

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 70 (1978)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Schwitzwasser- und Korrosionsverhütung in Wasserwerken, Wasserkraftwerken, Schleusen und Wehranlagen  
**Autor:** Steger, Hans  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941058>

### **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:** 25.12.2024

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

# Schwitzwasser- und Korrosionsverhütung in Wasserwerken, Wasserkraftwerken, Schleusen und Wehranlagen

DK 697.933

Hans Steger

## Zusammenfassung

Nach Erklärung der Ursachen für die Schwitzwasserbildung an Kaltwasser führenden Anlagenteilen wird dargelegt, warum diese nur durch Entfeuchtung der Raumluft wirksam verhütet werden kann. Die Bewährung dieser Methode wird anhand von Beispielen aus Gebirgs- und Laufwasserkraftwerken belegt. Nach kurzer Erläuterung der Methoden zur Luftentfeuchtung wird über Erfahrungen aus dem Stahl- und Brückenbau, dem Schiffsbau sowie aus dem industriellen und dem militärischen Bereich berichtet.

## Einleitung

Jahrzehntelange Gewöhnung an den Anblick tropfnasser Rohre und Armaturen, an feuchte Raumluft und vom Rost abgesprengte Farbanstriche führt unterschwellig zu der Vermutung, dass dieser Zustand in Anlagen, welche in ständigem Kontakt mit kaltem Wasser stehen, naturgegeben und somit nicht zu ändern sei.

Dass es durchaus nicht so sein muss, hat sich in Fluss- und Speicherkraftwerken, Schieberkammern, Rohrkavernen und Wassergewinnungsanlagen erwiesen. Naturgegeben ist zwar der Niederschlag der Luftfeuchte an kalten Rohren, Metall- oder Bauteilen. Trotzdem sind einwandfrei trockene Anlagen und Räume ohne Schwitzwasser und mit dauerhaft standfesten Farbanstrichen heute verhältnismässig einfach darzustellen. Der Aufwand dafür ist oftmals erheblich gerin-

ger, als der Fachmann vermuten würde. Die Zusammenhänge sind anhand der physikalischen Grundlagen leicht zu übersehen.

## Die Schwitzwasserbildung

Luft enthält neben anderen Gasen Wasser in gasförmiger Phase, die Luftfeuchtigkeit. Die Aufnahmefähigkeit der Luft ist begrenzt, sie ändert sich mit der Temperatur und dem Druck. Wenn man die geringen Druckschwankungen am Ort vernachlässigt, bleibt eine starke Temperaturabhängigkeit. Das  $hx$ -Diagramm (Bild 1) zeigt den Wasserdampfgehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und gestattet die direkte Ablesung der absoluten und der relativen Feuchte bei bekannter Temperatur.

Die Erdatmosphäre steht unter einem bestimmten Druck, der den Partialdruck des Wasserdampfes (= Dampfdruck) einschliesst. In Bild 1 hat die Luft am Punkt A die Temperatur  $t_1$  und die absolute Feuchte  $x$ . Der Wasserdampf übt in der Luft den Druck  $p_1$  aus, dem ein bestimmter Feuchtigkeitsgrad entspricht. Sinkt die Temperatur, dann erreicht die Luft die Sättigungslinie bei  $t_2$ , also den Punkt des bei dieser Temperatur grösstmöglichen Dampfdruckes. Wenn die Temperatur weiter sinkt, muss auch der Dampfdruck sinken, die in der Luft enthaltene Feuchtmenge muss weniger werden. Ein Teil der Feuchte scheidet sich also ab. Sie kondensiert bei Erreichen der

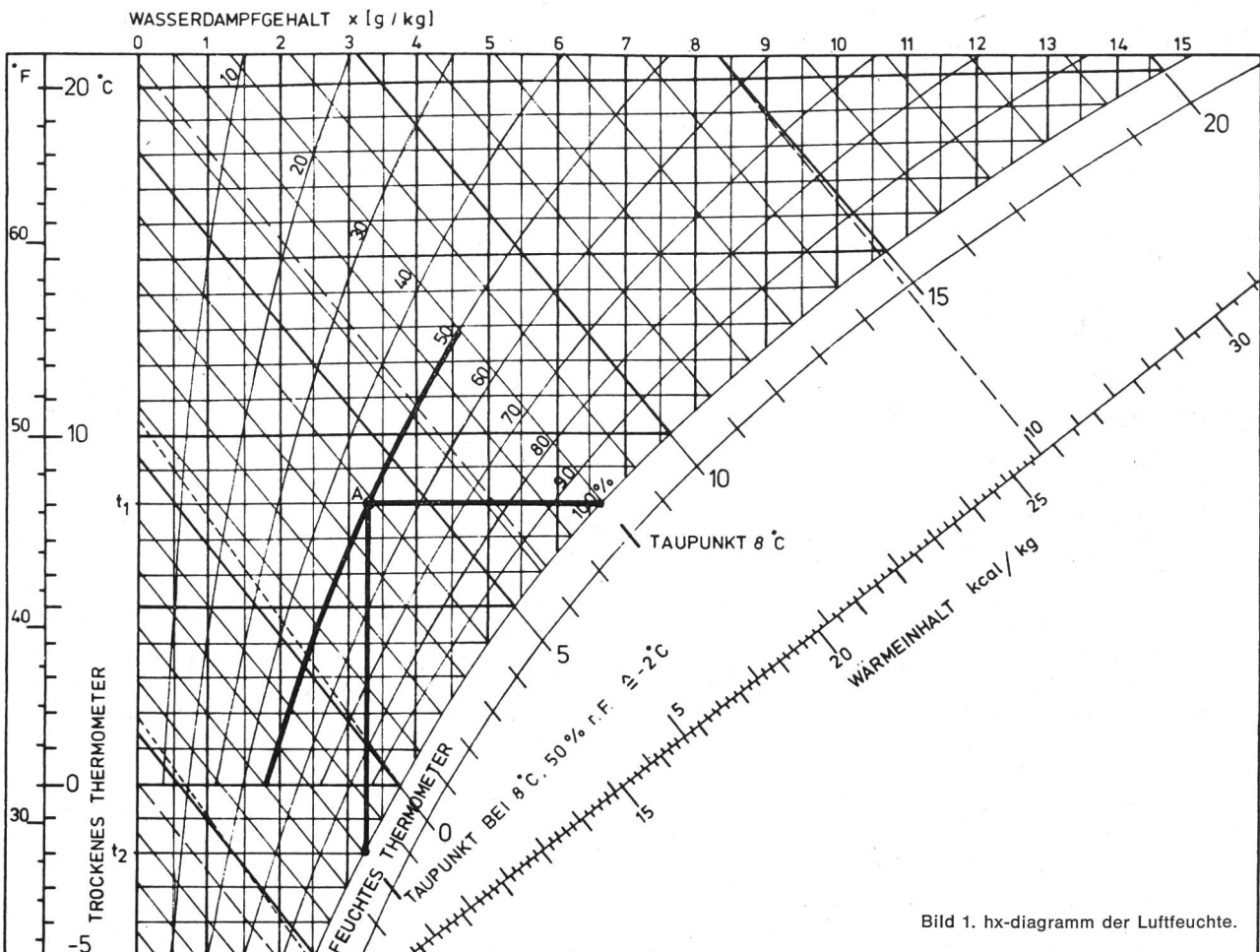


Bild 1.  $hx$ -diagramm der Luftfeuchte.



Bild 2. Donau-Staumstufe Ybbs-Persenbeug, elektrische Leistung 200 MW, im Vordergrund Schloss Persenbeug. (Foto: Österr. Donau-KW)

Temperatur  $t_2$  als Nebel oder Wassertröpfchen. Diese Temperatur bezeichnet man als Taupunkttemperatur oder kurz Taupunkt. Die Kondensation tritt genauso auf, wenn die Luft Oberflächen mit einer entsprechend niedrigen Temperatur berührt [2].

Die in der Luft jeweils enthaltene Feuchte nennt man absolute Feuchte, sie wird ausgedrückt in g/kg Luft. Als relative Feuchte bezeichnet man das Verhältnis der absoluten zu der bei der gegebenen Temperatur maximal möglichen Feuchte. Dementsprechend kann Luft mit einer relativen Feuchte unter 100 % noch Feuchtigkeit aufnehmen. Auch feuchtigkeitsgesättigte Luft vermag weiteres Wasser aufzunehmen, sobald sie erwärmt wird. Umgekehrt muss sie aber Wasser abgeben, sobald sie nur wenige Grade abkühlt.

Das Wasser aus der Luft scheidet sich kontinuierlich ab, wenn wärmere Luft mit hohem Feuchtigkeitsgehalt an einem Kaltwasserrohr, einer Turbine oder anderen kalten Bauteilen vorbeistreicht. Durch die Abkühlung der Luft wird dabei eine Zirkulation in Gang gebracht, die sich kontinuierlich fortsetzt, so dass durch die neu herangeführte Luft weiteres Schwitzwasser entsteht. Aus Bild 1 ist zu entnehmen, dass bei Abkühlung feuchtigkeitsgesättigter Luft von 20 °C an einer Rohrwandung von 8 °C, je kg Luft

9,5 g Wasser abgeschieden werden, eine erhebliche Menge. Rostbildung, das Unterwandern und Absprengen der Farbschicht sowie das Herablaufen von Rostbrühe sind nur die ersten Folgen. Gravierender ist, dass das Auftragen neuer Farbanstriche auf einwandfrei trockenem Untergrund durch die fortwährende Kondensation praktisch unmöglich gemacht wird. Das Abwischen des Untergrundes durch die Anstreicher bedingt einen wesentlichen Mehraufwand an Zeit und Kosten, welcher die Instandsetzungshaushalte erheblich belastet. Eine einwandfreie Haltbarkeit der Farbschicht ist trotzdem nicht zu erreichen.

Ein zusätzliches Problem ist die Verkeimungsgefahr in Reinwasserbehältern. Durch die bei sinkendem Wasserstand in den Behälter nachströmende Aussenluft können die an der Behälterdecke hängenden Kondenswassertropfen derart mit Keimen angereichert werden, dass durch ständiges Herabfallen der Tropfen die zulässige Keimzahl im Trinkwasser überschritten wird. Diese Gefahr ist im Frühjahr besonders gross, wenn die Behälter noch Wintertemperaturen haben und feuchte, wärmere Luft einfließt. Eine wirksame Abhilfe wird durch Entfeuchtung der Behälterluft erreicht, die zweckmässig im Umluftbetrieb bei stündlichem Luftwechsel erfolgt [10].

### Schutzmassnahmen

Zur Verhütung der Schwitzwasserbildung kommt es entscheidend darauf an, auszuschliessen, dass die Luft bei Berührung mit kalten Rohren oder anderen Bauteilen bis zum Taupunkt abgekühlt wird. Das Aufbringen von Isolierschichten ergibt dagegen keinen nachhaltigen Schutz, da diese infolge der unvermeidbaren Wasserdampfdiffusion durchfeuchtet werden und die Korrosion unter der Isolierschicht dann jeder Kontrolle entzogen ist. Der einzig sichere Weg ist, der Raumluft die Feuchtigkeit weitgehend zu entziehen. Wenn nur die Kondensation unterbunden werden soll, genügt es, den Taupunkt 5 °C unterhalb der niedrigsten, im Winter zu erwartenden Wassertemperatur einzustellen. Das entspricht einer relativen Luftfeuchte von etwa 70 %. Bei diesem Wert besteht jedoch für Stahlteile auch ohne Schwitzwasser noch eine Korrosionsgefahr [9]. Es ist deshalb anzuraten, einen Wert von 50 % relativ einzustellen. Nach dem  $h_x$ -Diagramm entspricht das einem Taupunkt der Raumluft von etwa 10 °C unterhalb der Wassertemperatur. Die in Abhängigkeit von der Wassertemperatur einzustellenden Werte zeigt Bild 3 in vereinfachter Darstellung.

Dadurch erreicht man eine absolute Unabhängigkeit von Temperaturschwankungen, da die Luft ihre Sättigungsgrenze nie erreicht und somit eine Kondensation nicht mehr auftreten kann. Das bedeutet aber, dass Turbinen- und Pumpenräume, Rohrkeller, Filterstationen oder Kontrollgänge, gleich welcher Art, einwandfrei trocken bleiben. Das ist unabhängig davon, welche kalten oder wasserführenden Teile darin installiert sind [1, 3]. Das mag manchem Praktiker erstaunlich erscheinen, der den Anblick tropfnasser Metallteile seit Jahrzehnten gewohnt ist. Die Wirksamkeit dieses Verfahrens sei deshalb nachstehend an einigen Beispielen erläutert.

### Trink- und Brauchwasseraufbereitung

In Wasserwerken, Filter- und Pumpstationen gehören Schwitzwasser und Korrosion zum Alltag. Brunnenwasser fällt mit Temperaturen um 8 bis 12 °C an, bei der Entnahme aus Stauseen treten zeitweilig Temperaturen bis nahe Null auf. Dass durch Luftentfeuchtung auf Dauer einwandfreie trockene Rohre, Armaturen und Behälterwandungen

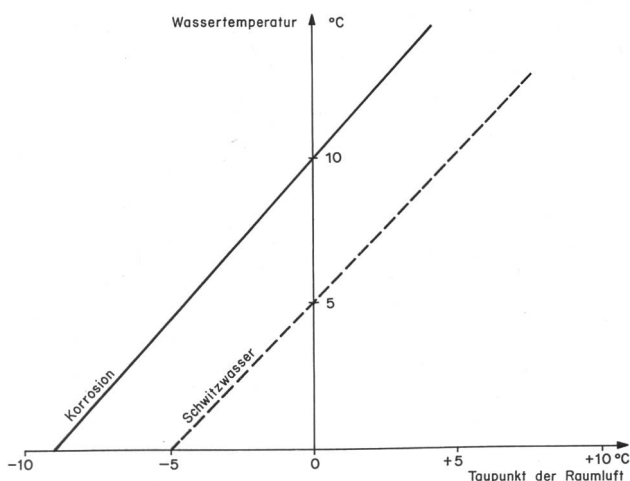


Bild 3. Richtwerte für die Einstellung des Taupunktes der Raumluft.

Der Feuchtigkeitsgehalt gesättigter Luft in Abhängigkeit von der Temperatur (gerundete Werte) Tabelle 1

	-15	0	+10	+20	+30	+40	°C
	1	3,9	7,9	15,2	28	48,8	g/kg

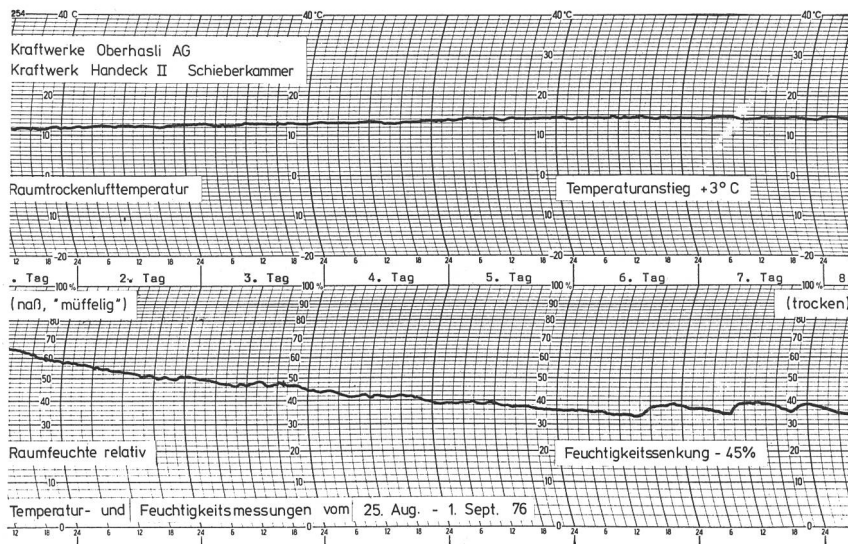
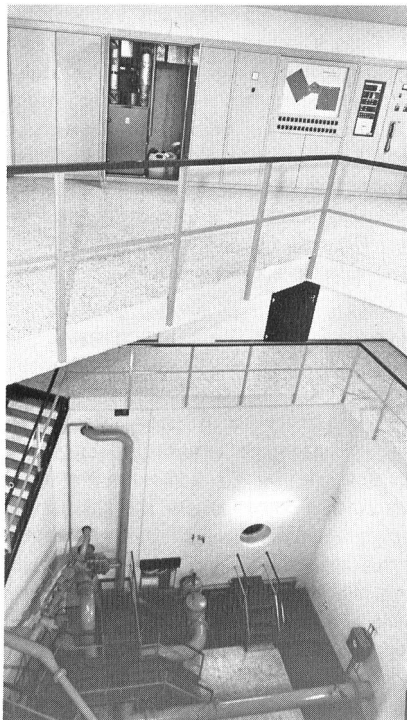


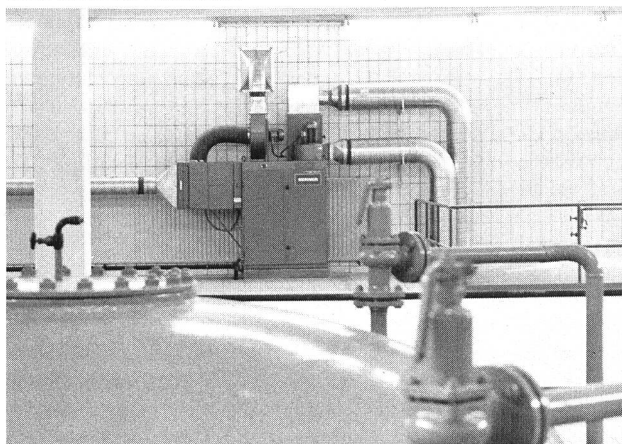
Bild 6. Absenkung der Luftfeuchte von 82 auf 40% relative Luftfeuchte in der Schieberkammer Handeck II, der Kraftwerke Oberhasli AG.

Bild 4, links. Luftentfeuchter (oben) im Schieberhaus Sonnberg der Wasserwerke Kitzbühl.

zu erzielen sind, ist in unzähligen Fällen bewiesen worden. Als Beispiel zeigt Bild 4 einen Blick in das zwischen zwei Trinkwasserbehältern angeordnete Schieberhaus Sonnberg der Wasserwerke Kitzbühl. Die Wassertemperatur liegt bei 7 bis 8 °C, das Luftvolumen beträgt etwa 1400 m<sup>3</sup>. Dort arbeitet ein Luftentfeuchter mit 900 m<sup>3</sup>/h Leistung im Umluftbetrieb. Das besagt, dass die Trockenluft, nachdem sie im Raume zusätzlich Feuchtigkeit aufgenommen hat, erneut vom Luftentfeuchter angesaugt wird. So wird die Raumluft im Kreislauf zunehmend entfeuchtet. In Bild 5 sind die Rohrführung und der Anschluss eines Adsorptions-Luftentfeuchters bei den Wasserwerken Karlsruhe dargestellt.

Ein interessanter Fall ist aus dem Werk Auchel des deutschen Aggerverbandes bekannt, wo direkt unterhalb eines in Betonkonstruktion ausgeführten Reaktors mit einem Durchmesser von 34 m ein Raum für die Lagerung von Geräten und Ersatzteilen vorgesehen wurde. Auch in diesem, durch die Temperatur der Betonteile besonders «kondensationsfreudigen» Raume wurden durch Aufstellung eines Luftentfeuchters einwandfreie Luftverhältnisse mit einer relativen Feuchte unter 50% geschaffen.

Bild 5. Installation eines Adsorptions-Luftentfeuchters im Wasserwerk Karlsruhe-Hardtwald.



Zur Ausschaltung der eingangs erwähnten Schwierigkeiten bei der Farbbeschichtung greift man ebenfalls mit Erfolg auf die Luftentfeuchtung zurück. Sofern vorhandene Geräte für das Luftvolumen oder den Feuchtigkeitsanfall grösserer Filterhallen nicht ausreichen, hilft man sich dadurch, dass die Räume durch einfache Lattenverschläge mit Kunststoffplanen in Sektoren aufgeteilt werden, die nacheinander mit Trockenluft zu versorgen sind. Dadurch werden erhebliche Einsparungen an Arbeitszeit erreicht [3].

#### Schieberkammern von hydraulischen Kraftwerken

Durch die niedrige Temperatur des Schmelzwassers in Gebirgstauseen ist die Schwitzwasserbildung an Druckleitungen und Schiebern auch in den Sommermonaten erheblich. Praktisch ist es damit unmöglich, neue Farbschichten auf einwandfrei trockenem Untergrund aufzutragen. Durch auftretende Korrosionsschäden ist die Sicherheit von Druckleitungen sowie die Funktion von Motoren und Schaltanlagen gefährdet. In Wasserschlossern mit den für Revisionsarbeiten benötigten Windkammern korrodieren Metallteile und elektrische Installationen.

Die Praxis hat erwiesen, dass auch solche Anlagenteile bis auf die vom Sickerwasser direkt berieselten Felswände durch Luftentfeuchter einwandfrei aufgetrocknet und in Zuständen unter 50% relativer Feuchte zu halten sind [2]. Dafür ist bei Wassertemperaturen von 4 bis 6 °C die Luft auf einen Taupunkt von -2 °C einzustellen. Der Registrierstreifen Bild 6 zeigt, dass in einer der Schieberkammern Handeck II der Kraftwerke Oberhasli AG die Luftfeuchtigkeit durch einen Adsorptions-Trockner binnen 34 Stunden von 82% auf 50% gesenkt werden konnte. Schieber, Rohre und Kammerwände sind seither trocken, der müffelige Geruch ist verschwunden. Aufgrund der Erfahrungen, die auch anderenorts mit diesem Verfahren gewonnen wurden, sind allein in diesem Unternehmen 16 Luftentfeuchter mit Leistungen bis 1000 m<sup>3</sup>/h Trockenluft für die verschiedenen Zentralen eingesetzt worden.

Bei der Lösung derartiger Probleme ist zu bedenken, dass es sich oftmals um Rohrleitungen und Schieber von mehreren Metern Durchmesser mit entsprechend grossen Kam-



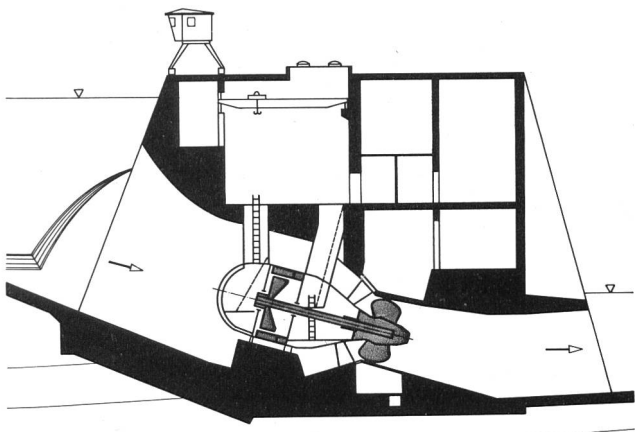


Bild 7. Schnitt durch einen Donau-Staudamm mit liegender Kaplan-Rohrturbine.

mern handelt. So wird in der Zentrale Châtelard II der Schweizerischen Bundesbahnen im Kraftwerk Emosson AG ein Raum mit offenem Wasser von 0 bis 6 °C und einem Luftvolumen von 5000 m<sup>3</sup> einwandfrei trocken gehalten durch ein Adsorptionsgerät, das 2500 m<sup>3</sup>/h Trockenluft mit einem Taupunkt von -25 °C liefert. Das entspricht einem halben Luftwechsel stündlich. Dieser Wert ist jeweils nach den örtlichen Gegebenheiten zu wählen. Zur Verhütung von Kondensat- und Flugrostbildung in der Zeit zwischen Sandstrahl- und Beschichtungsarbeiten wird bei der Kraftwerke Vorderrhein AG ein Luftentfeuchter ambulant für eine grosse Zahl von Schieberkammern eingesetzt.

#### *Laufwasserkraftwerke, Schleusen und Wehre*

Von Flusswasser gespeiste Kraftanlagen haben bei grossen Wassermengen mit geringer Fallhöhe Turbinenkörper von erheblichem Durchmesser. Bild 7 zeigt einen Schnitt durch eine Anlage mit einer liegenden Kaplan-Rohrturbine. Durch die Lage im Unterwasserbereich kommt es an den Turbinenmänteln zur Taupunktunterschreitung und damit zur Schwitzwasserbildung. Für neuere Werke werden deshalb zur Vermeidung von Korrosionsschäden und zur Einsparung der Aufwendungen für Inspektion und Erneuerung des Farbanstriches umfassende Luftentfeuchtungsanlagen vorgesehen.

Die unlängst in Betrieb genommene Donaustaustufe Altenwörth hat 9 Turbinen von je 40 MW Leistung bei 13,65 m Fallhöhe. Diese derzeit grössten Rohrturbinen haben Durchmesser von 6 m. Der im Schema Bild 7 unterhalb der Turbinenrohre erkennbare Gang hat ein Luftvolumen von

rund 20 000 m<sup>3</sup>, welches durch einen Luftentfeuchter mit einer Leistung von 10 000 m<sup>3</sup>/h entfeuchtet wird. Die 9 Generatoren sind durch Einstiegschächte vom Maschinenhaus aus zugänglich, die jedoch keine ausreichende natürliche Luftzirkulation gewährleisten. Zum Schutze der Generatoren und der im Generatorenraum vorhandenen Installationen wurden dort deshalb 9 kleinere Adsorptionstrockner mit je 200 m<sup>3</sup>/h Leistung installiert. Dadurch und durch die Luftbewegung zwischen Generatorräumen, Turbinengang und Maschinenhaus wird jegliche Kondensation im gesamten Bereich wirksam verhindert.

Der ständig steigende Aufwand für die Beseitigung von Korrosionsschäden und die Erneuerung von Farbbeschichtungen wurde gegen den Bezug geringer Mengen selbst-erzeugter Energie ausgetauscht — ein sinnvolles und vor allem sicheres Verfahren.

In Schleusen und Wehranlagen, in Schiffstanks und Laderäumen, überall wo Stahlwandungen von Wasser berührt werden, liegen vergleichbare Verhältnisse vor, denen in der geschilderten Weise sinnvoll zu begegnen ist. Hoch- und Tiefbunker für den zivilen Bevölkerungsschutz werden nach diesem Verfahren für die Einlagerung von Decken, Medikamenten und Bekleidung nutzbar gemacht, ohne dass dafür aufwendige Klimaanlage erforderlich wären [4].

#### *Beispiele aus dem Stahlhochbau*

Die Gefahr der Schwitzwasserbildung ist im Stahlhochbau durch einseitige Sonneneinstrahlung, Regen, Schnee und Wind besonders gross, sei es an Brücken, Portalen oder Kränen. Kostenerhöhend kommt hinzu, dass die Erneuerung der Farbanstriche vielfach besonders zeitraubend ist und dass Gefahren- und Höhenzulagen ausgerichtet werden müssen. Man strebt deshalb schon bei der Konstruktion geschlossene Hohlräume an, deren Luftraum entfeuchtet werden kann. Dass das auch bei geringen Profilen möglich ist, zeigt Bild 8 mit einem Blick in ein Wertportal mit einer Luftentfeuchtungsanlage.

Im modernen Brückenbau bietet es sich geradezu an, die grossen Profile von Pylonen und Brückenträgern so zu verschweissen, dass jeweils grössere Räume durch ein Luftentfeuchtungsaggregat geschützt werden können. Wenn dies schon beim Entwurf vorgesehen wird, ergeben sich kostensparende Lösungen. Ein interessantes Beispiel dafür ist die Brücke über den kleinen Belt im Zuge der Reichsstrasse A1 Kopenhagen — Esbjerg in Dänemark. Der Brückenträger ist mit einer Gesamtlänge von 1080 m

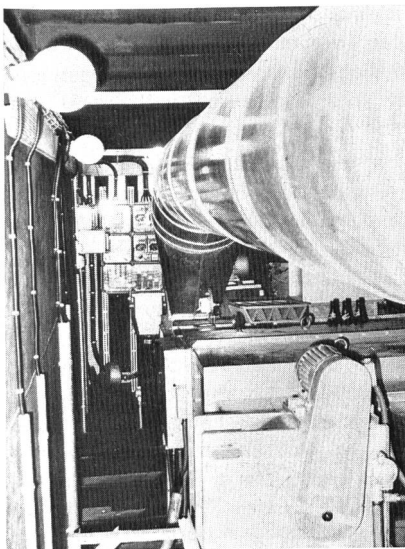
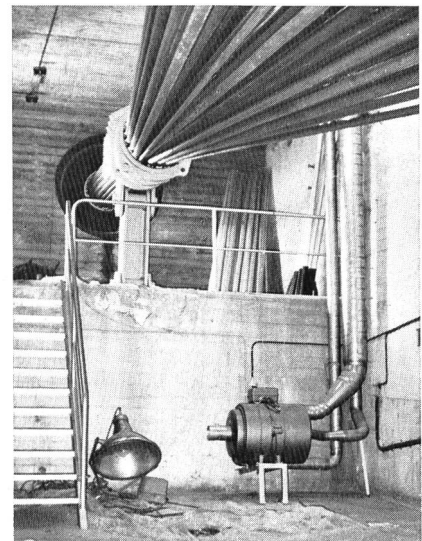


Bild 8, links. Luftentfeuchter, System Munters in einem Wertportal in Schweden.  
(Foto Jollys)

Bild 9, rechts. Blick in einen Kontrollraum der Trage-Seil-Widerlager einer Brücke über See mit Luftentfeuchter.



in vier Sektoren eingeteilt, die durch je einen Luftentfeuchter mit einer Leistung von 3000 m<sup>3</sup>/h mit einem Umwälzgebläse konserviert werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass im Innern des Brückenträgers eine Luftfeuchtigkeit unter 40 % relativ eingehalten wird, wenn die Aggregate nur 2 bis 3 mal täglich für 30 Minuten eingeschaltet werden. Nach einer Betriebszeit von über 8 Jahren ist die Aussage gestattet, dass durch einen vergleichsweise geringen Energieaufwand die laufenden Kosten für Revision und Erneuerung der Farbbeschichtung auf stark strukturierten Flächen von etwa 200 000 m<sup>2</sup> eingespart werden. Das hier angewandte Verfahren bietet zudem eine weitgehende Unabhängigkeit von Qualitätsmängeln bei der Ausführung der genannten Arbeiten und damit einen hohen Sicherheitsgrad.

Die vom Seewind beaufschlagten Aussenflächen bedürfen weiterhin einer laufenden Kontrolle und Instandsetzung bzw. Neubeschichtung. Besondere Sorgfalt erfordern dabei die Trageile. Man hat deshalb in den Kontrollräumen der vier Widerlager ebenfalls je einen kleineren Luftentfeuchter aufgestellt. Bild 9 zeigt einen Blick in einen dieser Räume und lässt die Schwierigkeit erkennen, Korrosionsschutzarbeiten am Seilende wirklich zuverlässig auszuführen.

### Die Verfahren der Luftentfeuchtung

Die Erfahrung, dass Wärme trocknet, ist von der am Ofen aufgehängten Wäsche geläufig. Dennoch lässt sich diese Methode bei den hier geschilderten Fällen nicht mit Erfolg anwenden. Warum das nicht geht, ist leicht zu erklären. Das *h<sub>x</sub>*-Diagramm Bild 1 sagt aus, dass Luft bei Erhitzung erhebliche Feuchtigkeitsmengen zusätzlich aufzunehmen vermag. 1 kg Luft von 10 °C mit 100 % relativer Feuchte kann beispielsweise bei Erhitzung auf 40 °C noch 41 g Wasser aufnehmen. Bei allen hier erwähnten Beispielen ist aber nicht zu vermeiden, dass die Luft an kalten Rohren, Metallteilen oder Felswänden wieder abkühlt. Dabei wird das vorher aufgenommene Wasser als Schwitzwasser wieder ausgeschieden. Und gerade das wollte man ja vermeiden!

Die unter dem Namen Kältetrocknung bekannte Methode arbeitet nach dem Prinzip, einen Teil der Feuchtigkeit durch Abkühlung der Luft auszuschcheiden. Bei diesem recht wirtschaftlichen Verfahren fällt jedoch, bedingt durch die physikalischen Grundgesetze, die Entfeuchtungsleistung bei Temperaturen unterhalb 20 °C stark ab. Für die hier besprochenen Anwendungen müssen daher Geräte mit entsprechend höherem Leistungsaufwand vorgesehen werden. Taupunkte unter 5 °C erfordern zusätzliche Umschalt-einrichtungen, teils sogar Doppelanordnungen [1].

Die jüngste Entwicklung ist das Adsorptionsverfahren nach dem Munters-Prinzip, durch das im kontinuierlichen Betrieb mit einfachen Mitteln Taupunkte bis -40 °C erreicht werden. Es eignet sich besonders für alle in den vorstehenden Abschnitten beschriebenen Fälle. Nach den in der Wasser-

wirtschaft gewonnenen Erfahrungen wird es als ein betriebssicheres Verfahren mit geringem Wartungsbedarf bezeichnet. Feuchtigkeit wird auf den Oberflächen eines imprägnierten Sorptionskörpers angelagert, welcher als ein Rad mit zahlreichen, parallel zur Achse angeordneten Röhren ausgebildet ist. Dieses «Trockenrad» dreht sich mit nur 7 U/h und die aufgenommene Feuchtigkeit wird in einem im Gehäuse abgetrennten Regenerationsektor durch erwärmte Luft wieder ausgetragen. Dadurch wird der Betrieb kontinuierlich und nahezu wartungsfrei. Die bei anderen Verfahren für eine quasi-kontinuierliche Arbeitsweise erforderlichen Doppelanordnungen, Umschaltorgane und Steuerungen sowie die dadurch gegebenen Störungsmöglichkeiten entfallen. Die gewonnene Trockenluft hat eine etwas erhöhte Temperatur und kann erhebliche Feuchtigkeitsmengen aufnehmen. Eine Kondensationsgefahr ist trotzdem nicht gegeben, da die Luft weitgehend entfeuchtet worden ist.

Somit lässt sich die Schwitzwasserbildung und die Durchfeuchtung von Isolierungen in allen hier erwähnten Fällen verhindern. Nach diesem Verfahren, welches nach dem schwedischen Erfinder *Carl Munters* benannt wurde, werden je nach Auslegung auch grosse Luftmengen mit niedrigen Taupunkten kontinuierlich zur Verfügung gestellt. Die Wirtschaftlichkeit lässt sich bei Bedarf durch Wärmerückgewinnung noch erhöhen. Zur Trocknung grosser Luft-räume in Filterhallen, Schieberkammern oder Brückenträgern fährt man zweckmässig in der bereits geschilderten Weise im Umluftbetrieb.

### Beispiele aus anderen Fachbereichen

In Schweden wurden seit über 15 Jahren zahllose Dampfturbinen zur Verhütung von Schäden durch Stillstandskorrosion mit Trockenluft versorgt [5]. Auch Dampfkessel, Gasturbinen, Ersatzteillager, Werks- und Lagerhallen aller Art werden durch Trockenluft geschützt [6]. In der Pharmazie, in photochemischen und Lebensmittelindustrien werden durch Luftentfeuchtung verfahrenstechnische Vorteile erreicht, ohne dass dafür aufwendige Klimaanlage erforderlich wären.

Durch den praktisch wartungsfreien Betrieb haben diese Adsorptionstrockner auch für den militärischen Sektor erhebliche Bedeutung erlangt. Bei in Reserve stehenden Schiffseinheiten werden Maschinenanlagen und elektronische Einrichtungen durch Trockenluft in einem jederzeit einsatzbereiten Zustand konserviert.

Dazu werden Maschinen-, Funk- und Brückenräume im Umluftbetrieb mit Trockenluft versorgt. Geschütztürme und andere Decksaufbauten werden mit geeigneten Planen überzogen, in welche die Trockenluft mit einem geringen Überdruck eingeleitet wird und durch vorhandene Undichtigkeiten entweicht.

Höchste Bedeutung hat die sofortige Einsatzbereitschaft für Panzer und andere militärische Fahrzeuge sowie deren Ersatzaggregate. Vergleichende Dauerversuche haben ergeben, dass die Konservierung durch Trockenluft gegenüber den vielfach noch üblichen Verfahren der Verwendung von Fetten und anderen Schutzmitteln den Vorteil geringen Arbeitsaufwandes und erheblich kürzerer Zeiten für die Wiederherstellung der Fahrbereitschaft bietet. Das gilt sowohl für die Entfeuchtung ganzer Fahrzeughallen als auch für das Überziehen einzelner Fahrzeuge mit einer Schutzhülle, in welche die Trockenluft eingeblasen wird. Zahlreiche militärische Dienststellen in Europa haben sich nach eingehender Prüfung für dieses Verfahren entschieden [7, 8].

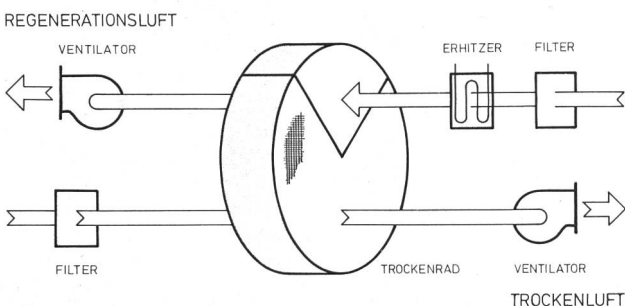


Bild 10. Schema der kontinuierlichen Adsorptions-Entfeuchtung nach dem Munters-Prinzip.

## Literaturhinweise

- [1] Tietze, A.: Heizungs-, Lüftungs- und Entfeuchtungseinrichtungen in Wasserwerken. Vortrag am 1. 2. 77 im Haus der Technik, Essen.  
 [2] Grombach, H.: Raumklimatische Massnahmen. «Gas, Wasser, Abwasser», 55 (1975) H. 9, S. 594–598.  
 [3] Riesterer, H. J.: Verhütung von Schwitzwasserbildung und Korrosion in Wasserwerken, Pumpstationen und Wasserkraftwerken. «gwf-wasser/abwasser», 117 (1976) H. 6, S. 264–266.  
 [4] Schaible, O.: Reduzierung der Unterhaltskosten von Grossschutzzräumen durch Lufttrocknung. «Zivilverteidigung», 8 (1976) Heft 2, S. 56–60.  
 [5] Steger, H.: Die Verhütung von Stillstandskorrosion in Dampfkraftanlagen. «Der Maschinenschaden», 48 (1976) H. 1, S. 23–27.  
 [6] Steger, H.: Erfahrungen und Überlegungen zur Trockenluftkonservierung von Kraftwerkskomponenten. «VGB-Kraftwerkstechnik», 57 (1977) H. 6, S. 403–410.

- [7] Hoffmann, F.-W.: Waffen im «Schlafsack». «Soldat und Technik», 15 (1971) H. 4, S. 189–191.  
 [8] Besch, U.: Die Konservierung militärischer Grossgeräte. «Soldat und Technik», 16 (1972) H. 1.  
 [9] Vernon, W. H. J.: Study of Atmospheric Corrosion of Metals, Part III. «Transcriptions Faraday Society», 31 (1935) S. 1678–1700.  
 [10] Thofern, E. und Speh, K.: Untersuchungen zur Verkeimung von Trinkwasser, 2. Mitteilung: Die Bedeutung des Kondenswassers in Trinkwasserspeichern. «gwf-wasser/abwasser», 115 (1974) Heft 12, S. 538–541.

Adresse des Verfassers: Hans Steger, Ing. (grad.) VDE VDI, D - Hamburg 54, Winfridweg 16c.

## Schüttung von Dämmen in fliessenden Gewässern, illustriert durch Modellversuche für die Wasserkraftanlage Inga am Zaïre

DK 624.136.1

Martin Jaeggi

**Résumé:** La technique de coupure de fleuves, illustrée par une étude sur modèle réduit concernant le projet d'Inga au Zaïre

Une étude comparative a été effectuée pour la méthode par élévation et la méthode par avancement. On a constaté qu'outre les grandeurs hydrauliques et les dimensions des blocs certains facteurs, comme le débit filtrant à travers la digue, le caractère superficiel du fond et des rives, la répartition granulométrique ou la manière de diriger l'avancement, ont une influence déterminante sur les résultats.

**Summary:** River closure, illustrated by model tests concerning the Inga-project (Zaïre)

A study comparing transverse dumping and end tip method has shown that not only the hydraulic parameters and the grain-size but also other factors like the discharge through the dam, the surface of the bottom and the banks, the granulometry or the direction of the final advance have an important influence on the results.

### 1. Das Wasserkraftnutzungsprojekt Inga (Zaïre)

Der Zaïre ist ein Strom mit einer der grössten Abflussmengen. Er weist eine Besonderheit auf: Nahe seiner Mündung ins Meer durchlaufen seine Wassermengen imposante Stromschnellen. Diese Inga-Stromschnellen sind eines der gewaltigsten Wasserkraftpotentiale.

Der mittlere Abfluss beträgt an dieser Stelle etwa 40 000 m<sup>3</sup>/s, die Niederwasser betragen 20 000 bis 25 000 m<sup>3</sup>/s, während die Hochwasserabflüsse auf über 70 000 m<sup>3</sup>/s ansteigen. Die nutzbare Höhendifferenz beträgt rund 100 m, sie kann durch einen Aufstau im Oberwasser um 20 bis 30 m erhöht werden.

Da dem überreichen Angebot an Energie örtlich kein entsprechender Bedarf gegenübersteht, muss schrittweise ausgebaut werden. Die Stufe Inga 1 steht in Betrieb, Inga 2 wird gegenwärtig gebaut und Inga 3 steht in einem fortgeschrittenen Stadium der Planung. Bei diesen drei Stufen werden nur Nebenarme des Flusses aufgestaut und die Wasserführung in diesen nur durch lokale Massnahmen an der Verzweigung beeinflusst. Wie die Übersichtsskizze

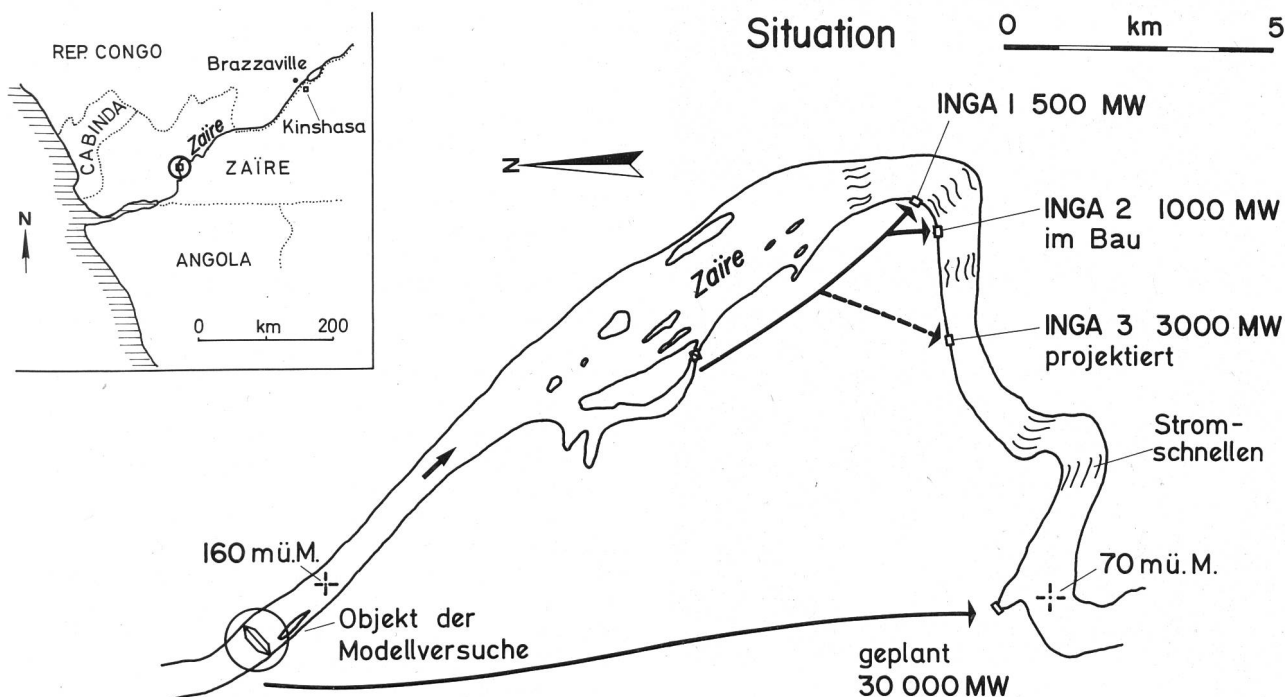


Bild 1. Lageplan der Inga-Stromschnellen mit den verschiedenen Ausbaustufen.