

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 86 (1994)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Feuchtigkeitsschäden in Wasserwerken  
**Autor:** Langeloh, Gerald / Fehr, Jürg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940807>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Feuchtigkeitsschäden in Wasserwerken

Gerald Langeloh und Jürg Fehr

*Die Folgen einer zu hohen Luftfeuchtigkeit in Trinkwasserwerken lassen sich in die zwei grossen Problemgruppen Schwitzwasser/Korrosion und elektrische Störungen einteilen. Zu diesem Ergebnis ist eine Untersuchung der Munters GmbH, Herstellerin industrieller Luftentfeuchter, gekommen. Ihre Sorptions-Luftentfeuchter bieten gegenüber FCKW-belasteten Kältegeräten eine umweltfreundlichere und energiesparende Alternative. In Verbindung mit dem neuartigen Mikrostat MH 90 kann die Wirtschaftlichkeit dieser Geräte zusätzlich gesteigert werden.*

Zu hohe Luftfeuchtigkeit ist eine der Hauptursachen für erhöhten Wartungs- und Reparaturaufwand, Betriebsstörungen und vorzeitiges Altern von Maschinen und Anlagen in Wasserwerken: Das Abkühlen der feuchtigkeitsbeladenen Luft an kalten Oberflächen führt zu einer Unterschreitung des Taupunktes und damit zur Freisetzung von Wasser als Kondensat.

Das Kondenswasser begünstigt nun die Bildung von Rost, unterwandert Farbanstriche, fördert die Schimmelbildung und beeinträchtigt elektrische Anlagen. Auch wenn kein Kondensat sichtbar ist, bewirkt doch die hohe Luftfeuchtigkeit durch die Abkühlung der Luft grosse Korrosionsgefahren: Denn die Korrosionsgeschwindigkeit von Metallen steigt mit der relativen Luftfeuchte ab einem metallspezifischen Wert überproportional an. Korrosion und Ausfall von elektrischen Einrichtungen sind die Folgen.

Doch welche Folgen von zu hoher Luftfeuchtigkeit werden in der Praxis wirklich relevant und in welcher Intensität? Treten sie bei allen Wasserwerken gleich stark auf, oder variieren die Problemstrukturen von Werk zu Werk? Und: Welche Verfahren werden zur Verhinderung der Folgen einer zu hohen Luftfeuchtigkeit eingesetzt? Um diese Fragen zu beantworten, hat die Munters AG (Basel) eine Untersuchung unter Schweizer Trinkwasserwerken durchgeführt. Angesprochen wurden über 400 Werke, von denen sich mehr als 33 % an der Studie beteiligten. Die Rücksendungen stellten eine repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit dar.

Nach allgemeinen Angaben zur jährlichen Wasserabgabemenge, zur Ausstattung (Anzahl der Hochbehälter/Reservoirs, Pumpstationen und Filterräume) sowie den Wasser- und Raumtemperaturen wurden die Wasserwerke nach Art, Häufigkeit und Lösung folgender feuchtigkeitsbedingter Probleme befragt:

- a) Schwitzwasser/Kondenswasser,
- b) nasse Wände,
- c) Rost an Rohren und/oder Schiebern,
- d) lose Wandfarbe,
- e) Schimmelbildung an Wänden/Decken,
- f) Korrosions- und Funktionsprobleme an der elektrischen Ausrüstung,
- g) Kurzschlüsse,
- h) Korrosion an Kontakten,
- i) häufiger Lampenausfall.

Nach einer Standardisierung der Daten wurde die gegenseitige Abhängigkeit der angeführten Variablen (Probleme) mittels einer Korrelationsanalyse ermittelt. Dabei wird angenommen, dass hochkorrelierte Probleme letztlich nur

unterschiedliche Ausprägungen eines dahinterstehenden Problems (des Faktors) sind. Die Fragen a) bis i) repräsentieren 100 % der erfragten Ausgangsproblematik. Durch die Standardisierung hat jedes Problem ein «Gewicht» von genau eins. Die Summe der Eigenwerte der Faktoren muss daher bei acht Problemen wieder acht ergeben. Der erste Faktor wird nun so gelegt, dass er möglichst viel von der Ausgangsvarianz erklärt; d.h. die Summe der Korrelationen zwischen den Problemen a) bis i) und dem Faktor muss möglichst gross sein. Die nächsten Faktoren werden so gelegt, dass sie unabhängig von den vorherigen Faktoren sind und jeweils den Grossteil der Restvarianz/Restproblematik erklären. Das Ergebnis dieses Verfahrens demonstriert Tabelle 1.

Tabelle 1. Faktoreigenwerte.

| Faktor | Eigenwert | Varianz | kumulierte Varianz |
|--------|-----------|---------|--------------------|
| 1      | 4,107     | 45,6    | 45,6               |
| 2      | 1,665     | 18,5    | 64,1               |
| 3      | 0,660     | 7,3     | 71,4               |
| 4      | 0,652     | 7,2     | 78,6               |
| 5      | 0,569     | 6,6     | 85,2               |
| 6      | 0,430     | 4,8     | 90,0               |
| 7      | 0,354     | 3,9     | 93,9               |
| 8      | 0,299     | 3,4     | 97,3               |

## Zwei Gruppen von Hauptproblemen

Die Tabelle 1 zeigt, dass der erste Faktor über 45 % der Probleme ausmacht und schon die ersten beiden Faktoren zusammen 64,1 % der gesamten erhobenen Problematik repräsentieren. Daraus folgt: 64,1 % der Probleme a) bis i) in Wasserwerken können durch zwei Hauptproblemgruppen dargestellt werden. Da bereits der dritte Faktor mit seinem Eigenwert unter 1 fällt, wurden zwei Faktoren extrahiert (mit einer vorgeschalteten Kommunalitätseinschätzung ergab sich ebenfalls eine zwei faktorielle Lösung).

Genauere Auskunft über den Zusammenhang zwischen den Problemen a) bis i) und den resultierenden Faktoren gibt die Faktorladungsmatrix, eine Korrelationsanalyse zwischen Faktor und Ausgangsfragen (Tabelle 2).



Bild 1. Wasserschloss: Nicht nur hier sind Funktionsstörungen durch Kondenswasser und Korrosion möglich.

Tabelle 2. Varimax-rotierte Faktormatrix.

| Problem                                                             | Faktor 1 | Faktor 2 |
|---------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| a) Schwitzwasser, Kondenswasser                                     | 0,794    | 0,102    |
| b) nasse Wände                                                      | 0,838    | 0,183    |
| c) Rost an Rohren oder Schiebern                                    | 0,815    | 0,083    |
| d) lose Wandfarbe                                                   | 0,760    | 0,254    |
| e) Schimmelbildung an Wänden und Decken                             | 0,644    | 0,232    |
| f) Korrosions- und Funktionsprobleme an der elektrischen Ausrüstung | 0,268    | 0,800    |
| g) Kurzschlüsse                                                     | 0,154    | 0,751    |
| h) Korrosion an Kontakten                                           | 0,185    | 0,851    |
| i) häufiger Lampenausfall                                           | 0,088    | 0,741    |

Die Faktorladungsmatrix (Tabelle 2) zeigt ein klares Bild darüber, welche Probleme zur Interpretation der Faktoren herangezogen werden können (Bild 1). Offensichtlich bilden die Probleme a) bis e) den ersten und f) bis i) den zweiten Faktor. Als Namen wurden daher für Faktor 1 «Schwitzwasser und Korrosion» und für Faktor 2 «Elektroprobleme» gewählt.

Die Faktoranalyse weist diese Problemgruppen statistisch als voneinander unabhängig aus. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, da unstrittig ist, dass sowohl die durch Korrosion bedingten Elektroprobleme als auch die Schwitzwasser- und Korrosionsprobleme an den kalten Oberflächen dieselbe physikalische Ursache haben: eine zu hohe Luftfeuchtigkeit. Wie muss dieses Ergebnis nun interpretiert werden? Die einzig mögliche Interpretation ist, dass die Beantworter des Fragebogens (in der Regel die technischen Leiter der Wasserwerke) diese Problemgruppen als unabhängig voneinander einstufen und nach getrennten Lösungen suchen.

Auf der Basis dieses Ergebnisses führte Munters anschliessend eine zweite Analyse durch. Da sich ähnliche Probleme in zwei Hauptgruppen zusammenfassen liessen, könnten vielleicht auch die Wasserwerke selbst in Gruppen mit einer ähnlichen Problemstruktur aufgeteilt werden. Als statistisches Mittel dient hierzu die Clusteranalyse. Sie zeigt, dass die Probleme in den Wasserwerken unterschiedlich stark ausgeprägt sind (Bild 2). Zieht man in Betracht, dass bei den Null-Werten auf den Achsen der Mittelwert der jeweiligen Probleme liegt – und nicht etwa der Punkt «kein Problem» –, so muss man feststellen, dass die Schwitzwasser- und Korrosionsproblematik sowie Schäden und Ausfälle an der elektrischen Ausstattung längst

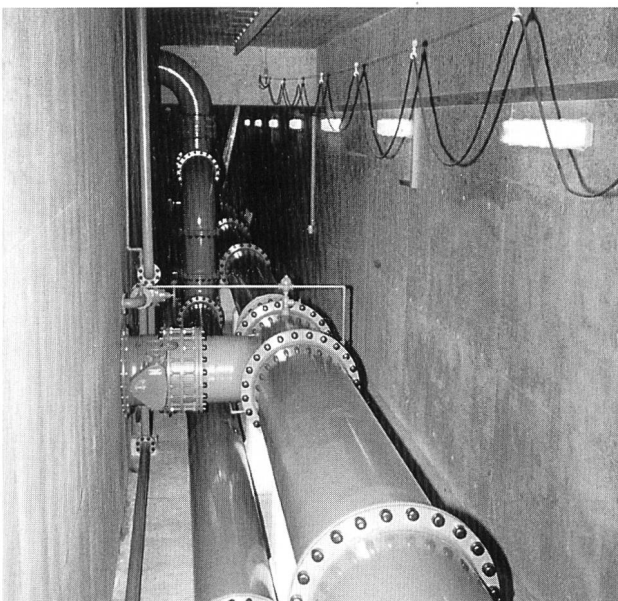


Bild 2. Alle kalten Oberflächen, wie diese Rohrleitungen, können durch Luftentfeuchtung geschützt werden.

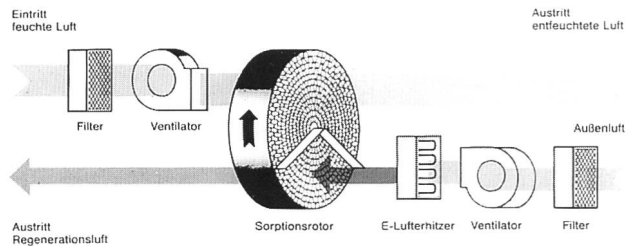


Bild 3. Funktionsschema Munters-Luftentfeuchter.

nicht als gelöst betrachtet werden können. Der betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Schaden muss immens sein und sollte Anlass einer eigenen Erhebung werden. Obwohl die Umfrage nur unter Trinkwasserwerken durchgeführt wurde, lassen sich ihre Ergebnisse grundsätzlich auch auf Wasserkraftwerke übertragen, weil hier die technischen Gegebenheiten sehr ähnlich sind (für Kläranlagen gilt das nur eingeschränkt, weil hier zusätzliche Faktoren – wie etwa aggressive Dämpfe und Nebel – Einfluss nehmen).

### Technische Ansätze zur Problemlösung

Die Erhebung sollte auch in Erfahrung bringen, welche Verfahren zu ihrer Vermeidung eingesetzt werden. Zur Wahl standen Temperierung, Luftentfeuchtung oder andere Methoden. Dabei stellte sich heraus, dass 92 % die Möglichkeit der Luftentfeuchtung kennen (4 % nicht) und zu 84 % auch nutzen (nein: 15 %). Interessanterweise wird die Luftentfeuchtung zu 45 % mit Kältegeräten durchgeführt. Und zwar oft auch in solchen Fällen, in denen es naheliegt, dass aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen der Einsatz von Kälteentfeuchtern energetisch aufwendig und damit unwirtschaftlich ist. Kältegeräte nutzen den Umstand, dass kalte Luft weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann als warme. Die Entfeuchtungsleistung von Kälte-Luftentfeuchtern nimmt daher bei niedrigen Temperaturen stark ab. Dies lässt sich nur durch eine Steigerung der Kälteleistung ausgleichen, die sich in erhöhten Kosten für die Betriebsenergie niederschlägt. Ausserdem arbeiten diese Geräte mit FCKW-haltigen und damit umweltgefährdenden Kältemitteln. Beim Sorptionsentfeuchter treten diese Probleme nicht auf.

Diese Luftentfeuchter basieren auf Sorptionsrotoren, die aus einem unbrennbaren und physiologisch unbedenklichen Material mit hohem Übertragungswirkungsgrad bestehen. Sie arbeiten mit einem festen Sorptionsmittel (je nach Erfordernis Lithiumchlorid, Silicagel oder ein Molekularsieb), das integrierter Bestandteil des Trägermaterials mit extrem grosser Austauschfläche ist. Die langsam rotierenden Sorptionsrotoren besitzen eine axial verlaufende Wabenstruktur, die von der zu entfeuchtenden Luft laminar, d.h. mit geringsten Reibungsverlusten, durchströmt wird.

### Entfeuchtung bei niedrigen Energiekosten mit Sorptionsluftentfeuchtern

Der extrem niedrige Wasserdampfpartialdruck über dem Sorptionsmittel bewirkt dabei einen effektiven Feuchteaus-tausch zwischen dem Sorptionsrotor und der durchströmenden Luft. Die vom Sorptionsrotor aufgenommene Luftfeuchtigkeit wird durch einen im Gegenstrom geführten erhitzten Luftstrom wieder ausgetrieben und in die Atmosphäre abgeführt. Der Sorptionsrotor kann nach der Rege-

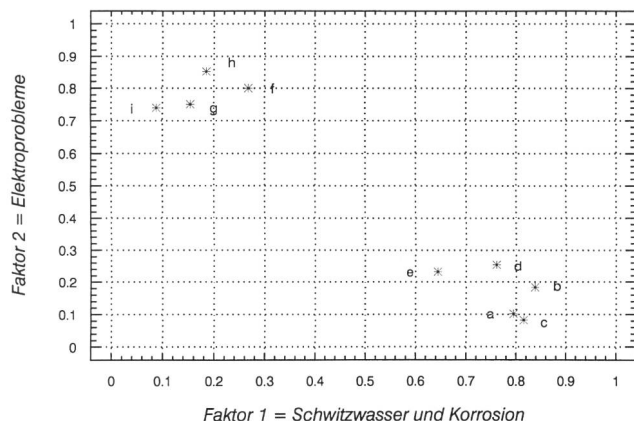


Bild 4. Ladung der Ausgangsvariablen in der Zwei-Faktoren-Lösung.

neration erneut Feuchtigkeit aufnehmen. Sorption und Regeneration erfolgen mit getrennten Luftströmen ständig nebeneinander, so dass eine kontinuierliche Entfeuchtung möglich ist. Die Entfeuchtung durch Sorption ist also unabhängig von der Lufttemperatur. Selbst niedrigste Taupunkte sind ohne Schwierigkeiten erreichbar.

Die vergleichsweise geringen Energiekosten für die Sorptionsentfeuchter können jetzt in Verbindung mit einer neuartigen Regelung sogar nochmals gesenkt werden. Üblicherweise erfolgt die Messung der Luftfeuchtigkeitswerte über Raumhygrostaten, die abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit in der Raumluft (dem Makroklima) die Luftentfeuchter steuern. Um Kondenswasser sicher zu vermeiden und gleichzeitig einen optimalen Energieeinsatz zu gewährleisten, ist es aber sinnvoller, die Luftfeuchtigkeit dort zu messen, wo Kondenswasser entstehen kann: in der unmittelbaren Nähe kalter Oberflächen.

Für diese Aufgabe wurde der Munters-Mikrostat MH 90 entwickelt, der mittels einer Magnethalterung direkt auf den kalten Leitungen befestigt wird. Durch diese Steuerung der Luftentfeuchter in Abhängigkeit vom Sättigungsgrad der Luft im Mikroklima wird ein minimaler Energieverbrauch bei optimierter Trocknungsleistung ermöglicht. Die Steuerung kann zudem wahlweise auf Schwitzwasserverhinderung oder Korrosionsschutz eingestellt werden.

Sorptionsentfeuchter bieten gegenüber Kältegeräten aber auch den Vorteil, dass sie ohne Kältemittel – und damit ohne umweltgefährdende FCKWs – auskommen. Unter dem Gesichtspunkt, dass die Schweiz ein Verbot der FCKWs plant, ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Wie

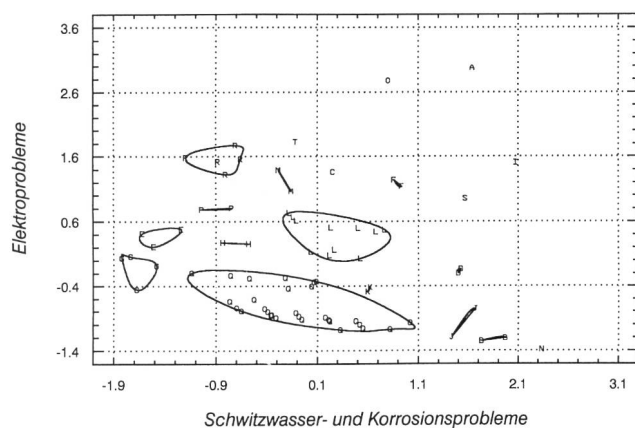


Bild 5. Clusterdarstellung der Erhebungsdaten.

die Umfrage ebenfalls ergeben hat, sind sich die Wasserwerke der Problematik durchaus bewusst. 66 % wissen, dass die Kältegeräte in der Regel mit FCKW arbeiten, und 77 % ist das geplante Verbot bekannt. Eine klare Mehrheit (87 %) wird zukünftig die Probleme mit diesen Stoffen bei ihren Kaufentscheidungen berücksichtigen.

## Zusammenfassung

Die Umfrage hat ergeben, dass sich die durch zu hohe Luftfeuchtigkeit verursachten Probleme in zwei grosse Gruppen (Schwitzwasser und Korrosion sowie Elektroprobleme) zusammenfassen lassen. Bekämpft werden die Feuchtigkeitsprobleme meistens durch eine Entfeuchtung der Luft. Dabei überwiegt der Einsatz von Kältegeräten, obwohl bei vielen der angegebenen Temperaturen der Energieaufwand je Liter entzogenen Wassers im Vergleich zu Sorptionsgeräten – physikalisch bedingt – zu hoch ist. Ob dies angesichts der genannten Nachteile dieses Verfahrens und des vorgesehenen FCKW-Verbotes so bleibt, ist zweifelhaft. Als leistungsfähige, wirtschaftliche und unter Umwelt- und Gesundheitsschutzgesichtspunkten unproblematische Alternative bietet sich der Einsatz von Sorptionsentfeuchtern sowie eine Regelung vorhandener und neuer Anlagen durch einen Mikrostaten an.

Adresse der Verfasser: Gerald Langeloh, Fachjournalist, Postfach 520262, D-22592 Hamburg, und Jürg Fehr, Masch.-Tech. TS, Applikationsfachmann, Munters GmbH Hamburg, Zweigniederlassung Basel, Birsigstrasse 18, CH-4054 Basel.

## Zustand des Bielersees hat sich spürbar verbessert

aid. Der Gesundheitszustand des Bielersees hat sich in den letzten zwanzig Jahren deutlich verbessert. Dies ist hauptsächlich die Folge der im Einzugsgebiet (8300 km<sup>2</sup>, 1 Mio Menschen) realisierten umfangreichen Gewässerschutzmassnahmen (Abwasserreinigung). Vor allem die Phosphor-Eliminierung in den grossen Kläranlagen und das Phosphatverbot von 1986 haben zur Verbesserung wesentlich beigetragen. Dies hält ein Bericht des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA) fest.

Seit der ersten Juragewässerkorrektion im Jahre 1878 entwässert der Bielersee eine Fläche von 8300 km<sup>2</sup> (vorher 3200 km<sup>2</sup>), was gut 20 % der Landesfläche entspricht. Als Folge davon besitzt der Bielersee einen vergleichsweise hohen Seeabfluss von durchschnittlich 244 m<sup>3</sup>/s.

Er liegt damit in der gleichen Grössenordnung wie die Abflüsse von Boden- oder Genfersee, obwohl deren Volumina vierzig- beziehungsweise siebzimal grösser sind. Damit ergibt sich für den Bielersee eine extrem kurze Wassernerneuerungszeit von nur 60 Tagen. Mit dieser Eigenschaft steht der Bielersee einzigartig da; alle anderen grossen Schweizer Seen haben Wassernerneuerungszeiten von mindestens anderthalb Jahren. Die Wasser des Bielersees werden so während der Zirkulationsperiode in der kalten Jahreszeit etwa zweimal erneuert.

## Grosse Abwassermengen

Auch aus dem Blick der Abwasserbelastung betrachtet, ist der Bielersee gewissermassen Rekordhalter: In seinem Einzugsgebiet, das sich auf die Kantone Bern, Freiburg, Neuenburg und Wadt erstreckt, leben fast eine Million Menschen. Umgerechnet muss somit der Bielersee mit den