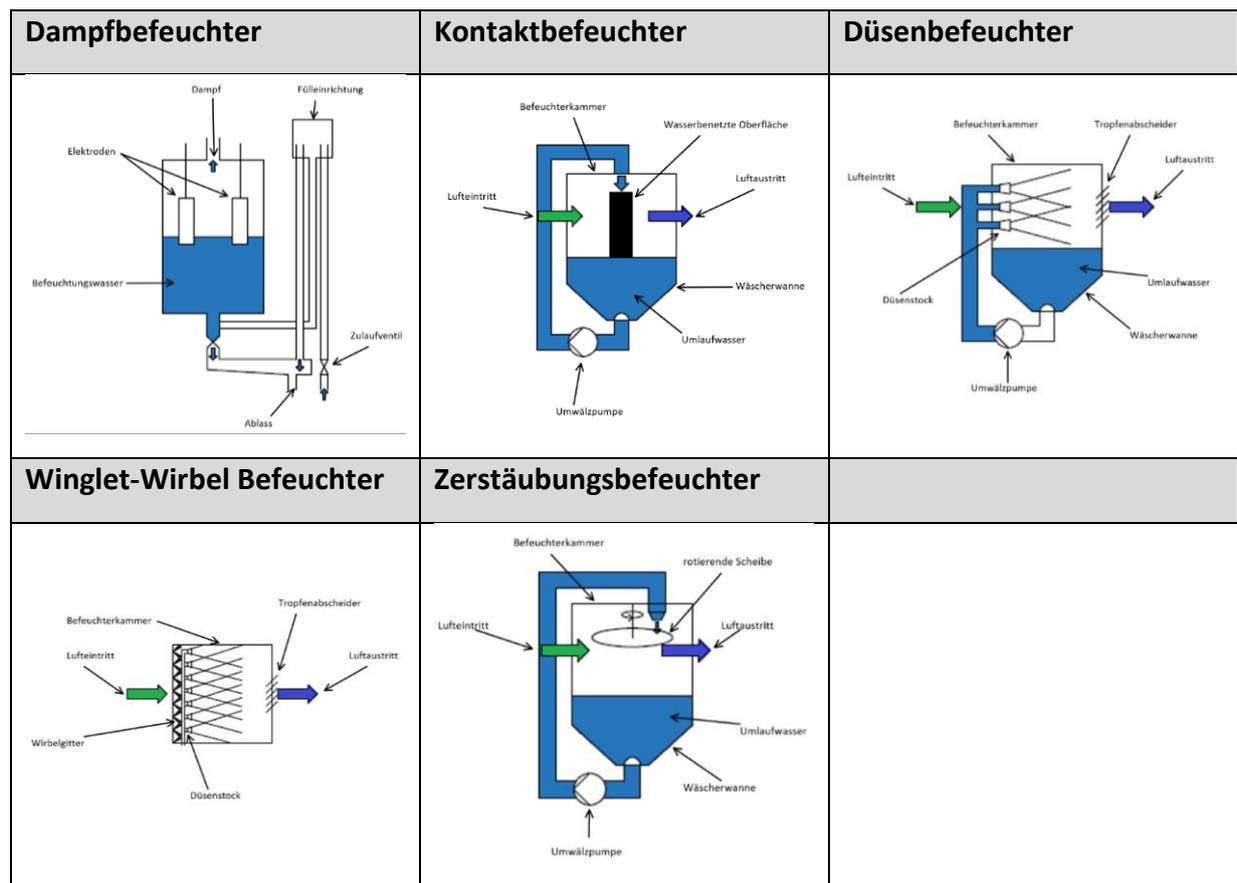


Bild 2 Varianten der Luftbefeuchtung

Der Winglet-Wirbelbefeuchter und der mechanische Zerstäuber benötigen vollentsalztes Wasser und zudem teilweise Druckluft. Um vollentsalztes Wasser herstellen zu können, ist bei der Aufbereitung des Regenwassers eine Umkehrosmose erforderlich. Eine Umkehrosmose ist mit hohen Investitionskosten und Unterhaltskosten verbunden. Aus diesen Gründen kommen diese Befeuchter für die adiabate Kühlung weniger infrage. Der Dampfbefeuchter kommt für eine adiabate Kühlung nicht infrage, da dieser die Luft befeuchtet, aber nicht kühlen kann.

Dieses kommt dadurch zustande, dass der Dampfbefeuchter das für die Befeuchtung der Luft erforderliche Wasser zuerst erhitzt, sodass Dampf entsteht der der Luft zugeführt wird. Dadurch tritt die Verdunstung des Wassers und die daraus folgende Abkühlung der Luft nicht ein.

Als Umsetzungsempfehlung für die adiabate Kühlung bleiben der Kontaktbefeuchter (Rieselbefeuchter) und der Düsenbefeuchter übrig. Die Nutzung eines Düsenbefeuchters ist jedoch hygienisch bedenklich, da dieser Befeuchtertyp eine sehr hohe Umlaufwassermenge aufweist und verkeimen kann. Aus diesem Grund empfiehlt sich der Rieselbefeuchter, da das Befeuchtungswasser nicht vollentsalzt werden muss und auch keine Druckluft benötigt wird. Außerdem wird nur eine geringere Menge an Umlaufwasser benötigt, falls der Rieselbefeuchter im Umlaufwasserbetrieb betrieben wird.

Kontaktbefeuchter

Kontaktbefeuchter bestehen größtenteils aus einem anorganischen, nicht brennbaren Verdunstungsmaterial. Das Wasser fließt an der gewellten Oberfläche des Materials nach unten. Die Luft wird dabei adiabatisch gekühlt, befeuchtet und zum Teil gereinigt. Bild 3 zeigt einen Kontaktbefeuchter der Firma Munters. In Bild 4 ist das Funktionsprinzip eines Kontaktbefeuchters dargestellt.



Bild 3 Kontaktbefeuchter / Quelle: [Munters]

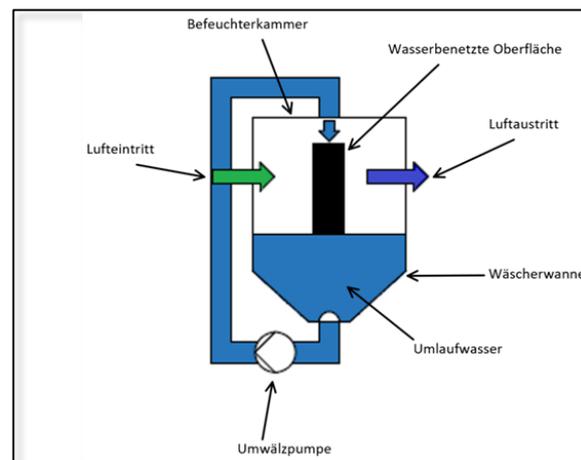


Bild 4 Kontaktbefeuchter Prinzipschaubild

Beim Durchströmen des Verdunstungsmaterials erfolgt eine Teilverdunstung des Wassers. Das übrige Wasser dient zum Spülen des Mediums und wird in einer Auffangwanne gesammelt.

Bei dem Betrieb eines Kontaktbefeuchters kann zwischen zwei unterschiedlichen Betriebsweisen unterschieden werden:

- Betrieb mit Umlaufwasser
- Betrieb mit Direktwasser

In der Tabelle 2 sind die jeweiligen Betriebsweisen näher erläutert.

Tabelle 2 Betriebsarten von Kontaktbefeuchtern

Umlaufwasser	Direktwasser
<ul style="list-style-type: none"> - Wäscherwanne ist gefüllt - Füllstandhöhe in der Wäscherwanne wird über Schwimmerschalter und einem Magnetventil in der Wasserzuleitung reguliert - bei Befeuchtungsanforderungen, startet die Pumpe und fördert Wasser über das Verdunstungsmaterial - nicht verdunstetes Wasser sammelt sich in der Wäscherwanne am Boden des Befeuchters - geringerer Wasserverbrauch als Direktwasser 	<ul style="list-style-type: none"> - keine Wasserpumpe erforderlich - Steuereinheit ist direkt mit der Wasserzuleitung verbunden - bei Befeuchtungsanforderungen wird das Wasser aus der Zuleitung direkt über das Verdunstungsmaterial geleitet - nicht verdunstetes Wasser sammelt sich in der Wäscherwanne am Boden des Befeuchters und wird direkt in das Abwassersystem des Gebäudes geleitet

In Bild 5 und Bild 6 sind jeweils Kontaktbefeuchter der unterschiedlichen Betriebsweisen dargestellt.

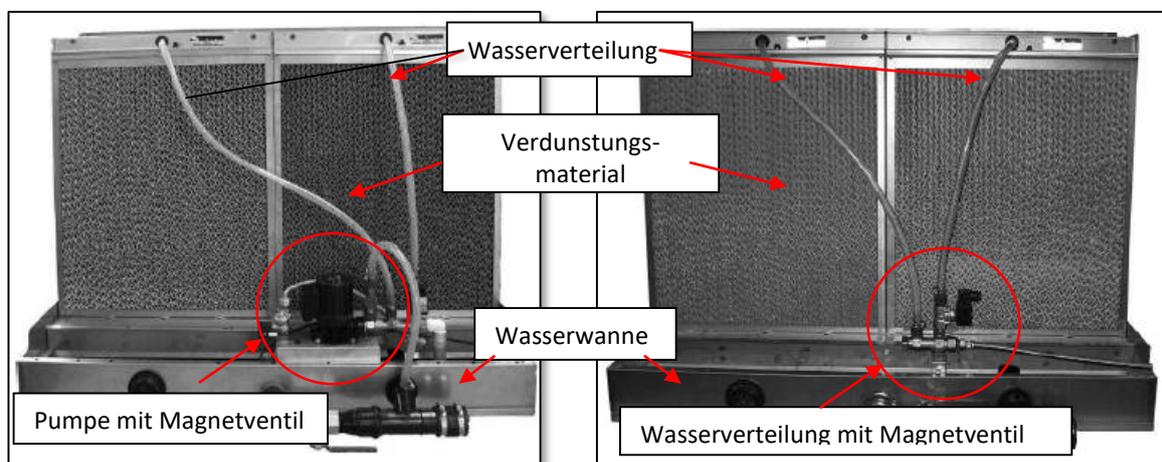


Bild 5 Kontaktbefeuchter (Umlaufwasserbetrieb) / Quelle: [Munters]

Bild 6 Kontaktbefeuchter (Direktwasserbetrieb) / Quelle: [Munters]

Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen

Für die Umsetzung einer adiabaten Kühlung werden zwei unterschiedliche Systeme zur Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen betrachtet:

- Wärmerückgewinnung über einen Plattenwärmeübertrager
- Wärmerückgewinnung über ein Kreislaufverbundsystem

Für den Einsatz eines Plattenwärmeübertragers ist eine örtliche Zusammenführung der Zu- und Abluftvolumenströme erforderlich. Des Weiteren ist ein Plattenwärmeübertrager nur bedingt über Bypass-Klappen regelbar. Positiv ist bei der Verwendung dieser Wärmerückgewinnungstechnik, dass sehr geringe Leckagevolumenströme auftreten.

Ein Kreislaufverbund-System hingegen ist gut regelbar und wird auch bei Anlagen mit großen Volumenströmen eingesetzt. Es erfolgt keine Stoffübertragung. Diese Wärmerückgewinnungstechnik ist für die Nachrüstung von Bestandsanlagen besonders gut geeignet, da hier keine örtliche Zusammenführung der Luftvolumenströme erforderlich ist. Da zudem keine Stoffübertragung stattfindet, ist diese Variante die zu empfehlende Variante für Krankenhäuser.

In Bild 7 und Bild 8 ist das Prinzip der jeweiligen Wärmerückgewinnungstechniken dargestellt.

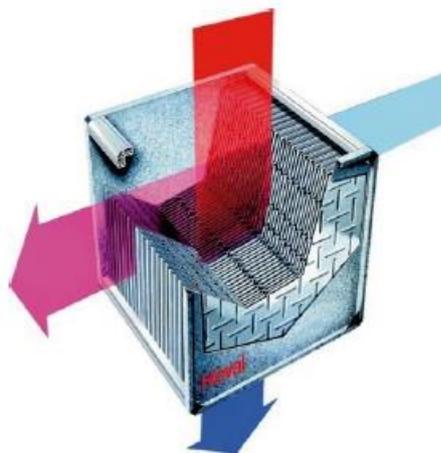


Bild 7 Aufbau und Funktion Plattenwärmeübertrager

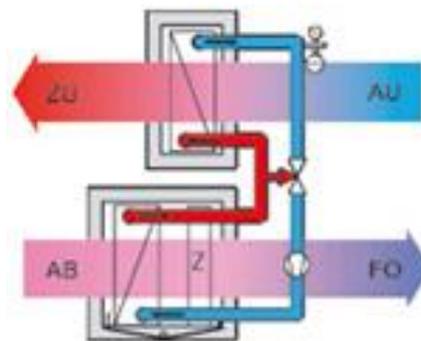


Bild 8 Aufbau und Funktion Kreislaufverbundsystem

Wasseraufbereitung durch Membranverfahren

Das Regenwasser ist, bevor es in einen Kontaktbefeuchter geleitet wird, durch ein Membranverfahren aufzubereiten. Dabei kann die Ultrafiltration zum Einsatz kommen. Bei der Ultrafiltration wird das zu filtrierende Medium mit Druck durch Keramik- bzw. Kunststoffröhrchen gepresst. Der eigentliche Filter sind die porösen Wände dieser Röhrchen. Aufgrund des Durchmessers der Filterporen (ca. 0,01 - 0,05 μm) können Verschmutzungen mit einem Durchmesser ab 0,05 μm zuverlässig zurückgehalten und in regelmäßigen Zeitabständen wieder ausge-

spült werden. Für gelöste Stoffe und Salze sind die Membranen der Filterröhrchen jedoch passierbar. Durch das Bündeln vieler Filterröhrchen in Filtermodulen entsteht die notwendige Fläche, die einen größeren Wasserdurchfluss ermöglicht. Die Poren stellen eine zuverlässige Barriere für Bakterien und Viren dar, da z.B. die Escherichia Coli und die Legionella species einen Durchmesser von etwa 0,5 – 1,5 µm aufweisen. Bild 9 zeigt eine schematische Größen-darstellung der am häufigsten abzuweisenden Bakterien und Viren an der Porenwand.

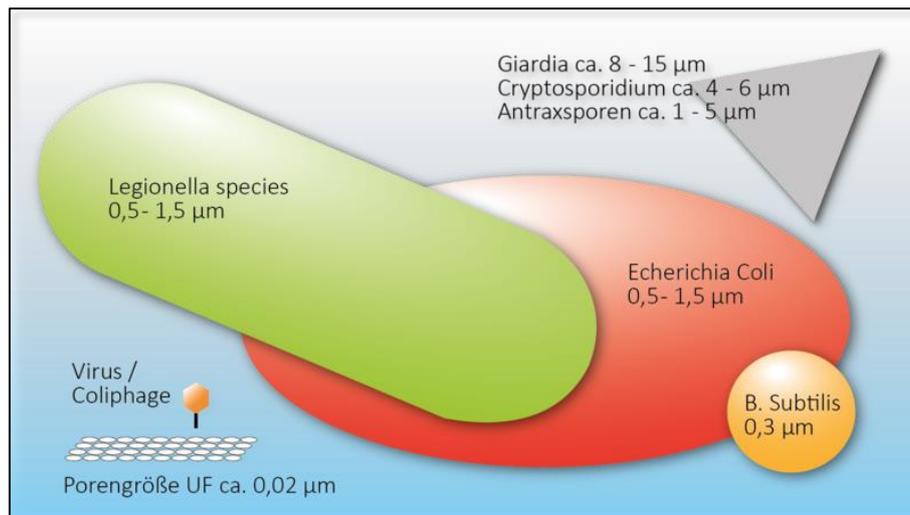


Bild 9 Größenvergleich von Bakterien und Viren gegenüber der Porendurchlässigkeit der Membran bei der Ultrafiltration [W.E.T]

Wasseraufbereitung durch UV-Anlagen

Zusätzlich zur Ultrafiltration kann die Desinfektion des Betriebswassers eine UV-Anlage eingesetzt werden, umso noch vorhandene Mikroorganismen in einen inaktiven nichtinfektiösen Zustand zu versetzen. Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) ist eine Form des Lichtes, die für das menschliche Auge unsichtbar ist. Im Wellenlängenbereich von 200 und 300 Nanometer hat UV-Licht eine keimabtötende Wirkung. Mikroorganismen (z.B. Bakterien und Viren) werden „deaktiviert“ und verlieren ihre Reproduktions- und Infektionsfähigkeit. Diese Art der Wasseraufbereitung ist wirksam gegen pathogene Organismen, wie z.B. Cholera, Polio, Typhus und Hepatitis. Als chemikalienfreies Verfahren ist keine Zugabe zusätzlicher Stoffe in das Wasser erforderlich. Daraus resultieren die nachfolgenden Verantwortlichkeiten und die nachfolgende Betrachtung des Normvolumenstromes.

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen, Technisches Regelwerk

Bei der Auslegung sowie beim Betrieb von Lüftungsanlagen mit adiabater Kühlung müssen die rechtlichen Rahmenbedingung unbedingt eingehalten werden. Nur so kann hygienisch einwandfreier Betrieb realisiert werden.

Die **DIN EN 13053** (Lüftung von Gebäuden) beinhaltet Vorgaben zu Leistungsdaten für zentrale raumluftechnische Geräte, Komponenten und Baueinheiten.

Die wesentlichen Inhalte sind:

- Luftbefeuchtereinheiten müssen so betrieben werden können, dass von ihnen keine Gesundheitsgefahr ausgehen
- nur Befeuchterwasser, dessen Bakterienkonzentration nicht der Gesundheit abträglich ist, darf zu lufttechnischen Zwecken verwendet werden
- bei Verdacht einer unzulässigen Anzahl von Bakterien muss das Befeuchterwasser auf pathogene Bakterien überprüft werden
- im Umlaufwassersbetrieb wird empfohlen, die Wäscherwanne zur Reduzierung von Bakterien, gelösten Feststoffen und Schmutzpartikeln komplett zu entleeren
- oberer Grenzwert für nicht pathogene Bakterien \Rightarrow 10.000 KBE/ml
- Überprüfung und Reinigung ab einer Konzentration von 1.000 KBE/ml im Befeuchterwasser
- bei Verdunstungsbefeuchtern ausreichenden Überlauf im Betrieb vorhalten
- in Stillstandszeiten komplette Entleerung der Wanne vornehmen
- regelmäßiges Spülen der Komponenten
- UV-Bestrahlung des Befeuchterwassers

Die **DIN 1946 - Teil 4** (Raumluftechnik) befasst sich speziell mit Raumluftechnischen Anlagen im Bereich des Gesundheitswesens und damit auch mit den erhöhten hygienischen Anforderungen an die Technik.

Die wesentlichen Inhalte sind:

- die relative Luftfeuchte am Ende der Befeuchtungsstrecke darf maximal 90 % nicht übersteigen
- es dürfen nur Systeme eingesetzt werden, die gesundheitlich unbedenklich sind
- aus hygienischen Gründen sind für OP-Abteilungen ausschließlich Befeuchtungseinrichtungen mit Dampf zulässig
- Kontakt für Betrieb, Ausfall der RLT-Anlage und fehlenden oder zu geringen Zuluftvolumenstrom ist so auszulegen, dass keine Tröpfchenbildung im Zuluftvolumenstrom nach den Befeuchtern auftritt

- keine Wassertropfen von Befeuchtern in nachfolgenden Komponenten oder Anlagenteilen
⇒ Einsatz von Tropfenabscheidern

Mit der **VDI 3803 - Teil 1** (Zentrale Raumluftechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen) werden die im Projekt einzuhaltenden Hygieneparameter in Bezug auf die Beschaffenheit des Betriebswassers festgelegt.

Die wesentlichen Inhalte sind:

- bei Einsatz eines erforderlichen Desinfektionsverfahrens, zur Vermeidung von Keimwachstum, sind in der Praxis nur belegte und gesundheitlich unbedenkliche Verfahren zulässig
- aus Gründen der Hygiene ⇒ Befeuchtungseinrichtungen so ausführen, dass sie ggf. automatisch vollständig entleert und in jedem Fall getrocknet werden können (z. B. mittels Ventilatornachlauf)
- Luftbefeuchter mit Umlaufwasserbetrieb:
 - sind mit einer leitfähigkeitsabhängigen Absalzautomatik auszustatten
 - wasserführende Bereiche müssen sich automatisch und im Bedarfsfall durch einfache Bedienmaßnahmen vollständig entleeren lassen
 - Ausführung mit einer Trockenfahreinrichtung, um im Stillstand der RLT-Anlage die Luftbefeuchteranlage selbständig zu entleeren und zu trocknen ⇒ Vermeidung eines mikrobiellen Wachstums
- Parameter der Trinkwasserverordnung sind einzuhalten
- empfohlene Richtwerte für die Beschaffenheit des Umlaufwassers in Kontakt- und Sprühbefeuchtern sind einzuhalten

Weitere Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte sind in der **VDI 6022 – Blatt 1** mit Vorgaben für Planung, Betrieb und Wartung dokumentiert. Insbesondere die Anforderungen an Luftbefeuchter mit und ohne Umlaufwasser werden zur Variantenerarbeitung herangezogen.

Die wesentlichen Anforderungen an Luftbefeuchter bzw. Komponenten zur Luftbefeuchtung sind:

- Einsatz ausschließlich von Materialien, die eine mikrobielle Vermehrung nicht fördern und dauerhaft korrosionsbeständig sind,
- Gewährleistung einer guten Zugänglichkeit / Revisionierbarkeit insbesondere der wasserführenden Bereiche,
- Einsatz von Befeuchtern nur unter Einhaltung der notwendigen Befeuchterstrecke vor Luftfiltern oder Schalldämpfern, um Wassereintrag hier sicher zu vermeiden,

- Gewährleistung einer ausreichenden Dimensionierung der Befeuchtungsstrecke sowie einer homogenen Verteilung der Feuchtigkeit über den Luftquerschnitt, um Kondensatbildung in Luftleitungen zu vermeiden,
- Auslegung von Luftbefeuchtern gemeinsam mit Vor- und Nachwärmern so, dass nach der Befeuchtungsstrecke eine relative Feuchte von 90 % nicht überschritten wird,
- Vermeidung einer mikrobiellen Vermehrung in Befeuchtungseinrichtungen im Betrieb und im Stillstand,
- Integration einer Schauöffnung (≥ 150 mm Durchmesser, verdunkelbar) und einer von außen bedienbaren Beleuchtung in die Befeuchterkammer,
- Erfüllung der mikrobiologischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) für das in den Befeuchter eingespeiste Wasser, weitere Anforderungen sind in der VDI 3803 Blatt 1, Tabelle B1 geregelt,
- Ausschluss einer Rückspeisung in das Trinkwassernetz durch entsprechende Sicherungseinrichtungen (DIN EN 1717),
- Vermeiden eines direkten Anschlusses der Wasserabläufe an das Abwassernetz,
- Automatische Abschaltung des Befeuchters bei Abschaltung oder Ausfall der RLT-Anlage, Gewährleistung des Trockenfahrens der Befeuchterkammer durch die Vorlaufabschaltung bei planmäßigem Herunterfahren der Anlage,
- Vollständige Entleerung von Wannen und Leitungen in Stillstandsphasen der Anlage oder in Zeiträumen ohne Befeuchtungsanforderung über mehr als 48 Stunden zur sicheren Abfuhr von Wasserresten,
- Gewährleistung einer leichten Demontierbarkeit von Tropfenabscheidern und Gleichrichtern,
- Ausstattung von Befeuchtern mit Umlaufwasser mit einer Absalzvorrichtung,
- Gewährleistung einer vollständigen Entleerung durch einfache Bedienungsmaßnahmen für Einrichtungen zur Wasserspeicherung (Wasserbehälter, Wasserwannen incl. Rohrleitungen)

Im Rahmen der Prüfung der Geräte im Betrieb sind folgende Punkte zu prüfen (siehe hierzu Checkliste in [VDI 6022-1, Tabelle 8]):

Luftbefeuchter mit Umlaufwasser

- Prüfung auf Verschmutzung, Beschädigung, mikrobielles Wachstum und Korrosion,
- Kontrolle der Abschalteinrichtungen auf Funktion,
- Gesamtkoloniezahlermittlung des Umlaufwassers (halbmonatlich),
- Zerstäuberdüsen auf Ablagerungen prüfen,
- Umlaufpumpe auf Schmutz- und Belagbildung in der Saugleitung prüfen,
- Schmutzfänger auf Zustand und Funktion prüfen,
- Pumpenkreislauf reinigen,

- Funktionsprüfung der Leitfähigkeitsmesszelle,
- Funktionsprüfung der Entkeimungsanlage,
- vollständige Entleerung und Trocknung der Befeuchteranlage (bei Stillstand),
- Tropfenabscheider und Strömungsgleichrichter auf Verschmutzung, Beschädigung, Belagbildung und Korrosion prüfen.

Luftbefeuchter ohne Umlaufwasser

- Prüfung auf Verschmutzung, Beschädigung, mikrobielles Wachstum und Korrosion,
- Prüfung auf Kondensatniederschlag in der Befeuchterkammer,
- Reinigen und ggf. Instandsetzen des Dampfbefeuchters,
- Dampfverteilsystem auf Ablagerungen prüfen,
- Zerstäuberdüsen auf Ablagerungen prüfen
- Ablauf prüfen,
- Gesamtkoloniezahlermittlung des Befeuchterwassers (siehe Anhang B),
- Regelventil auf Funktion prüfen,
- Feuchtbegrenzer prüfen.

Die **Ökodesign-Richtlinie ErP** ist eine europäische ErP-Richtlinie (Energy-related-Products-Directive) und definiert die Mindestanforderungen an energierelevante Produkte. Das Ziel dieser Richtlinie ist eine Reduzierung des Energieverbrauchs, eine Erhöhung des Gesamtanteils erneuerbarer Energien und die damit verbundene Reduzierung der CO₂ – Emissionen. Diese Richtlinie gilt für alle Produkte, die im europäischen Wirtschaftsraum in den Verkehr gebracht werden. Für den Anwendungsfall der Luftaufbereitung gilt diese Verordnung für alle Lüftungsgeräte, die verbrauchte Luft in einem Gebäude oder Gebäudeteil durch frische Außenluft ersetzen. Die Ökodesign-Richtlinie hat für die Bearbeitung des Projektes „EnKH“ zur Folge, dass bei Änderungen des Wärmerückgewinnungssystems bzw. des SFP-Wertes der Ventilatoren die Anforderungen an die Rückwärmezahl und spezifische Ventilatorleistung eingehalten werden müssen.

Zusammenfassung:

Auf Grundlage der dargestellten Technischen Regeln werden für die Umsetzung einer regenwasserbetriebenen adiabaten Abluftkühlung im Rahmen des Forschungsprojektes folgende Punkte berücksichtigt:

Allgemeines

- es wird durch die Installation von Tropfenabscheidern hinter der Befeuchtereinrichtung sichergestellt, dass keine Wassertropfen in nachfolgenden Komponenten gelangen können
- beim Abschalten der RLT-Anlage wird durch Entleeren und Trockenfahren der Befeuchtereinrichtung sichergestellt, dass sich in Stillstandszeiten keine Mikroorganismen vermehren können
- die Befeuchtereinrichtung soll so umgesetzt werden, dass kein Aerosol oder Kondensat in den Luftstrom gelangt
- regelmäßiges Spülen der Komponenten
- ausreichender Überlauf bei Kontaktbefeuchtern
- relative Feuchte am Ende der Befeuchtungsstrecke max. 90 %

Für das Betriebswasser gilt:

Um die Anforderungen der DIN EN 13053 und VDI 3803 an das Betriebswasser zu erfüllen, wird es umfangreich, durch in der Praxis belegte, Verfahren aufbereitet.

Für die Betriebsweise der adiabaten Kühlung mit Umlaufwasser gilt:

- leitfähigkeitsabhängige Absalzautomatik
- automatisches und bedarfsabhängige vollständige Entleerung alle wasserführenden Bereiche
- halbmonatliche mikrobiologische Prüfung des Umlaufwassers
- regelmäßige Funktionsüberprüfung der Abschaltregelung
- vollständiges Entleeren und Trocknen der wasserführenden Systemteile nach spätestens 48 Stunden ohne Anforderungen an die Befeuchtereinheit

3 Auslegung

Bei der Auslegung einer Neuanlage oder der Sanierung einer Bestandsanlage ergeben sich neben den hygienisch und technisch einzuhaltenden Rahmenbedingungen und Anforderungen auch Unterschiede. Bei Bestandsanlagen ist neben den technischen Aspekten auch insbesondere der noch vorhandene Platzbedarf bei der Auslegung zu berücksichtigen. Um dennoch eine Erstabschätzung zu erhalten wurde das Werkzeug „Ad-Cool“ entwickelt.

3.1 Werkzeug „Ad-Cool“

Um eine erste Auslegung durchzuführen muss das Excel-Arbeitsblatt „Auslegung“ geöffnet werden. Für die Auslegung werden die Außenlufttemperaturen und die absolute Luftfeuchte für jede Stunde eines Jahres benötigt. In dem Tool ist das nach DIN V 18599-10 Referenzklima mit dem Referenzstandort Potsdam (Region 4) hinterlegt. Vom Deutschen Wetterdienst (DWD) gibt es bereits neuere und ortsgenaue Testreferenzklimadaten. Diese können beim DWD heruntergeladen werden und in das Tool, wenn gewollt, hinterlegt werden. Das Hinterlegen dieser Daten ist nachfolgend beschrieben.

DWD-Klimadaten

Das Herunterladen der Klimadaten beim DWD ist kostenfrei. Dafür ist eine Registrierung beim DWD notwendig. Über den Link <https://kunden.dwd.de/obt/register.jsp?productId=TRY> öffnet sich die Website zur Registrierung. Nach erfolgreicher Registrierung kann sich der Nutzer über den Link <https://kunden.dwd.de/obt/> anmelden. Nach erfolgreicher Anmeldung können die Daten wie folgt heruntergeladen werden:

1. Klick auf Energie- und Bauwesen
2. Klick auf Testreferenzjahre TRY
3. Standort in der Karte heraussuchen und Gitterzelle anklicken
4. Klick auf Zur Auswahlübersicht
5. Klick auf Produkt herunterladen

Der Ordner enthält 6 Wetterdatensätze. Drei für das Testreferenzjahr 2015 und drei für das in der Zukunft liegende Jahr 2045. Für die beiden Jahre gibt es eine Datei mit einem Extremsommer sowie einem Extremwinter. Die Datei „Jahr“ ist ohne die Extremwetterereignisse. Welche Datei in das Tool hinterlegt werden soll, kann der Nutzer selbst entscheiden. Die Textdateien können wie folgt in Excel eingefügt werden:

1. Entpacken des Dateiodners
2. Klick auf *Datei* in Excel → Klick auf *Öffnen* → Klick auf *Durchsuchen* (Um die Datei zu finden, unten rechts statt *Alle Excel-Dateien* → *Alle Dateien* auswählen) → Textdatei auswählen und *Öffnen*

3. Nun öffnet sich der Textkonvertierungs-Assistent:
 Auswahl bei Ursprünglicher Datentyp auf *Getrennt* → Klick auf *Weiter*
 Bei Trennzeichen: *Tabstopp und Leerzeichen* auswählen → Klick auf *Weiter*
 Das Feld *Weitere...* anklicken → Je nach Betriebssystem beim Dezimalzeichen Komma bzw. Punkt auswählen und beim 1000er-Trennzeichen Punkt bzw. Komma auswählen → Klick auf *Fertig stellen*
4. Das gesamte angezeigte Arbeitsblatt kopieren und in dem Tool in dem Arbeitsblatt *Daten_Außenluft* in die Zelle A1 kopieren.

Eingabe

Nachdem der Klimadatensatz entweder beibehalten oder verändert wurde, müssen weitere Angaben in den gelben Feldern gemacht werden. Im Anschluss wird in dem untenstehenden Diagramm angezeigt inwieweit die adiabate Kühlung die gesamte Kältebereitstellung decken kann (vgl. Bild 10).

Umso höher die Außenlufttemperatur, desto unwahrscheinlicher ist der Betrieb alleinig über die adiabate Kühlung. Bei den Ergebnissen wird außerdem der ungefähre Kältebedarf (berechnet über die Außenlufttemperatur, interne Lasten sind nicht berücksichtigt) bestimmt. Außerdem werden die Betriebskosten Trinkwasser und Strom mit aufgeführt. Rechts neben den Ergebnissen ist der Vergleich mit der herkömmlichen Kältebereitstellung (alleinigen Betrieb einer Kompressionskältemaschine) dargestellt.

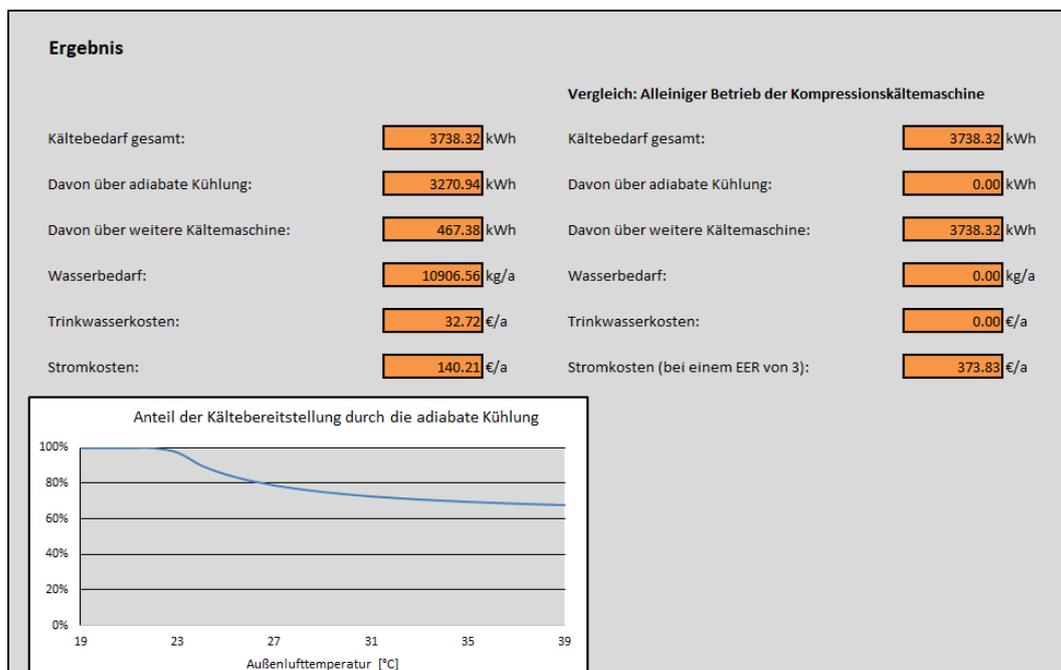


Bild 10 Ergebnisdarstellung

3.2 Regenwasserzisterne

Der Betrieb der adiabaten Kühlung kann statt mit Trinkwasser auch mit Regenwasser betrieben werden. Dieser Betrieb ist im Vergleich zur herkömmlichen adiabaten Kühlung nachhaltiger. Um Regenwasser nutzen zu können, muss dieses aufgefangen und gespeichert werden. Das Regenwasser wird meist in Regenwasserzisternen gespeichert. Die Größe der Regenwasserzisterne hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Vorhandener Platz
- Auffangfläche des Niederschlages & Niederschlagsmenge am Standort
- Benötigte Wassermenge für die Verdunstungskühlung

Die benötigte Wassermenge für die nachgeschaltete Verdunstungskühlung ist das bei der Auslegung das Maß an dem sich weitere Faktoren angliedern. Berücksichtigt werden muss zudem der vorgesehene Platz für die Zisterne sowie die auffangbare Fläche des Niederschlages mit der am Standort ermittelten Niederschlagsmenge. In Bild 11 ist der Füllstand einer Zisterne über ein Jahr aufgetragen. Um dies zu berechnen, wird ein Wetterdatensatz mit den Niederschlagsdaten am Standort benötigt. Die verfügbare Niederschlagsmenge, die an die Zisterne abgegeben werden kann, wird wie folgt berechnet:

$$V_{\text{Niederschlag}} = A_N \cdot h_N \cdot \eta_F \cdot \Psi$$

Mit:

$V_{\text{Niederschlag}}$ - Verfügbare Niederschlagsmenge

A_N - Auffangfläche

h_N - Niederschlagshöhe

η_F - Filterwirkungsgrad

Ψ - Abflussbeiwert

Um eine Bilanz um die Zisterne aufstelle zu können, wird außerdem der Abfluss (für die Verdunstungskühlung) benötigt. Hierfür muss die für die adiabate Kühlung benötigte Wassermenge berechnet werden.

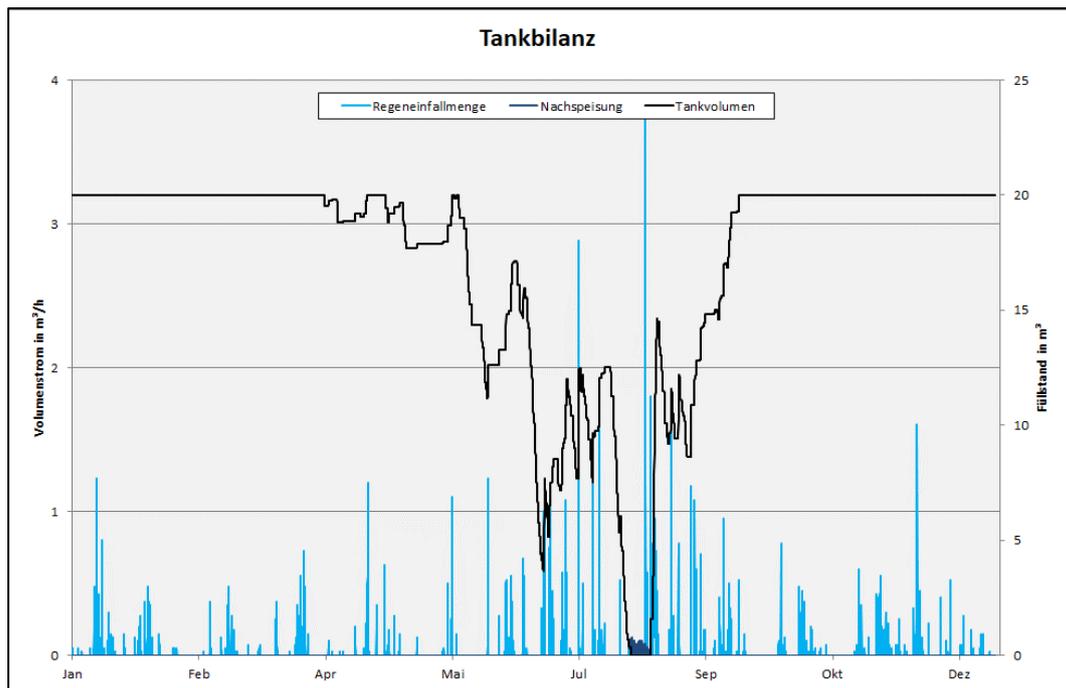


Bild 11 Tankbilanz Niederschlagszisterne

4 Monitoring

Bei einem Monitoring werden Betriebszustände über Messtechnik aufgezeichnet und gespeichert, sodass diese Messdaten im Anschluss ausgelesen und ausgewertet werden können. Das Monitoring dient vor allem zur Bewertung des Anlagenbetriebes sowie der Optimierung von Energieverbräuchen. Zusätzlich unterstützt es die Funktionskontrolle verschiedener anlagentechnischer Bauteile und komplexer Systeme und bietet die Möglichkeit, das Klima eines Raumes oder einer ganzen Zone anzupassen. Es hilft dem Betreiber dabei, einen wirtschaftlichen und effizienten Gebäudebetrieb zu erzielen und das jeweilige Gebäude bzw. die jeweilige Anlage funktions- und bedarfsgerecht zu bewirtschaften.

Bei der adiabaten Kühlung ist es sinnvoll, verschiedene Temperatursensoren sowie Wassermengenzähler zu installieren. Die Messdaten sollten dabei höchstens im Stundentakt gemessen werden. Die Temperaturen geben Aufschluss über die Wirksamkeit der adiabaten Kühlung. In Bild 12 sind die mindestens zur Auswertung der adiabaten Kühlung notwendigen Temperatursensoren aufgezeigt. Bei einem Kreislaufverbundsystem (KV-System) sind weitere Temperatursensoren notwendig. Zudem ist die Dokumentation des Wasserbedarfs für die adiabate Kühlung interessant, da auch der Wasserverbrauch Aufschluss über den Betrieb gibt.

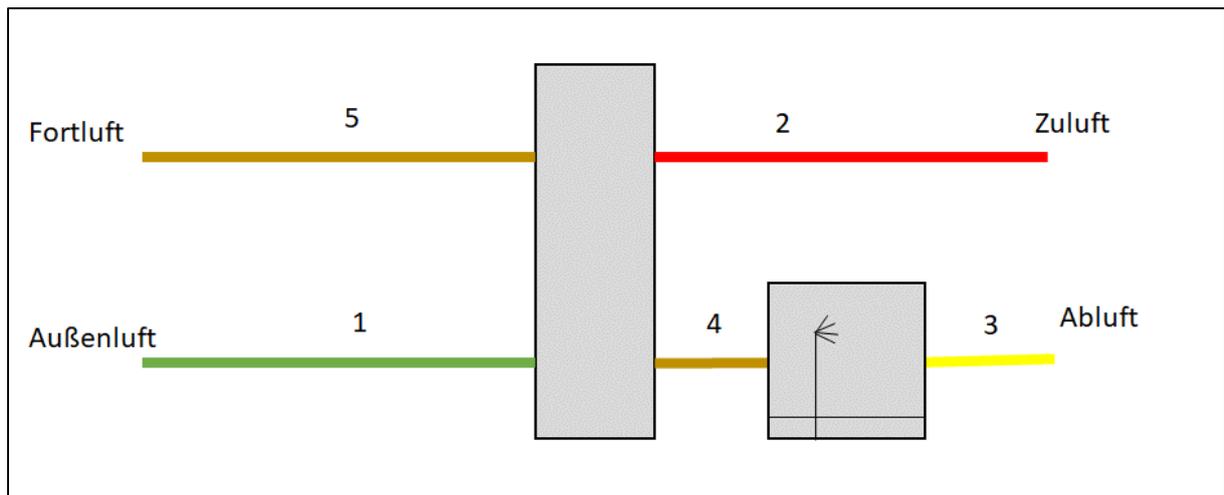


Bild 12 Anordnung der Temperatursensoren

Das entwickelte Excel-Tool dient nicht nur der Auslegung, sondern auch der Betriebsauswertung. Für die Betriebsanalyse müssen die Temperaturaufzeichnungen (Stundenwert) aus dem Monitoring in das Arbeitsblatt „Rohdaten“ in den dafür vorgesehenen Felder übertragen werden. Im Anschluss kann im Arbeitsblatt „Bestandsanalyse“ die Verteilung der Stunden begutachtet werden. Der Heizbedarf im Sommer ergibt sich aus der in der Nacht abgekühlten Luft und der im Raum warmen Luft. Das Diagramm zeigt an, wie viele Stunden im Betrachtungszeitraum die adiabate Kühlung im Betrieb war und wie viele Stunden die erzeugte Kälte abgenommen wurde. Außerdem wird das noch mögliche Potential ausgewiesen.

5 Checkliste

Bei der Planung einer Lüftungsanlage mit adiabater Kühlung sind folgende Punkte zu beachten:

- Bei Bestandsanlagen: Überprüfung des Platzangebots zur Umrüstung der Lüftungsanlage
- Beachtung der Technischen Regeln und Herstelleranforderungen sowie Hygieneanforderungen
- Erstellung eines Monitoringkonzeptes
- Auslegung auf den Luftvolumenstrom sowie den gewünschten Zulufttemperaturen
- Bei regenwassergespeister adiabater Kühlung: Platzbedarf Regenwasserzisterne beachten
- Bei regenwassergespeister adiabater Kühlung: Auffangflächen bestimmen

6 Quellen

- [DIN 1946-4] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN 1946 Raumluftechnik –
Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens, Ausgabe 09/2018,
Beuth Verlag GmbH, D – 10 772 Berlin
- [DIN 1946-4, Bbl. 1] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN 1946 Raumluftechnik –
Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens – Beiblatt 1: Checkliste für Planung, Ausführung und Betrieb der Gerätekomponenten, Ausgabe 06/2018,
Beuth Verlag GmbH, D – 10 772 Berlin
- [DIN EN 13053] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN EN 13053 Lüftung von Gebäuden –
Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten, Ausgabe 05/2020,
Beuth Verlag GmbH, D – 10 772 Berlin
- [ERP] Ökodesign-Richtlinie ErP
Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen, gültig ab 26.11.2014
- [Munters] Munters GmbH, Hans-Duncker-Str. 8, D – 21 035 Hamburg,
www.munters.com
Produktinformation
- [VDI 3803-1] Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
VDI 3803 Blatt 1 – Raumluftechnik - Bauliche und technische Anforderungen - Zentrale RLT-Anlagen (VDI-Lüftungsregeln), Ausgabe 05/2020
Beuth Verlag GmbH, D – 10 772 Berlin

- [VDI 6022-1] Raumluftechnik, Raumlufqualität
VDI 6022 Blatt 1 - Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln), Ausgabe 01/2018
Beuth Verlag GmbH, D – 10 772 Berlin
- [W.E.T] W.E.T. GmbH, Krumme Fohre 73, D-95359 Kasendorf, www.wet-gmbh.com
“Ultrafiltration” - W.E.T GmbH (www.wet-gmbh.com/know-how.html)