

# Neuere Erkenntnisse bei der Projektierung und beim Bau von Kanalisationen

Autor(en): **Stambach, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **109/110 (1937)**

Heft 22

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49152>

## **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.

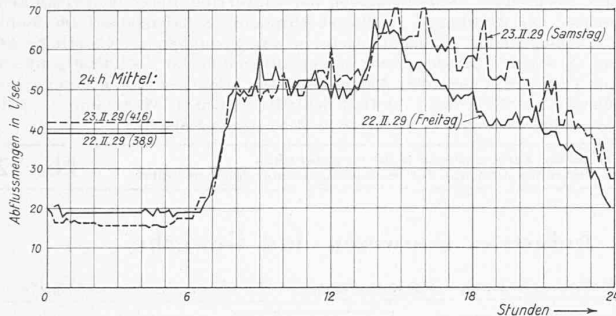


Abb. 1. Tageskurven des Schmutzwasserabflusses Kantenfeldstrasse-Ecke St. Johannring (Dole 1,80 x 2,30 m, Gefälle 10‰, Einzugsgebiet 196,4 ha, Einwohnerzahl 21 006, k (Strickler) = 70; m (Kutter) = 0,35

Zusammenstellung der spez. Abflussmengen

| Datum der Aufnahme | Max.  |        | Min.  |        | 24 Std. Mittel |        | % bezügl. 24h Mittel |      |
|--------------------|-------|--------|-------|--------|----------------|--------|----------------------|------|
|                    | l/sec | 1000 E | l/sec | 1000 E | l/sec          | 1000 E | Max.                 | Min. |
| 22. Febr. 1929     | 67,7  | 3,22   | 18,0  | 0,86   | 38,9           | 1,85   | 174,0                | 46,3 |
| 23. Febr. 1929     | 70,5  | 3,36   | 15,2  | 0,72   | 41,6           | 1,98   | 169,5                | 36,5 |
| Mittel             | 69,1  | 3,29   | 16,6  | 0,79   | 40,3           | 1,92   | 171,4                | 41,3 |

zweiges, unserem Kollegen Rož, zu grossem Dank verpflichtet ist. Möge die E. M. P. A. unter seinem Präsidium und unterstützt durch seine wertvollen Direktionskollegen und Mitarbeiter sich auch in ihrem neuen Rahmen erspriesslich weiter entwickeln, zum Nutzen von Wissenschaft und Praxis, des ganzen Landes und seines wissenschaftlichen Ansehens auch über unsere Grenzen hinaus. Dank gebührt aber auch den Bundesbehörden, die, in Einsicht der grossen volkswirtschaftlichen Bedeutung der Materialforschung, der E. M. P. A. die notwendigen Mittel gewähren, um auf der Höhe der Zeit und ihrer Erfordernisse zu bleiben.

### Neuere Erkenntnisse bei der Projektierung und beim Bau von Kanalisationen

Von E. STAMBACH, Dipl. Ing. in Firma Buss A.-G., Basel

#### 1. Erfahrungszahlen über städtischen Schmutzwasserabfluss

Wenn der projektierende Ingenieur vor die Aufgabe gestellt wird, eine Ortskanalisation zu entwerfen, sind ihm oft grundlegende Werte, die für die Verhältnisse des betreffenden Ortes charakteristisch sind, unbekannt. Er ist dann darauf angewiesen, die Grundlagen aus Berechnungen anderer Netze zu übernehmen und sinngemäss zu übertragen. Bekanntlich variieren diese stark je nach den örtlichen Verhältnissen, sodass die auf sie aufbauenden Berechnungen mehr oder weniger richtig sind. Es ist deshalb nötig, Angaben aus möglichst verschiedenen Anlagen zu erhalten. Diese Aufschlüsse sind umso wertvoller, je mehr sie sich auf direkte Messung stützen. Im folgenden werden die Erhebungen über die Schmutzwasserabflussmenge zusammengestellt, die im Gebiete des Kantons Basel-Stadt gemacht werden konnten. Sie werden demnach für die städtischen Verhältnisse in der Schweiz Anhaltspunkte geben können.

Erfahrungsgemäss entspricht die in der Kanalisation zum Abfluss gelangende Schmutzwassermenge ungefähr dem Verbrauch an Reinwasser. Dieser ändert, pro Kopf der im Versorgungsgebiet ansässigen Bevölkerung berechnet, in weiten Grenzen, je nach dem Zweck des Verbrauches (Industrie, Wohnbevölkerung, Landwirtschaft), nach den Lebensgewohnheiten und dem Stand der hygienischen Verhältnisse, nach der vorhandenen Wassermenge und den Kosten, die für die Gewinnung und Verteilung aufgebracht werden müssen. Man findet deshalb in der Literatur und in der Statistik mittlere Verbrauchswerte zwischen 60 und 800 l/Kopf/Tag. Interessant sind diesbezügliche Erhebungen, die in 919 deutschen Orten mit total 31,6 Mill. Einwohnern gemacht worden sind (Dipl. Ing. H. Heyd, Gesundheits-Ing., 18. Juli 1936). Der mittlere Wasserverbrauch beträgt für Orte mit mehr als 100 000 Einw. 130 l/K/T bei 18 300 000 Einw.  
 50 000 bis 100 000 Einw. 135 l/K/T bei 3 150 000 Einw.  
 10 000 bis 50 000 Einw. 101 l/K/T bei 7 600 000 Einw.  
 2 000 bis 10 000 Einw. 102 l/K/T bei 2 600 000 Einw.  
 im Mittel 121 l/K/T bei 31 650 000 Einw.

Die analogen Werte als Mittel der Jahre 1932/35 für 62 Orte in der Schweiz mit total 1 592 900 Einwohnern berechnet, ergeben für Orte mit mehr als 100 000 Einw. 298 l/K/T bei 738 500 Einw.  
 50 000 bis 100 000 Einw. 258 l/K/T bei 347 100 Einw.  
 10 000 bis 50 000 Einw. 320 l/K/T bei 303 300 Einw.  
 2 000 bis 10 000 Einw. 281 l/K/T bei 204 000 Einw.  
 im Mittel 121 l/K/T bei 1 592 900 Einw.

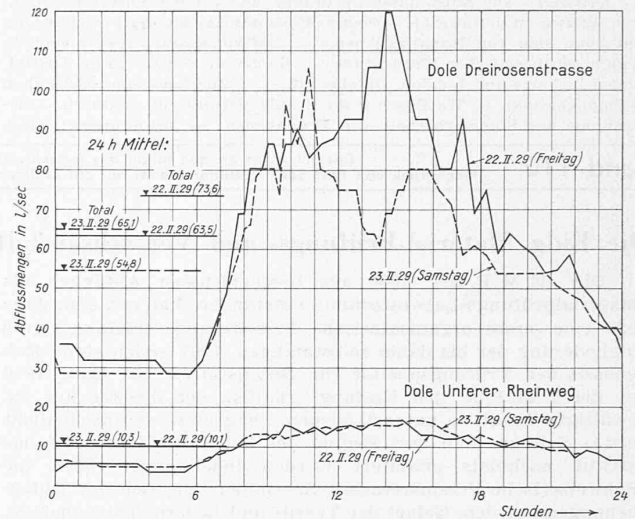


Abb. 2. Tageskurven des Schmutzwasserabflusses Unterer Rheinweg (Dole 0,80 x 1,20 m, Gefälle 1,5‰) und Dreirosenstrasse (Dole 0,80 x 1,50 m, Gefälle 10‰), Einzugsgebiet 170,3 ha, Einwohnerzahl 33 947, k = 70, m = 0,35

Zusammenstellung der spez. Abflussmengen Dolen Dreirosenstrasse und Unterer Rheinweg zusammen addiert

| Datum der Aufnahme | Max.  |        | Min.  |        | 24 Std. Mittel |        | % bezügl. 24h Mittel |      |
|--------------------|-------|--------|-------|--------|----------------|--------|----------------------|------|
|                    | l/sec | 1000 E | l/sec | 1000 E | l/sec          | 1000 E | Max.                 | Min. |
| 22. Febr. 1929     | 136,0 | 4,00   | 32,2  | 0,95   | 73,6           | 2,20   | 182,3                | 43,2 |
| 23. Febr. 1929     | 119,4 | 3,52   | 33,6  | 0,99   | 65,1           | 1,87   | 188,0                | 52,9 |
| Mittel             | 127,7 | 3,76   | 32,9  | 0,97   | 69,4           | 2,03   | 184,9                | 47,6 |

Hierbei wurden Orte mit mehr als 500 und weniger als 100 l/Kopf/Tag nicht berücksichtigt, weil es sich um Einzelfälle mit besonderen Verhältnissen handelt.

Ausser dem allgemein erheblichen Mehrverbrauch in der Schweiz gegenüber Deutschland fällt auf, dass in der Schweiz die kleineren Gemeinden mehr oder mindestens gleich viel Wasser benötigen, wie die grossen, während in Deutschland der Verbrauch mit abnehmender Einwohnerzahl sinkt. Für die Erklärung dieser Verhältnisse werden kaum allgemein gültige Angaben gemacht werden können. Der Mehrverbrauch in der Schweiz wird ausser auf die grössere Verbreitung des Spültoiletts und anderer hygienischer Einrichtungen auf das Vorhandensein reichlicher Wasserspender zurückzuführen sein, so dass ohne besondere finanzielle Belastung das Wasser verschwendlicher verbraucht werden kann.

Soll die Verbrauchswassermenge als Ausgangspunkt für die Berechnung der Schmutzwassermenge benützt werden, so wird man sich über diese Verhältnisse Klarheit verschaffen müssen. Besonders bei nachweisbar grossem Wasserverbrauch einer Gemeinde muss untersucht werden, ob diese Menge wirklich auch als Schmutzwasser zum Abfluss in die Kanalisation gelangt. Denn es kann sich im Einzelfall eventuell lohnen, Brauchwasser, das nicht oder nur unwesentlich verschmutzt wird (z. B. Kühlwasser) gesondert abzuleiten, oder bei der Untersuchung über den Verdünnungsgrad als Reinwasser zu betrachten.

Der Anteil verschiedener Verbrauchergruppen am Gesamtbedarf ist sehr von den örtlichen Verhältnissen abhängig und beträgt zum Beispiel in Basel im Mittel der letzten Jahre:

|   |              |
|---|--------------|
| Haushaltungen, kleinere Gewerbe und Verschiedenes     | 60 %         |
| Industrie und Grossverbraucher                        | 27 %         |
| Verwaltungen, öffentl. und priv. Brunnen und Verluste | 13 %         |
| <b>Total</b>  | <b>100 %</b> |

Dazu ist zu bemerken, dass verschiedene Grossindustrien ausserdem noch eigene Wasserversorgungen und auch eigene Abwasserkanäle besitzen.

Für die Berechnung der Dolenprofile ist die Abflussmenge in m<sup>3</sup>/sec bzw. in l/sec wissenschaftlich, und zwar ist der grösste zu erwartende Anfall massgebend. Zur Ermittlung der Tagesspitzen wurden in Basel an zwei geeigneten Stellen des bestehenden Kanalisationsnetzes Limnigraphen eingebaut, sodass der tatsächliche Ablauf dauernd verfolgt werden konnte. Das typische Kurvenbild (Abb. 1) des Schmutzwasserabflusses bei Trockenwetter in einem Wohnquartier mit nur kleinen Gewerben zeigt zwischen 0 und 6 h eine Minimalmenge von rd. 45 % des 24-stündigen Tagesmittels, von 6 bis 8 h einen raschen Anstieg auf rd. 130 % des Tagesmittels. Vormittags bleibt die Kurve mit kleinen Schwankungen auf gleicher Höhe, um dann zwischen 14 und 16 h das Tagesmaximum mit rd. 160 % zu erreichen. Der Abfall auf das Nachtminimum, beginnend etwas nach Mitternacht,

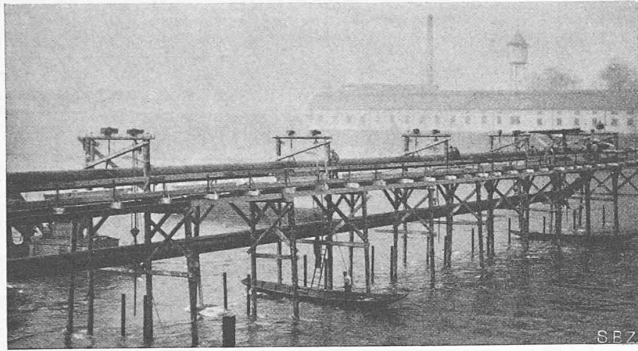


Abb. 4. Absenken eines Dolenauslaufs vom festen Gerüst

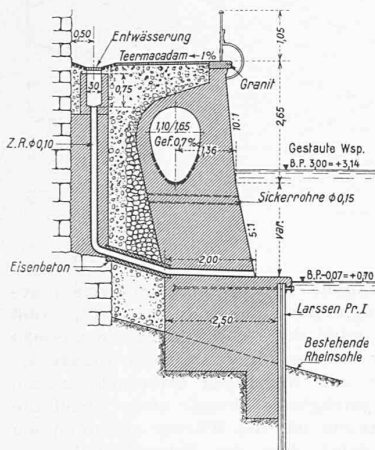


Abb. 3. Querschnitt 1:150 der Sammeldole am linken Basler Rheinufer

vollzieht sich dann ziemlich regelmässig. Kleine Abweichungen von diesem Normalverlauf machen sich an Sonntagen und Samstagen bemerkbar.

Auch im Verlauf der Jahreszeiten konnten die Unterschiede im Trockenwetterabfluss zahlenmässig festgestellt werden. Obschon im Winter das Tagesmaximum gegenüber dem Tagesmittel einen grösseren Wert erreichen kann, ist der Berechnung das Maximum der Sommertage zu Grunde zu legen, weil die absolute Abflussmenge im Sommer grösser ist als im Winter.

Der maximale Sommertagesabfluss wurde zu 150% des mittleren Tagesabflusses in einem Jahr ermittelt. Die der Berechnung zu Grunde zu legende maximale Wassermenge ist somit als Tagesspitze des maximalen Sommertagesabflusses zu bewerten.

Ähnliche Beziehungen ergaben sich auch auf Grund von Beobachtungen in einem Kanal aus einem Industriegebiet (Abb. 2). Die Abwasser der Grossindustrie sind in dem Graphikon nicht enthalten, weil sie durch besondere Dolen abfliessen. Der Tagesablauf zeigt hier stärkere Schwankungen als im Wohnquartier. Besonders ausgeprägt ist die Tagesspitze, die sich um etwa 180% über das Tagesmittel erhebt. Durch die Vielgestaltigkeit der Betriebe wird ein Ausgleich geschaffen, der saisonbedingte Schwankungen im Gesamtabfluss nicht erkennen lässt.

Da, wie schon erwähnt, Basels Grossindustrie eigene Abwasserleitungen besitzt, herrscht in der Zusammensetzung des Abflusses in den städtischen Dolen der Anteil des häuslichen Abwassers vor. Die prozentuale Gliederung bei Trockenwetter zeigt folgendes Bild:

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| Häusliche Schmutzwasser             | 82 %         |
| Gewerbe- und Industrieabwasser      | 14 %         |
| Brunnen- und Sickerwasser           | 4 %          |
| <b>Totaler Trockenwetterabfluss</b> | <b>100 %</b> |

## 2. Neubau der Basler Schmutzwassersammler

Die genannten Untersuchungen, die zum Teil schon in den Jahren 1928/29 ausgeführt wurden, bildeten die Grundlagen für die Ergänzung der Kanalisation der Stadt Basel, die durch den Aufstau des Rheines durch das Kraftwerk Kembs bedingt waren. Durch den Bau von zwei längs den beiden Rheinufern die ganze Stadt durchziehenden Sammeldolen wurden etwa 45 alte Schmutzwasserausläufe aufgehoben und das gesamte Abwasser unterhalb der Wohngebiete dem Vorfluter übergeben. Von diesen Kanalisationen, die am Platz betonierte Eiprofilgrössen von 0,50/0,75 m bis 1,20/1,80 m aufweisen, seien nur einige besondere Anlagen erwähnt, wobei der Beschrieb von zwei vollautomatisch arbeitenden Pumpstationen in einem späteren Aufsatz erscheinen soll.

Interessant war die Ausführung des Dolenstückes längs des schwer zugänglichen linken Rheinuferes zwischen der Wettsteinbrücke und der mittleren Rheinbrücke. Der Bau der Profile 1,40/2,10 m (mit Bankett) und 1,10/1,65 m erfolgte im Stollen von einzelnen Fenstern aus, die vom Rhein her bedient wurden,

wozu grössere Installationen nötig waren. Die in der Kontaktzone mit der Niederterrassenschotterdecke durchfahrenen Schichten von Molasse und blauem Letten mussten in den Strecken mit Wasserführung stark eingebaut werden, da auch die harten und zähen Lagen bei Luft- und Feuchtigkeitszutritt zu starken Abwitterungserscheinungen neigten. Der Ausbruch mit Druckluftmeisseln und -Spaten ergab gegenüber dem Abbau von Hand um rd. 50% grössere Vortriebsleistung, stellte sich aber für die vorliegenden Verhältnisse bedeutend teurer. Die mittlere Vortriebsleistung mit drei Mann in neunstündiger Schicht betrug bei schwerem Einbau im Mittel 0,80 m und stieg bei leichtem Einbau bis auf 1,40 m. Zum Vergleiche seien Kanalisationsstollen bis zu 250 m Länge erwähnt, die im bunten Mergel mit sehr verschiedenartigen und verschieden harten Schichten vorgetrieben wurden. Das Ausbruchprofil von rd. 4,2 m<sup>2</sup> theoretischer Fläche förderten fünf Mann bei Abbau mit Drucklufthämmern und Kappenverschalung bis auf Kämpferhöhe inkl. Materialabfuhr um 1,2 bis 2,0 m pro Schicht.

Unterhalb der Mittleren Rheinbrücke war eine Kanalisation längs dem linken Rheinufer und zwar auf eine Länge von rd. 150 m ausserhalb der bestehenden Uferlinie zu erstellen. Die hochwasserfrei liegende Dole musste ein eigenes Fundament erhalten und frostsicher angelegt sein. Man entschloss sich, den hierfür erforderlichen Mauerquerschnitt gleichzeitig als Ufermauer so auszubilden, dass sie als Abschluss einer neuen Quaianlage dienen konnte. Die Fundamente wurden hinter Larsenspundwänden im Trockenen auf den anstehenden blauen Letten abgestellt (Abb. 3). Die Dilatationsquerfugen, die in Abständen von 20 m durchgehend ausgebildet wurden, hat man am Kanalumfang mit federnden Kupferblechen abgedichtet. Damit die 5 m hohe Betonsichtfläche über dem Wasser sich möglichst unauffällig in das Uferbild mit den alten Gebäuden einfügt, war eine Oberflächenbehandlung erwünscht, die nicht den Charakter des Neuen an sich trug. Man bestrich die ausgeschaltete Fläche mit leicht grünlich wirkender Kalkmilch, die vom Regenwasser unregelmässig abgespült wurde, sodass rasch eine natürliche Patina entstand.

Quer durch den Güterbahnhof Kleinhüningen wurden zwei Parallelleitungen gelegt, wobei mit einem 4 m tiefen Graben 19 SBB-Geleise ohne Unterbrechung des Bahnbetriebes unterfahren werden mussten. Hierbei erwies sich das Legen von fertigen Röhren gegenüber dem Betonieren der Profile an Ort und Stelle als vorteilhafter, sodass Vianinirohre Ø 1,0 m zum Einbau gelangten. Weil es sich um Druckleitungen handelt, wurden die Muffen mit PC-Mörtel mit Sika-Beimischung gedichtet. Die Rohrmuffen wurden in dem angefahrenen Kiessand-Untergrund unterbetoniert. Wenn ungleichmässige Setzungen zu erwarten sind, kann empfohlen werden, solche Rohre auf eine durchgehende Betonplatte zu legen. Nachträglich durchgeführte Messungen der Abplattung der Rohre in ihrer Vertikallaxe unter der Belastung von 130 t schweren Lokomotiven bei 42 km/h Fahrgeschwindigkeit haben max. Deformationen von 0,12 mm ergeben. Bleibende Formveränderungen konnten nicht festgestellt werden.

Für den Bau einer Abwasserleitung Ø 0,60 bis 0,80 m aus der chemischen Industrie musste damit gerechnet werden, dass die Abwasser sehr verschiedenartig zusammengesetzt sind und Temperaturen bis zu 60°C aufweisen. Es wurden Steinzeugrohre verwendet, deren Muffen aussen normal mit Teerstrick und Asphalt gedichtet wurden. Ausserdem strich man die Fugen auf Grund besonderer Versuche von innen mit einer Mischung von Bleiglätte und Glycerin aus. Die Haltbarkeit dieser Dichtung hat sich nach mehrjähriger Betriebsdauer erwiesen. Die Ausführung der Arbeiten mit Bleiglätte verlangt allerdings besondere Sorgfalt und Instruktion, da sonst gesundheitschädliche Einwirkungen auf die Arbeiter eintreten können.

Die Schmutzwasser der Stadt Basel können dank der grossen Wassermengen des Rheines bis auf weiteres ungeklärt in den Strom geleitet werden. Ob eine Klärung später notwendig sein wird, müssen die Beobachtungen des Einflusses des Rückstaus vom Kraftwerk Kembs zeigen. Mit Rücksicht auf den Ausbau der Ufer als Verladequai der Schifffahrt und auf die Hafenanlagen dürfen die Ausmündungen der Dolen auf alle Fälle nicht direkt am Ufer liegen. Die Abwasser sind ungefähr in Flussmitte und in der Flusssohle zum Auslauf zu bringen. Der Bau der hierfür notwendigen Leitungen mit 0,80 bis 0,90 m Durchmesser und 70 bis 100 m Länge verlangte die Lösung einer Reihe neuer Probleme. Zur Verwendung gelangten elektrisch geschweisete Armcoeisenrohre mit 8 mm Wandstärke. Während bei ruhigen Gewässern die Montage solcher Rohre am Ufer und das Einschwimmen und Absenken von Schiffen aus üblich ist, konnten mit Recht ernste Bedenken gegen diese Baumethode erhoben werden, da im Rhein auch bei Niederwasser Fließgeschwindig-

keiten von 1,3 bis 1,8 m/sec (ohne Stau durch das Kembserwerk) vorhanden sind. Man entschloss sich deshalb, die 10 m langen Rohrschüsse auf einem festen Gerüst über der Stelle der definitiven Rohrlage zusammen zu schweißen und mittelst Kettenzügen in den vorher ausgebagerten Rohrgraben abzusenken (Abb. 4). Ueber die Ausführung der Absenkung von sieben verschiedenen Rohrleitungen geben nachstehende Daten einigen Aufschluss:

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Höhe Montageboden über<br>Flusssohle | 5 ÷ 9 m        |
| Rohrgewicht                          | 200 ÷ 300 kg/m |
| Abstand der Aufhängungen             | 12 m           |
| Absenkungszeit                       |                |
| effektiv                             | 10 ÷ 20 min    |
| inkl. Nebenarbeiten                  | 1 ÷ 4 1/2 h    |

Obschon die Rohre mit etwa 50 cm Ankergrund überschüttet wurden, der je nach den örtlichen Verhältnissen aus Baggerkies oder einer Steinlage mit Kies bestand, hat man alle Rohre mit unter Wasser schräg gerammten Eisenschienen verankert. Bei einzelnen Rohren, die Industrie-wasser abführen, ist das Eisenrohr durch eine Pitschpineholzeinlage geschützt worden. Diese besteht aus einzelnen Dauben, die eine patentierte allseitige S-förmige Verzahnung aufweisen und mit versetzten Stössen eingebaut werden.

## Luftkonditionierungsanlagen in hygienisch-thermischer Betrachtung

Von Dipl. Ing. S. AESCHBACHER, Strasbourg

In der Meinung, dass der Beurteilung von Luftkonditionierungsanlagen vom hygienischen Standpunkte aus heute eine vermehrte Bedeutung zukommt, wird eine Grundlage gesucht, die leicht abzuklären gestattet, in welchem Masse erreichbare Luftbedingungen dem menschlichen Wohlbefinden zuträglich sind. Denn nicht nur die Papier- und Textil-Industrie steigern durch verbesserte Arbeitsbedingungen die Produktionsfreudigkeit ihrer Arbeiterschaft und schaffen durch Konditionierung die technologisch erforderlichen Bedingungen, sondern auch Theater, Kinos, grosse Restaurants und Luftschutzräume erfordern sie.

In den U. S. A. wird statt unserer *Mollierschen J - x Tafel* für feuchte Luft hauptsächlich die sog. «Psychrometertafel» gebraucht. Sie ist eine umgezeichnete Molliertafel mit Temperatur als Abszisse und Feuchtigkeit als Ordinate, siehe Abb. 1. Wesentlich ist für beide Tafeln die Sättigungskurve. An Stelle der *J*-konstant-Linien der Molliertafel sind die Linien konstanter Feucht-kugelthermometerablesung eingezeichnet. Dieses Diagramm geht von zwei leicht durchführbaren Messungen aus und gestattet zugleich relative und absolute Feuchtigkeit abzulesen.

Die Feucht-kugeltemperatur stellt sich ein, wenn die Quecksilberkugel eines Thermometers befeuchtet wird und nun gemäss der relativen Feuchtigkeit der Luft Eigenwärme zur Wasserverdampfung abgibt. Diese Wärmeabgabe kommt ins Gleichgewicht mit der Wärmeaufnahme aus dem Raum, also mit der Raumtemperatur einerseits und mit der Verdampfungsmöglichkeit, also dem Dampfdruck oder der relativen Luftfeuchtigkeit andererseits. Einer bestimmten relativen Feuchtigkeit und Raumtemperatur ist deshalb eine ganz bestimmte Feucht-kugeltemperatur eindeutig zugeordnet.

Weil der Wärmehalt feuchter Luft gleich dem Wärmehalt gesättigter Luft bei der Temperatur des Feucht-kugelthermometers ist, verlaufen in der Psychrometertafel die Linien konstanter Feucht-kugelablesung entsprechend den *J*-konstant-Linien in der Molliertafel und schneiden auf der Sättigungskurve die entsprechenden Trockentemperaturen. Ueber die Sättigungskurven kann eine Kurve des Wärmehaltes mit besonderem Masstab gezeichnet werden, dann ist auch der jeweilige Wärmehalt bestimmt. Dadurch wird das Diagramm übersichtlicher und ist nicht mit *J*-konstant-Linien überlastet. Die Arbeit des Konstrukteurs erleichtert eine Kurve des spezifischen Volumens und des Dampfdruckes.

Behaglichkeit wird definiert als thermischer Gleichgewichtszustand, der eintritt, wenn die durch die jeweilige Körpertätigkeit erzeugte Wärmemenge durch die Haut abgeführt werden

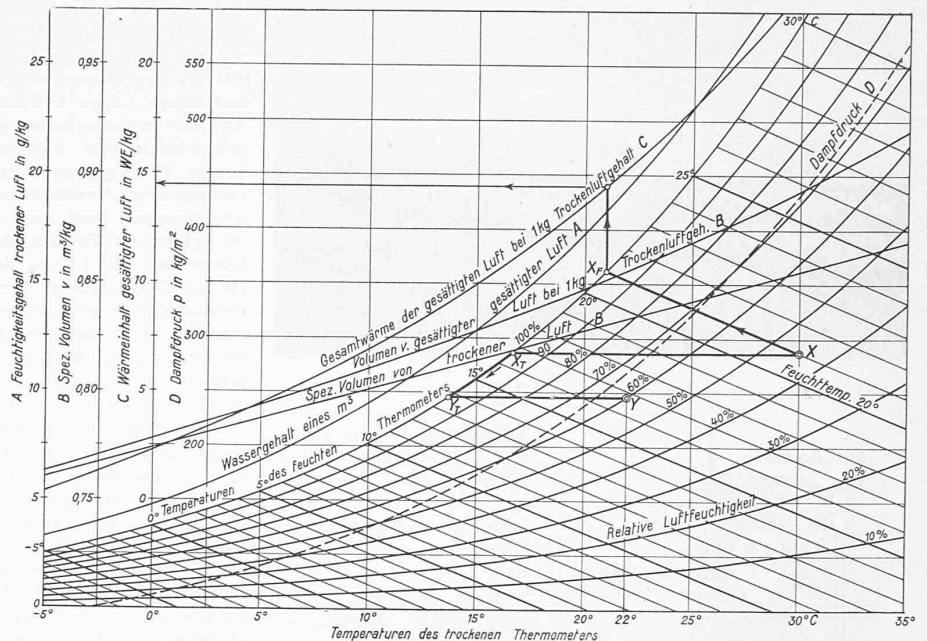


Abb. 1. Psychrometertafel: umgezeichnete Mollier-Tafel

kann, ohne dass dafür zusätzliche Feuchtigkeit (Schweiss) gebildet werden muss. Unbehaglichkeit dagegen tritt ein, wenn dieses Gleichgewicht gestört wird, d. h. wenn durch die äusseren Umstände dem Körper mehr Wärme zugeführt wird, sodass die Temperatur der Haut über die biologisch erforderliche und gefühlsmässig feststellbare zuträgliche Grenze steigt, weil die Umgebung nicht mehr imstande ist, die Wärme aufzunehmen (oder umgekehrt). Daraus folgt, dass die Behaglichkeit eine Funktion folgender Grössen sein muss:

1. der durch die jeweilige Tätigkeit im Organismus erzeugten Wärme (vorausgesetzt, dass der Wärmefluss im Körper ausgeglichen ist: thermodynamisches Gleichgewicht);
2. der Wärmeübergangszahl zwischen Körper und Aussenluft (Eigenschaften der Haut, Bekleidung, Luftgeschwindigkeit, Wärme-Kapazität der Luft u. besonders relative Feuchtigkeit);
3. durch die Wärmeaufnahme und -Abgabe des Körpers durch Strahlung (Farben und Raumwinkelverhältnisse).

Die vom «American Society of Heating and Ventilating Engineers-Guide» herausgegebenen Psychrometertafeln<sup>1)</sup> zeigen die empirisch gefundenen Zusammenhänge dieser verschiedenen Variablen. Dabei wurde die Variable der vom Menschen empfundenen Temperatur, d. h. des Gefühls, durch Abstimmung (mit Vergleichsräumen) ermittelt. Wie daraus zu entnehmen ist, verhält sich der Mensch bei 39° C Körpertemperatur ähnlich wie ein Feucht-kugelthermometer, denn die effektiven (und empfundenen) Hauttemperaturen stimmen hier überein mit den Feucht-kugeltemperaturen. Sie laufen bei veränderlicher Luftfeuchtigkeit mit diesen parallel. Bei dieser Lufttemperatur schwitzt die Körperoberfläche, und gibt wie eine Feucht-kugel Wärme durch Verdunstung ab, entsprechend dem Dampfdruck in der Luft.

Bei niedrigen Temperaturen sinkt dagegen auch die Feuchtigkeitsabgabe des Körpers, die Oberfläche wird immer trockener, sie kann keine Wärme durch Verdunstung abgeben und wird sich bei veränderlicher Luftfeuchtigkeit nicht mehr wie das Feucht-kugelthermometer verhalten, sondern immer mehr wie das Trockenkugelthermometer. Die Linien der empfundenen Körpertemperatur nähern sich daher mit sinkender Raumtemperatur immer mehr der Parallelität mit den Trockenkugeltemperaturen.

Aus den Tafeln des «A. S. H. V. E.-Guide» ist ferner ersichtlich, dass die wirksamen Körpertemperaturen bei 8° C Lufttemperatur parallel zu den Trockentemperaturen verlaufen, somit bei verschiedenen relativen Feuchtigkeiten konstant sind.

In der Tat sagt denn auch Rybka: «Bemerkenswert ist, dass für ruhende Luft, normale Bekleidung und Ruhe der Anwesenden (also die Bedingungen, die unserer Tafel zugrunde liegen), die Linie der Lufttemperatur (Trockenkugeltemperatur) mit der Linie der wirksamen Temperaturen etwa bei 8° C zusammenfällt, sodass hieraus gefolgert werden kann, dass eine beliebige Aenderung der Luftfeuchtigkeit von völliger Trockenheit bis zur Sättigung keine Aenderung des Behaglichkeitsgefühls bei dieser

<sup>1)</sup> Siehe auch Karl R. Rybka: «Amerikanische Heizungs- und Lüftungs-Praxis». Verlag J. Springer, Seite 135 ff.