Ueber das Trocknen von Stollen und Schächten mittels konditionierter Luft

Autor(en): **Ludwig, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **121/122 (1943)**

Heft 7

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-53143

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Ueber das Trocknen von Stollen und Schächten mittels konditionierter Luft. — Die Verschotterung des Rheines oberhalb des Bodensees; die Bündner Wildbäche, ihre Verbauung und deren Finanzierung. — Wohnhaus St. in Wabern bei Bern. — Aufstockung des Lagerhauses in Köniz der Firma Vatter, Samenhandlung, Bern. — Von der Arbeitstagung für technische Werbung in Baden. — «Heimatstil». — Mitteilungen: Neuer MAN-Dieselmotor mit kugelförmigem Verbrennungsraum im Kolben. Eigentümer der Schweiz. Elektrizitätswerke. Basler Flugplatzfrage. Eidg. Technische Hochschule. — Wettbewerbe: Kleinhäuser in Holzausführung in Biel. Verbindung der Rhoneschiffahrt aus der Stauhaltung Verbois mit dem Genfersee. — Nekrologe: Amand Braun. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 122
Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Nr. 7

Ueber das Trocknen von Stollen und Schächten mittels konditionierter Luft

Von Dipl. Ing. H. LUDWIG, Innertkirchen

Je nach den äussern atmosphärischen Verhältnissen bildet sich in unterirdischen Stollen und Schächten Schwitzwasser, das in gewissen Fällen unerwünscht ist und zu dessen Beseitigung besondere Vorkehren notwendig werden können. Dies gilt z. B. für Panzerungen von Druckstollen und -schächten, die einen Rostschutzanstrich erhalten sollen und zu diesem Zwecke eine vollständig trockene Oberfläche aufweisen müssen. Als Beispiel wird nachstehend eine Luftkonditionierungs-Einrichtung beschrieben, wie sie zum Trocknen des Druckschachtes und Zuleitungstollens der Zentrale Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli (KWO)[1]) verwendet wurde, und es werden die technischen Grundlagen und die mit dieser Anlage erzielten Resultate und Erfahrungen mitgeteilt. Diese Angaben dürften heute auch darum einem besondern Interesse begegnen, weil die Lagerung feuchtigkeitsempfindlicher Waren in bombensichern Felskavernen in den letzten Jahren eine grosse Ausdehnung erfahren hat; auch hierbei können ähnliche Trocknungsanlagen, jedoch in einfacheren Formen, nützlich sein. A. K.

*

Mit Rücksicht auf den Umstand, dass die einzelnen, rd. 10 m langen Rohrstösse von 2,40 bzw. 2,60 m l. W. der rd. 1800 m langen Druckschachtleitung auf der Montagestelle zusammengeschweisst werden mussten und dass sich der ganze Arbeiter- und Materialtransport innerhalb der Druckrohre abwickelte, war es nicht ratsam, den Rostschutzanstrich der Innenflächen schon vor der Verlegung der Rohre aufzutragen — was allerdings bequemer und billiger gewesen wäre — sondern mit dem Anstrich zuzuwarten, bis der Druckschacht auf der ganzen Länge ausgekleidet war. Es musste somit damit gerechnet werden, dass sich unter bestimmten klimatischen Verhältnissen im Rohrinnern Feuchtigkeit oder Schwitzwasser ansammeln werde, das vor dem Reinigungs- und Farbauftragsprozess restlos zu entfernen als unumgänglich erachtet wurde. Die Bauleitung der KWO befasste sich deshalb im Jahre 1939 mit dem Studium dieser Frage und liess durch einige Spezialfirmen Vorschläge zur Lösung dieses Problems ausarbeiten, wobei die folgenden festen Daten als Grundlage dienten (vergl. Abb. 3, Seite 73):

Oberes Ende des Druckschachtes über Meer	1308 m
Unteres Ende des Druckschachtes über Meer	630 m
Höhenunterschied	678 m
Rohrlänge	1800 m
Mittlerer Rohrdurchmesser	2,50 m
Mittlerer Rohrquerschnitt	4,90 m²
Innere Rohroberfläche	14 000 m²
Luftvolumen	8800 m³

Gewisse Schwierigkeiten bot die Bestimmung der an der Rohrwandung haftenden und zu verdunstenden Schwitzwassermenge, die für die Grösse bzw. Leistung der Klimaanlage von ausschlaggebender Bedeutung war. Da Schätzungen über die mittlere Dicke der Wasserhaut zu unsicher erschienen und zu falschen Schlüssen führen konnten, wurde die an einer Blechtafel unter 30° Neigung anhaftende Wassermenge durch Wägung bestimmt und zu rd. 30 g/m² gemessen, was bei einer Gesamtoberfläche von 14 000 m² einer total zu verdunstenden Wassermenge im Druckschacht von 420 kg entspricht. Da sich aber, besonders im schwach geneigten Teil des Rohres, pro m² mehr Wasser ansammeln kann als durch Versuch festgestellt, wurde zur Sicherheit mit dem fünffachen Wert der gemessenen Wassermenge, d. h. mit total 2100 kg gerechnet.

Grundsätzlich kamen zur Verwirklichung des Problems, d. h. zur Entfernung dieser Wassermenge aus dem Rohrinnern, zwei verschiedenartige Lösungen in Betracht, nämlich

1. Trocken-Verfahren durch Anwendung einer porösen Absorptionsmasse (z. B. Silika-Gel), deren Poren bei sehr grosser Oberfläche pro Gewichtseinheit fähig sind, Feuchtigkeit in ziemlich hohem Grade aus der Luft aufzunehmen. Da die Filtriermasse nach eingetretener Sättigung regenierbar ist, kann sie nach erfolgter Erwärmung beliebig oft wieder verwendet werden. Damit im Trocknungsprozess kein Unterbruch auftritt, sind zwei gleiche Apparate notwendig, von denen der eine jeweils im Betrieb steht, während der andere auf Regeneration umgeschaltet wird.

2. Kühl-Verfahren durch Aufstellung einer mechanisch-thermischen Anlage, bestehend aus Luftkältemaschine mit Turbokompressor und Luftturbine, oder aus einer Kältemaschine nach dem Ammoniak-Kompressionsystem. Bei diesem Verfahren wird die aus der Umgebung der Anlage angesaugte Luft in einem Luftkühler vor dem Eintritt in den zu trocknenden Stollen vorerst unterkühlt und entfeuchtet und anschliessend aufgewärmt, um sie trocken, bzw. feuchtigkeitsaufnahmefähig zu machen.

Das Trocken-Verfahren wäre verhältnismässig billig und im Betrieb einfach gewesen, musste jedoch von vornherein ausscheiden, da das erforderliche Absorptionsmaterial in der Schweiz nicht erhältlich war. Es wurde deshalb das zweite Verfahren nach dem Kälteprinzip gewählt, wobei eine normale, serienmässige Sulzer-«Frigozentrale» in Verbindung mit einer Luftkühl- und Luftaufheizvorrichtung zur Aufstellung kam.

Die Bemessung dieser Anlage erfolgte auf Grund folgender Annahmen über die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse am Aufstellungsort der Klimaanlage (im Berginnern), sowie im Druckschacht:

Temperatur der angesaugten Luft	min. + 4°, max. + 8° C
Rel. Feuchtigkeit der angesaugten Luft	95 bis 100 %
Temperatur der Rohrwandung	min. + 4°, max. + 8° C
Rel. Feuchtigkeit im Druckschacht	100 %

Hierbei war angenommen, dass die von aussen zu entnehmende Luft sich auf dem Wege durch den Zuführungstollen zur Klimaanlage an den kühlen Stollenwänden auf die genannte Ansaugetemperatur vorkühle.

Ueber den Einfluss der Temperatur der Zirkulationsluft auf den Feuchtigkeitsgehalt im Rohrinnern gibt das in Abb. 1 dargestellte Diagramm einen allgemeinen Ueberblick. Ohne Klimaanlage würde bei einer Aussentemperatur von beispielsweise + 15° C und bei 80 % rel. Feuchtigkeit (*A*) der Taupunkt (*B*) schon bei 11,8° C erreicht, d. h. die Rohrwandung würde sich schon bei dieser Temperatur beschlagen und eine Trocknung bei noch tieferen Rohrtemperaturen wäre unmöglich. Kühlt man jedoch die Zirkulationsluft mittels einer Kühlanlage auf — 1,5° C ab und erwärmt sie anschliessend von dieser Temperatur auf + 4° C (minimale Rohrtemperatur), so geht der relative Feuchtigkeitsgehalt der Zirkulationsluft von 100 % (*C*) auf 67 % (*D*) und der absolute Feuchtigkeitsgehalt von 5,2 g (*E*) auf 3,5 g (*D*) d. h. um 1,7 g/kg oder 2,16 g/m³ Luft zurück. Beträgt die Temperatur der Rohrwandung z. B. + 8° C (maximale Rohrtemperatur), so geht die rel. Feuchtigkeit der Zirkulationsluft auf fast 50 % (*D'*) und der absol. Feuchtigkeitsgehalt von 6,9 g (*E'*)

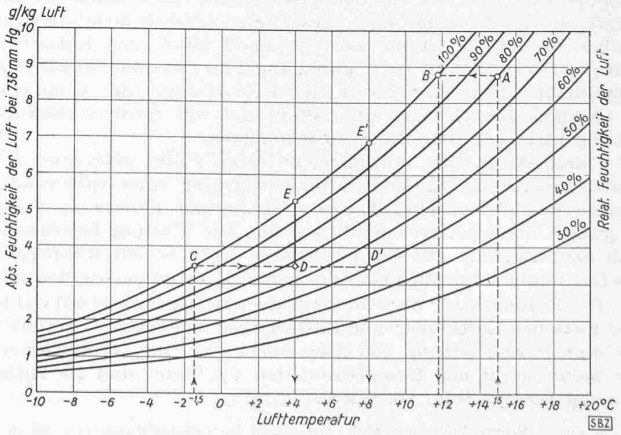


Abb. 1. Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehaltes von der Lufttemperatur

[1]) Eingehende Beschreibung Band 120, Seite 25* ff. — Sonderdruck Fr. 3,50. Red.

auf 3,5 g (D') zurück, d. h. die Zirkulationsluft kann 3,4 g pro kg oder 4,3 g pro m³ geförderter Luft an Feuchtigkeit aufnehmen und abführen[2]). Hieraus lässt sich bei gegebener Trocknungsdauer die erforderliche Ventilationsleistung berechnen.

Für die Projektierung der Anlage wurden ausserdem folgende Bedingungen gestellt:

1. Die Anlage soll sowohl für den Druckschacht der Zentrale Innertkirchen als auch der Zentrale Handeck verwendet werden können und zu diesem Zwecke leicht demontierbar und transportabel sein. Für den Transport ist auf das Profil der in Frage kommenden Zugangstollen Rücksicht zu nehmen.

2. Die Dauer des reinen Trocknungsprozesses soll 14 bis 16 Tage pro Stollen nicht überschreiten.

3. Die Trocknungs- bzw. Instandstellungsarbeiten finden voraussichtlich nur in den Sommermonaten statt. Die Konditionierungsanlage muss so arbeiten, dass der Trocknungsvorgang in gleicher Richtung fortschreitet wie der Arbeitsvorgang.

4. Die Anlage muss während der ganzen Trocknungsperiode kontinuierlich arbeiten und darf nur geringe Wartung erfordern.

Zur Erfüllung der Bedingung 1 genügte es, die Anlage für den Druckschacht Innertkirchen zu bemessen, da der Druckschacht Handeck einen kleineren Durchmesser und auch eine kleinere Innenfläche aufweist. Um den Anforderungen betreffend leichte Demontierbarkeit und Transportfähigkeit zu entsprechen, wurde die Anlage in zwei Teile zerlegt und zwar einerseits in das Maschinenaggregat mit der Kälteerzeugungseinrichtung (Frigozentrale), anderseits in das Konditionierungsaggregat mit der Luftbehandlungseinrichtung. Beide Aggregate sind auf Fahrgestellen mit verschiebbaren Laufrollen für 60 oder 100 cm Spurweite montiert und während des Betriebes durch Schläuche und elektrische Kabel miteinander verbunden (s. Abb. 2). Die Abmessungen der beiden Fahrzeuge sind so gehalten, dass sie einen Stollen von 1,60 m l. Breite und 1,90 m l. Höhe durchfahren können.

Mit Rücksicht auf die Bedingung 2 wurde die Leistung der Anlage so bemessen, dass eine vollständige Trocknung des Druckschachtes Innertkirchen innerhalb von zwei Wochen möglich ist, wobei der Berechnung folgende Annahmen zugrunde gelegt werden:

Mittlere Förderleistung des Ventilators	3600 m³/h
Mittlere Luftgeschwindigkeit im Druckschacht	0,2 m/s
Temp. der kondit. Luft nach dem Luftkühler	— 1,5° C
Rel. Feuchtigk. der kondit. Luft nach dem Luftkühler	100 %
Temp. der kondit. Luft nach dem Lufterhitzer	+ 4° C
Rel. Feuchtigk. der kondit. Luft nach dem Lufterhitzer	67 %
Aufgenommene Wassermenge aus dem Schacht	2,09 g/m³
In 24 h aufgenommene Wassermenge	180 kg/Tag
Theor. Trocknungsdauer des Druckschachtes	11 bis 12 Tage

Da die Benützung der Anlage gemäss Bedingung 3 für die Sommermonate vorgesehen war, konnte mit Temperaturen der Aussenluft gerechnet werden, die wesentlich über der Temperatur der Luft im Rohrinnern liegen. Wie weiter unten gezeigt wird, ist in diesem Falle der natürliche Luftzug im Schrägschacht von oben nach unten gerichtet. Da ferner das Schwitzwasser die Tendenz hat, ebenfalls nach unten abzufliessen, erschien es zweckmässig, die Klimaanlage am obern Ende des Druckschachtes aufzustellen und die Reinigungs- und Anstricharbeiten oben zu beginnen und nach unten fortschreiten zu lassen. Diese Arbeitsweise hat den Vorteil, dass gleich nach Beginn des Trocknungsprozesses mit den Arbeiten im Schacht begonnen werden kann und oberhalb der Arbeitstelle kein Schwitzwasser mehr gebildet wird, das die Reinigungsarbeiten stören kann. Ferner bleibt die gestrichene bzw. gespritzte Arbeitsfläche dauernd sauber, da der Roststaub und der Sand durch den Luftstrom und das Eigengewicht nach unten abgeführt werden. Ausserdem ermöglichte diese Anordnung der Klimaanlage, die Apparatur in vernünftigen Grenzen zu halten und mit einer verhältnismässig kleinen Luftleistung auszukommen.

Durch Wahl einer normalen, in vielen Fällen erprobten und bewährten Kühlanlage und durch Anwendung einer vollautomatischen Betriebseinrichtung und -Regulierung konnte auch Bedingung 4 ohne weiteres erfüllt werden. Die Wartung beschränkt sich hauptsächlich auf das periodische Abtauen der Kühlrippen des Luftkühlers, worauf später noch zurückgekommen werden soll.

Die Kälteleistung der Klimaanlage beträgt etwa 16500 Cal/h. Der zwischen Luftkühler und Lufterhitzer eingebaute Ventilator hat eine Förderleistung von max. 4400 m³/h. Der Anschlusswert der Motoren für den Kompressor, den Ventilator und die Hilfspumpen beträgt total rd. 8 kW.

[2]) Diese Werte beziehen sich auf einen Barometerstand von 736 mm Hg. Für B = 675 mm Hg reduziert sich die Feuchtigkeitsaufnahmefähigkeit der Zirkulationsluft auf 2,09 bzw. 4,18 g pro m³.

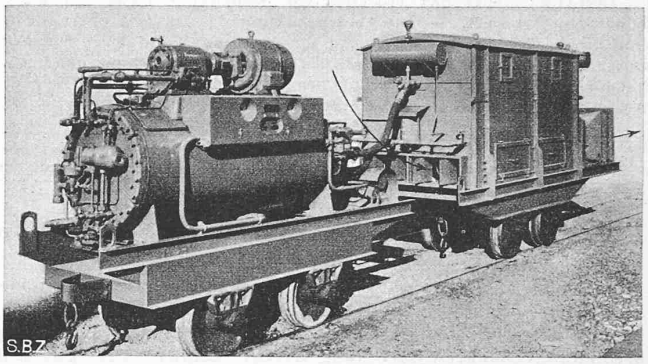


Abb. 2. Fahrbare Klima-Anlage für Stollen-Trocknung, bestehend aus «Frigozentrale» (links) und Luftkühler (rechts)

Die zu behandelnde Luft wird durch die in Abb. 2 sichtbaren Regulierklappen von aussen in das Konditionierungsaggregat eingesaugt und passiert darin einen Kühler, wo sie auf etwa — 1,5° C abgekühlt wird und dabei einen Grossteil ihrer Feuchtigkeit in Form von Reif an die Kühleroberfläche abgibt. Im anschliessenden Lufterhitzer wird diese Luft aufgewärmt und dadurch getrocknet. Sie tritt relativ warm und mit niedrigem relativem Feuchtigkeitsgehalt in den Druckstollen ein.

Die Luftmengenregulierung erfolgt mit Hilfe eines Thermostaten derart, dass wie bereits erwähnt, hinter dem Kühler praktisch eine konstante Temperatur von — 1,5° C herrscht. Weist diese Temperatur steigende Tendenz auf, dann werden, veranlasst durch den Thermostaten, mittels eines Motorantriebes die Regulierklappen entsprechend geschlossen, sodass weniger Luft eingesaugt und der verlangte Taupunkt wieder erreicht wird. Besteht sinkende Tendenz, dann werden die Regulierklappen selbständig entsprechend mehr geöffnet.

Die Abkühlung der Luft im Luftkühler erfolgt mit Hilfe von Kaltsole, die vom Maschinenaggregat über zwei Schlauch-Verbindungen nach dem Konditionierungsaggregat, bzw. zurück geliefert wird. Diese Kaltsole zirkuliert durch die Kühlerrohre, während die Luft die berippte Aussenoberfläche dieser Kühler-Rohre überstreicht. Es findet mittels einer am Maschinenaggregat angebauten Solepumpe ein dauernder Solekreislauf zwischen Maschinenaggregat und Konditionierungsaggregat, bzw. Luftkühler statt. Diese Sole wird durch die Kälteerzeugungsanlage abgekühlt, während sie im Konditionierungsaggregat durch die Wärmeaufnahme von der abzukühlenden Luft leicht erwärmt wird. Im Solekreislauf ist ein Soleexpansionsgefäss eingeschaltet, das die bei Temperaturveränderungen auftretenden Volumenveränderungen schadlos aufzunehmen imstande ist. Ausserdem fasst dieses Expansionsgefäss auch eine gewisse Solereserve für allfällige Verluste (beispielsweise bei der Pumpenstopfbüchse).

Zur Aufheizung der Luft im Lufterhitzer wird das im Kondensator der Kälteerzeugungsanlage erwärmte Kühlwasser verwertet. Damit wird eine wünschenswerte Rückkühlung dieses Wassers ermöglicht, die bei Betrieb der Klimaanlage mit Luftansaugtemperaturen von nicht über + 4° C einen Frischkühlwasserkonsum unnötig macht.

Bei Luftansaugtemperaturen von über + 4° C reicht wegen des geringen Luftdurchlaufvolumens die vom Lufterhitzer an die Luft abgeführte Wärme nicht mehr aus, das Zirkulationswasser auf der für den Betrieb der Kältemaschine zulässigen Tieftemperatur zu halten. In diesem Fall wird dem Umlaufwasser ständig etwas Kaltwasser beigegeben. Dieser Zusatz erfolgt selbsttätig, sobald eine bestimmte einstellbare Wassertemperatur im Kreislauf bzw. ein bestimmter Verflüssigungsdruck in der Kälte-Erzeugungsanlage überschritten wird, mit Hilfe eines pressostatisch wirkenden Wasserreglers. Die der Zusatzmenge entsprechende Wassermenge wird beim Wasserexpansionsgefäss durch den Ueberlaufstutzen aus dem Kreislauf herausgedrängt und mittels Ablaufleitung der Kanalisation zugeführt.

Die beim Kühlprozess auf der Kühleroberfläche in Form von Reif niedergeschlagene Luftfeuchtigkeit muss von Zeit zu Zeit entfernt werden, um die Kühleroberfläche wirksam zu erhalten. Damit dies ohne Betriebsunterbruch vorgenommen werden kann, ist der Kühler in zwei getrennte Hälften unterteilt worden, die in Bezug auf Luft- und Kaltsoledurchgang unabhängig voneinander abgesperrt werden können. Es besteht somit die Möglichkeit, die eine Hälfte abzutauen, während die andere Hälfte den Konditionierungsbetrieb aufrechterhält. Die erforderliche Wärme zum Abtauen des Reifes wird durch elektrische Heizelemente

geliefert, die unter den Kühlerbatterien angeordnet sind, und die von Hand nach Bedarf ein-, bzw. ausgeschaltet werden. Das Schmelzwasser fliesst durch Bodenabläufe zur Kanalisation.

Die elektrische Installation gewährleistet den nötigen Betriebschutz. Es sind elektrische Verriegelungen vorgesehen, die verunmöglichen, dass die Kälteerzeugungsanlage in Betrieb bleiben kann, wenn die Kühlwasserpumpe und die Solepumpe nicht in Betrieb stehen. Wenn also aus irgend einem Grund eine dieser Pumpen zum Stillstand kommt, dann wird selbsttätig der Kältekompressor, bezw. die ganze Konditionierungsanlage stillgesetzt.

Zur Inbetriebsetzung der Anlage sind nur die Druckknopf-Schalter der Kühlwasserpumpe und des Ventilators zu bedienen. Alle andern Apparate, mit Ausnahme der Heizelemente, kommen bei richtiger Einstellung der verschiedenen Schalter selbsttätig in Gang. Als Steuerstrom dient Einphasen-Wechselstrom 220 V, bzw. für die Luftklappenregulierung Einphasen-Strom 24 V. Zur Erzeugung dieser Steuerspannungen sind besondere Transformatoren eingebaut.

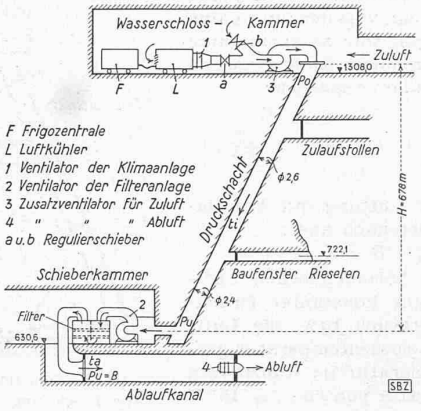


Abb. 4. Schematische Anordnung der Stollen-Klima-Anlage zur Trocknung des Druckschachtes

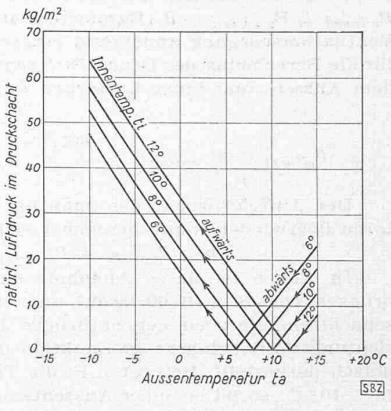


Abb. 5. Grösse und Richtung des natürlichen Luftdruckes im Druckschacht in Funktion der Aussentemperatur

Die Klimaanlage wurde zum erstenmal für die Reinigungs- und Anstricharbeiten des neu erstellten Druckschachtes (Abb. 3) der Kraftwerkstufe Handeck-Innertkirchen in Betrieb genommen und zwar im Sommer 1942. Die Aufstellung erfolgte nach der in Abb. 4 dargestellten Anordnung, wobei die zusätzlichen Ventilatoren 2, 3 und 4 zunächst noch nicht angeschlossen waren. Die Luft wurde durch den Zugangstollen in die Wasserschloss-Kammer angesaugt, durch die Klimaanlage entfeuchtet und oben in den Druckschacht eingeführt. Am untern Ende des Druck-Schachtes trat die mit Feuchtigkeit gesättigte Luft in die Schieberkammer aus, von wo sie durch den Ablaufkanal der Zentrale wieder ins Freie gelangen konnte. Um zu verhindern, dass der von der Luft mitgerissene Sand- und Roststaub in die Schieber-Kammer und die Zentrale eindringen konnte, wurde am untern Druckschachtende eine Filteranlage aufgestellt und zur Ueberwindung des Druckverlustes im Filter ein Ventilator (2) zwischen Druckschacht-Austritt und Filter-Eintritt eingebaut. Wie bereits erwähnt, kam die Anlage im Sommer in Betrieb und arbeitete bei schönem warmem Wetter einwandfrei. An kälteren Tagen jedoch war die Luftströmung im Schacht zu schwach, um den Staub von der Arbeitstelle rasch genug zu entfernen, sodass im Deckel des Schrägschachtes eine Oeffnung angebracht werden musste, durch die die Aussenluft direkt eintreten und so eine grössere Luftgeschwindigkeit im Schacht bewirken konnte. Trotzdem diese Zusatzluft nicht vorbehandelt war und infolgedessen der Feuchtigkeitsgehalt der Arbeitsluft im Schacht erhöht wurde, konnte diese dank dem durch die Klimaanlage getrockneten Luftteil unter der Sättigungsgrenze gehalten werden. Auf diese Weise arbeitete die Anlage einwandfrei bis Mitte Oktober, d. h. bis zum Zeitpunkt, da die Temperatur im Freien unter die Temperatur im Rohrinnern sank. Der Luftstrom im Druckschacht kam allmählich zum Stillstand und kehrte schliesslich seine Richtung um, sodass der Arbeitsgang im Rohr gestört wurde und vorübergehend aufgehoben werden musste. Auf Grund näherer Untersuchung der Erscheinung wurde als Ursache folgendes festgestellt: Die Richtung des natürlichen Luftzuges (positiver oder negativer Auftrieb) im Druckschacht ist von der Höhe der Aussentemperatur abhängig. Bei der Annahme konstanter Temperatur im Druckschacht, t_i = konst., und der äusseren atmosphärischen Luft, t_a = konst., kann der Auftriebsdruck im Druckschacht in bekannter Weise berechnet werden.

Das Druckverhältnis für eine gewisse Höhendifferenz H der äusseren atmosphärischen bzw. inneren Druckschacht-Luft berechnet sich aus:

$$\left(\frac{P_0}{P_u}\right)_{\text{aussen}} = e^{\frac{-H}{8030\left(1+\frac{t_a}{273}\right)}} \qquad \left(\frac{P_0}{P_u}\right)_{\text{innen}} = e^{\frac{-H}{8030\left(1+\frac{t_i}{273}\right)}}$$

Hierbei bedeuten P_0 und P_u den absoluten Druck am oberen bzw. unteren Ende des Druckschachtes.

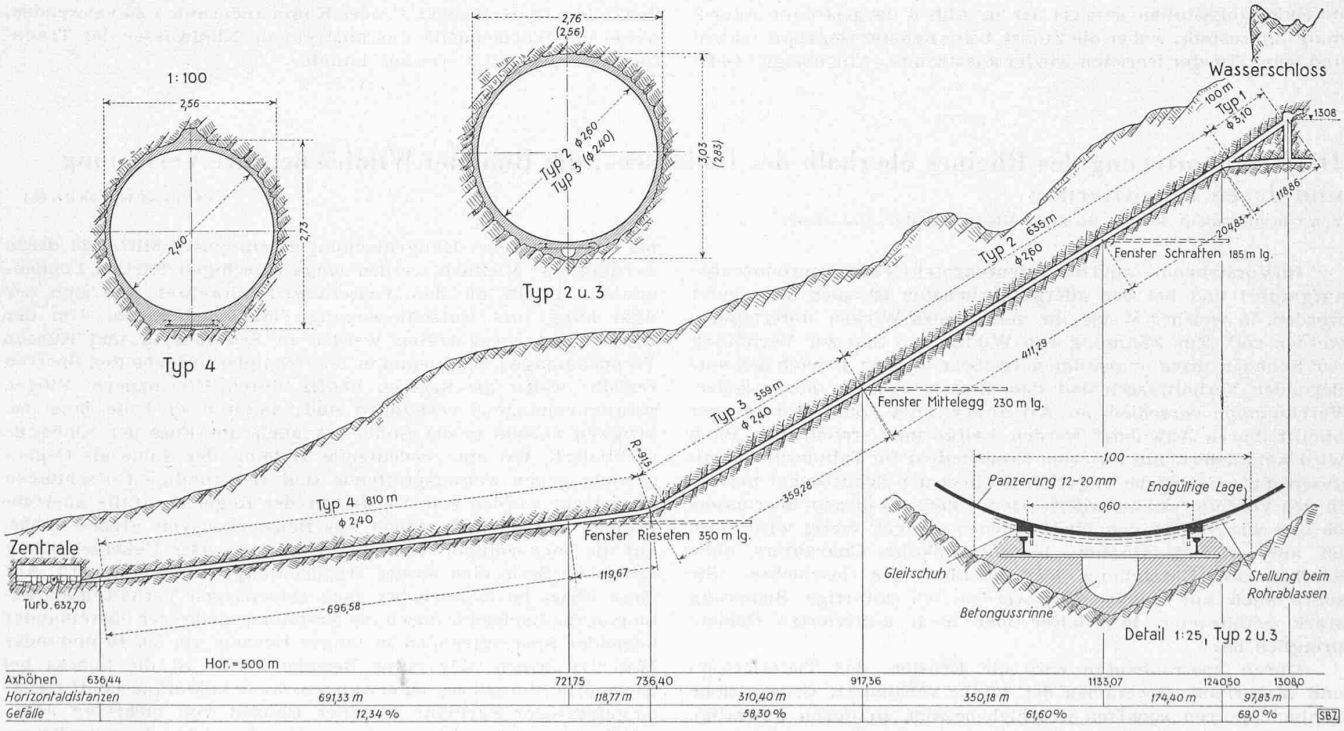


Abb. 3. Druckschacht der Zentrale Innertkirchen. — Längenprofil 1 : 10000, Querschnitte 1 : 100

Wenn man für den unteren Druck die Bedingung stellt, dass $P_{u\ \text{innen}} = P_{u\ \text{aussen}} = B$ (Barometerstand) ist, was dem normalen Ventilationsvorgang annähernd entsprechen soll, so erhält man für die Berechnung der Druck-Differenz am obern Ende zwischen dem Aussen- und Innen-Luftdruck folgenden Ausdruck:

$$\psi = \frac{P_{0\ \text{innen}} - P_{0\ \text{aussen}}}{P_u} = e^{\frac{-H}{803\left(1+\frac{ti}{273}\right)}} - e^{\frac{-H}{8\,30\left(1+\frac{ta}{273}\right)}}$$

Der Auftriebdruck, den man bei der Lüftung mit Ventilatoren überwinden muss, berechnet sich demnach aus :

$$p = P_{0\ \text{innen}} - P_{0\ \text{aussen}} = \psi\, B$$

In Abb. 5 ist unter Annahme eines barometrischen Luftdruckes von $B = 10\,000$ kg/m² und einiger konstanter Druckschachttemperaturen der natürliche Luftdruck bzw. die Luftrichtung im Rohrinnern in Funktion der Aussentemperatur graphisch dargestellt. Beträgt z. B. die Temperatur im Rohrinnern $ti = 10^{\circ}$ C, so ist bei einer Aussentemperatur von $ta = +\,15^{\circ}$ C der Luftdruck im Rohr $p = 13$ kg/m² von oben nach unten gerichtet, während bei $ta = -\,5^{\circ}$ C der Luftdruck im Rohr $p = 43$ kg/m² beträgt und von unten nach oben gerichtet ist.

Um den bei tiefen Aussentemperaturen auftretenden starken Auftriebdruck zu überwinden, war es notwendig, in der Wasserschlosskammer einen kräftigen Zusatzventilator (3 in Abb. 4) aufzustellen, der mit der Klimaanlage durch einen Schieber a und mit der offenen Kammer durch einen Schieber b verbunden war. Durch geeignete Einstellung dieser Schieber konnte die Luftmenge so reguliert werden, dass der Gegendruck überwunden und gleichzeitig die Arbeitsfläche trocken gehalten werden konnte. Ausserdem wurde im Ablaufkanal der Zentrale an geeigneter Stelle ein Axial-Ventilator (4) aufgestellt, der die Aufgabe hatte, durch Absaugen einen Unterdruck zu erzeugen und dadurch zu verhindern, dass der nach dem Filter übriggebliebene Staub in die Maschinenhalle gelangt.

Mit Hilfe dieser zusätzlichen Einrichtungen war es möglich, den Trocknungsprozess im Druckschacht auch bei tieferen Aussentemperaturen in normaler Weise aufrecht zu erhalten, sodass die Reinigung und der Anstrich, bzw. das Spritzen der Rohre mit «Inertol» bis Ende 1942, d. h. bis kurz vor der Füllung und Inbetriebnahme der Druckleitung, beendet werden konnten.

Mit Rücksicht auf eine möglichst rasche Inbetriebsetzung der Zentrale Innertkirchen musste jedoch darauf verzichtet werden, das rd. 313 m lange gepanzerte Teilstück am Ende des Zulaufstollens noch im Jahre 1942 mit einem Schutzanstrich zu versehen. Um diese und andere Fertigstellungsarbeiten ausführen zu können, wurden Ende Mai 1943 der Zuleitungsstollen Handeck-Wasserschloss sowie der Druckschacht entleert. Die Innenfläche der Rohrwandung war mit einer feinen, nassen Schlammschicht bedeckt, die zuerst getrocknet und dann mittels Sandstrahlgebläse entfernt werden musste. Dazu wurde die Klimaanlage im Zuleitungsstollen gemäss der in Abb. 6 dargestellten Anordnung aufgestellt, wobei die Zuluft beim Fenster Benzlaui eintrat und beim Fenster Rieseten wieder ausströmte. Alle übrigen Oeffnungen nach aussen waren abgeschlossen. Bei der während der Arbeitszeit herrschenden Aussentemperatur stellte sich ohne weiteres der gewünschte Luftzug im Zulaufstollen ein, doch wurde zu seiner Verstärkung noch ein Abluftventilator am Ausgang des Baufensters Rieseten aufgestellt. Die Luft wies vor Eintritt in den Kühler eine Temperatur von 6° C und eine relative Feuchtigkeit von 100 % auf. Durch den Kühler wurde sie auf — 1,5° C abgekühlt und anschliessend wieder erwärmt, sodass sie mit einer Temperatur von etwa 8° C bei etwa 50 % relativer Feuchtigkeit in den gepanzerten Stollen eintrat (siehe Diagramm Abb. 1). Die Luftgeschwindigkeit betrug etwa 0,37 m/s, was bei einem Rohrquerschnitt von 8,6 m² einer geförderten Luftmenge von 11 400 m³/h entspricht. Nach zwei bis drei Tagen war die Rohrwandung im Scheitel auf der ganzen Länge trocken, während das Rohr auf seinem ganzen Umfang nach etwa einer Woche vollständig trocken war. Die Reinigungs- und Spritzarbeiten konnten somit unter günstigen Bedingungen vorwärtsschreiten und in verhältnismässig kurzer Zeit beendet werden.

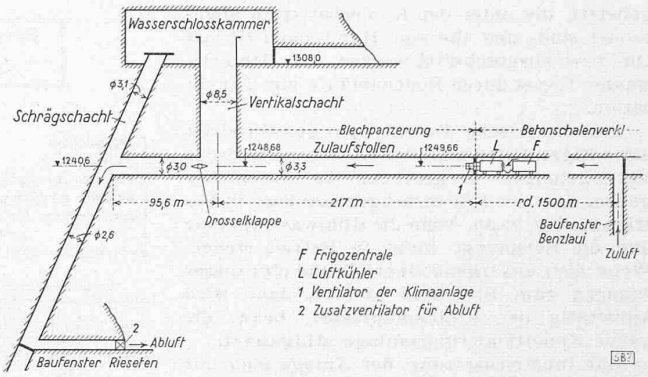


Abb. 6. Schema der Anordnung der Klima-Anlage zur Trocknung des Zulaufstollens

Die vorbeschriebene, von der Firma Gebr. Sulzer in Winterthur entworfene und ausgeführte Klimaanlage hat ihren Zweck, für den sie von Anfang an bestimmt war, erfüllt. Ohne diese Einrichtung wäre eine Trocknung und Reinigung und somit die korrekte Auftragung eines dauerhaften Farbanstriches im Rohrinnern nicht möglich gewesen. Die Anschaffungskosten dieser Trocknungsanlage haben sich aus diesem Grunde in wirtschaftlicher Hinsicht vollkommen gerechtfertigt. Die gleiche Einrichtung kann übrigens später bei einer notwendig werdenden Erneuerung des Farbanstriches im Druckschacht Gelmer-Handeck, sowie für andere ähnliche Aufgaben, wieder verwendet werden. Es besteht u. a. auch die Möglichkeit, das Luftkonditionierungsaggregat als Wärmepumpe zur Heizung von bestimmten Räumlichkeiten (z. B. Werkstatt oder Kommandoraum) zu verwenden, wobei als Wärmequelle das austretende Kühlwasser der Transformatoren benützt werden könnte.

Die Verschotterung des Rheines oberhalb des Bodensees; die Bündner Wildbäche, ihre Verbauung und deren Finanzierung

(Schluss von Seite 65)

Von Oberingenieur KARL BÖHI, a. Rheinbauleiter, Rorschach

VI.

Im Vorstehenden sind die bedeutendsten Geschiebeproduzenten aufgeführt und bei den allergefährlichsten ist auch angedeutet worden, in welcher Weise ihr unheilvolles Wirken unterbunden werden soll. Zur Zähmung von Wildbächen und zur Verhütung der Schäden ihres ungestümen Treibens werden je nach den vorliegenden Verhältnissen und dem Zweck, dem sie dienen sollen, Verbauungen verschiedener Art angewendet. Zum Schutze der unmittelbaren Anwohner werden Leitgerinne erstellt, der Bach wird kanalisiert, um das vom Erosionsfeld im Talinnern herbeigeschleppte Geschiebe ungefährdet über den Schuttkegel hinweg in den Vorfluter zu befördern. Dabei bleibt es diesem überlassen, ob und wie er mit der überbundenen Fracht fertig wird. Das ist aber eine Massnahme lediglich lokalen Charakters, ohne Einfluss auf Entstehung oder Rückhalt des Geschiebes. Sie sollte auch nur angewendet werden, wo sofortige Sicherung stark gefährdeter, besiedelter oder hoch kultivierter Gebiete dringlich ist.

Durch Sperrenbauten wird die Erosion, das Tieferfressen und Materialabschwemmen der Bäche verhindert. Grosse, hohe Schluchtsperren schaffen Geschiebebecken, in denen gewaltige Mengen zurückbehalten werden, sie tragen zur Hebung der Sohle bei und bilden bei Hangrutschungen ein gutes Mittel zu deren Beruhigung. Vielfach werden längs rutschigen Partien Lehnenmauern erstellt, die den Wasserangriff abwehren und sich der Absackung und Rutschbewegung entgegenstemmen. Um der Erosion entgegenzutreten, werden in Seitentöbeln und Runsen Treppenanlagen von kleineren, übereinander aufgebauten Sperren erstellt, wobei die Sperren häufig durch Ufermauern, Flügel, zusammenhängend verbunden sind; dadurch wird die Erosionstätigkeit sowohl in der Sohle als auch am Fuss der Einhänge verhindert. Wo eine bedeutende Hebung der Sohle als Gegengewicht gegen weitausgreifende und tiefgründige Rutschungen angestrebt werden soll, werden in der Regel ebenfalls Sperrentreppen angewendet, jedoch aus Bauwerken von grosser Höhe, auf die nach völliger Auffüllung und teilweiser Ueberschüttung eine neue Serie, eine zweite Treppenanlage aufgebaut wird. Auf diese Weise ist es auch bei ganz schwierigen Verhältnissen gelungen, die Bachsohle durch die Erstellung mehrerer übereinander liegender Sperrentreppen in langer Bauzeit um 30, 40 und mehr Meter zu heben. Als gutes Beispiel hiefür ist die Schesa bei Bludenz im Vorarlberg zu erwähnen, deren in Moräneschutt tiefsteingefressener Bachlauf in einer Bauzeit von mehreren Jahrzehnten um über 50 m gehoben worden ist; die gewaltigen,