

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85/86 (1925)
Heft: 14

Artikel: Lange Druckrohrleitungen aus Eisenbeton
Autor: Saliger, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40199>

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: 16.05.2025

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



Abb. 5. Bewehrung des Rohrstrangs.

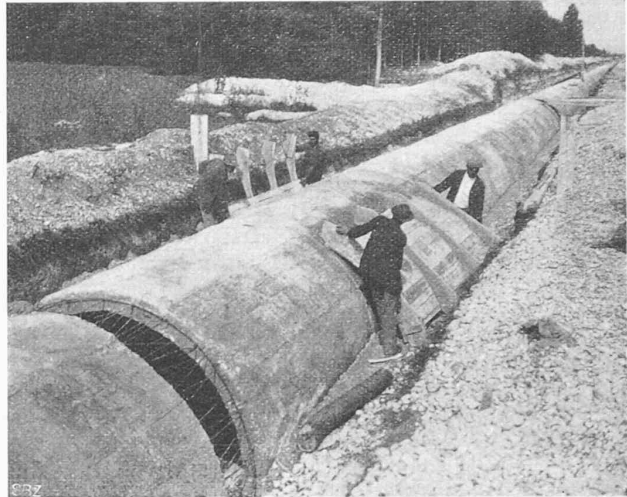


Abb. 6. Fertige Teilstücke ohne Schlussringe.

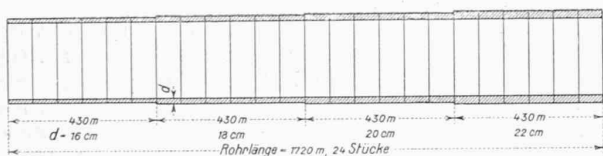


Abb. 1. Zerlegung des Rohrstrangs in Teilstücke.

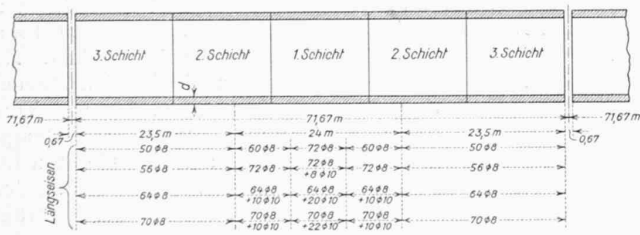


Abb. 2. Angaben über die Längsbewehrung der Teilstücke.

Lange Druckrohrleitungen aus Eisenbeton.

Von Prof. Dr. Ing. R. SALIGER, Wien.¹⁾

Beim Ausbau mehrerer kleiner Wasserkraftwerke im Steinfeld, einer südlich von Wien bis zum Fuss des Semmerings sich erstreckenden schwach geneigten Ebene, ergab sich die Notwendigkeit langer Druckrohrleitungen, deren Ausführung nach reiflicher Ueberlegung in Eisenbeton beschlossen wurde.

Das von der Stadtgemeinde Wiener Neustadt erbaute Kraftwerk Föhrenwald erforderte ein 1720 m langes Druckrohr von 2,30 m Lichtweite, das bei dem vom Einlauf bis zur Turbine auf rund 2 at ansteigenden Druck in Wanddicken von 16 bis 22 cm geplant wurde. Das Rohr liegt in der Erde und ist auf seine ganze Länge um 1 m überschüttet. Wanddicken und Ringbewehrung sind für die verschiedenen Belastungen, wie Erddruck, Wasserfüllung ohne Scheiteldruck und Volldruck, und für verschiedene Lagerungen berechnet.

Im Anschluss an diese Untersuchungen war die Frage zu klären, ob und welche Dehnmöglichkeiten in der Rohrleitung zu schaffen seien. Aus dem auf Wunsch der Stadtverwaltung von mir erstatteten Gutachten sei folgendes mitgeteilt.

Die gestellte Frage steht im Zusammenhang mit der Bauart des Rohrs und mit der Ausführung des Rohrstrangs. Die wichtigste hier in Betracht kommende Eigenschaft des Beton ist seine Schwindung. Kann sich die Verkürzung nicht ungestört vollziehen, so entstehen Zug-

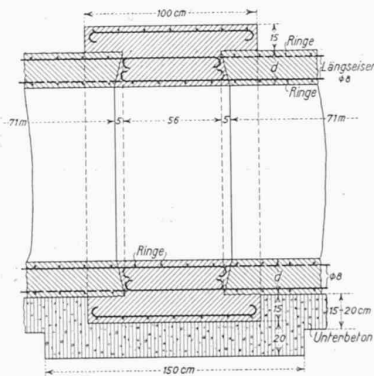


Abb. 3. Schlussring zwischen zwei Teilstücken. — 1 : 40.

kräfte. Ueberschreiten diese die Zugfestigkeit des Beton, so zerreisst er an den widerstandsschwächsten Stellen. Es entstehen Risse oder wilde Fugen. Brücken und Hochbauten werden aus diesem Grund durch Dehnfugen in kurze Teile zerlegt, in denen die aus der Schwindung entstehenden Längskräfte nur bescheidene Grösse annehmen. Die Dehnfugen dienen auch zum Ausgleich der von der

Wärme herrührenden Längenänderungen des Bauwerks.

Trotz dieser Massnahmen gelingt es wegen der geringen Zugfestigkeit des Beton fast niemals, vollkommen rissfreie Bauwerke aus Eisenbeton zu erzielen. Diese Risse sind aber bei jeder guten Ausführung so fein, dass sie die dauernde Bestandsicherheit nicht schädigen.

Wesentlich ist, dass die Risse ganz fein bleiben; dies wird durch über den ganzen Querschnitt verteilte Eisenlagen erreicht, wodurch die Entstehung einzelner weniger, aber grober Risse vermieden und die Rissbildung auf die ganze Bauwerkfläche verteilt und unschädlich wird.

Um die Querrisse des Rohrstranges in unschädliche, d. h. zahlreiche, ganz feine umzuwandeln, muss eine Längsbewehrung eingelegt werden von solcher Stärke, dass sie die Längszugkräfte ohne örtlich beschränkte Dehnung der Eisen aufnehmen kann. Solche örtliche Dehnungen sind nicht vorhanden, wenn die Streckgrenze nicht erreicht wird.

Diese Ueberlegung ist mit der Tatsache zu verbinden, dass die Schwindung in den ersten Monaten der Erhärtung am grössten ist und später nur noch verhältnismässig wenig zunimmt. Den ersten grösseren Teil der Schwindung aus dem Rohrstrang auszuschalten, erscheint daher von erheblichem Vorteil, der in folgender Weise nutzbar gemacht wird.

Der ganze Rohrstrang von 1720 m Länge ist in 24 Teilstücke von je rund 72 m Länge zu zerlegen (Abb. 1) und in der aus der Abbildung 2 ersichtlichen Weise längsbewehren. Die Betonierung jedes Rohrstückes von 72 m Länge hat in der Mitte zu beginnen, um in einem Zug nach beiden Seiten fortgesetzt zu werden. Ein Rohrstück kann daher in drei Arbeits-Schichten hergestellt werden. Nach den Arbeitspausen ist der Beton des Vortages aufzurauen und mit Zementmilch zu bestreichen, damit das ganze Rohrstück einheitlich wird. Auf dem fertigen Rohrstück

¹⁾ Das Erscheinen dieser schon vor längerer Zeit erhaltenen Arbeit musste wegen Stoffandrangs wiederholt verschoben werden. Red.

ist, sobald die Erhärtung des Beton es zulässt, eine Erdschicht von etwa 10 cm Dicke aufzubringen, die wiederholt kräftig zu begiessen ist. Die Betonmischung wurde mit 350 kg Zement auf 1 m³ Sandkiesgemenge in sorgfältiger Auswahl vorgeschrieben. Von einer fettern Mischung wurde mit Rücksicht auf die grössere Schwindung abgeraten, ebenso von jedem, das unbedingt Notwendige überschreitenden Wasserzusatz. Die Reihenfolge der Betonierung der Teilstücke ist beliebig.

Auf die Wiedergabe der Einzelheiten der Längsbewehrung jedes Rohrstückes und ihrer Berechnung wird hier nicht weiter eingegangen. Es sei nur erwähnt, dass die aus der Schwindung und der Reibung am Unterbeton entstehenden Längskräfte aufzunehmen waren einerseits durch die Zugfestigkeit des Beton (zulässige Beanspruchung 10 kg/cm²), anderseits durch die Längseisen allein (zulässige Spannung 2500 kg/cm²). Hieraus ergab sich die mögliche Länge der Rohrstücke (rund 71 m) und die notwendige Längsbewehrung. Da die Zugkräfte von der Mitte des Rohrstücks gegen die Enden abnehmen, ist auch die Bewehrung in der Mitte kräftiger geplant worden; sie ergab sich mit 37 bis 52 cm² je nach der Dicke der Rohrwand. Als Mindestbewehrung wurden 0,2 % des Querschnitts vorgeschrieben.

Zwischen den 71 m langen Rohrstücken wurden Lücken von etwa 60 cm Länge gelassen, in die die benachbarten Längsbewehrungen hineinragten und endeten. Die Rohrstücke sind also ganz unabhängig voneinander; sie lagern auf dem durchlaufenden Betonbett auf. Dieses ist an den Lücken verdickt.

Nach der Betonierung sämtlicher 24 Rohrstücke, frühestens aber sechs Wochen nach ihrer Herstellung, erfolgte die Ausführung der Schlussteile gemäss der Abbildung 3. Die Schlussteile sind wie das laufende Rohr ringbewehrt und längsbewehrt. Für die geplanten Schlusstücke war besondere Sorgfalt am Platz.

Die volle 1 m Ueberschüttung der Rohrstücke sollte unmittelbar nach Einfügung der Schlussteile, die Ueberdeckung der Schlussteile sobald als möglich erfolgen.

Durch diesen Arbeitsvorgang war beabsichtigt, dass in den Rohrstrang nur mehr die Schwindspannungen gelangen, die aus der dem Einfügen der Schlussteile folgenden Schwindung entstehen; diese bewegen sich in bescheidenen Grenzen.

Die Füllung des Rohrstrangs mit Wasser sollte drei bis vier Wochen nach Fertigstellung der Schlussteile erfolgen und damit die Rissgefahr überwunden sein. Denn nunmehr begann der Beton durch Wasseraufnahme zu quellen und es stellte sich ein spannungsschwacher Zustand ein, der keine Neigung zur Rissbildung erwarten lässt.

Die aus den Wärmeänderungen entstehenden Längsspannungen sind von untergeordneter Bedeutung und werden von der Mindestbewehrung (0,2 %) aufgenommen, auch in den Schlussteilen.

Die Ausführung des Rohrstrangs wurde nach diesen Vorschlägen von den Wiener Bauunternehmungen Ast & Cie. und A. Porr bewerkstelligt (Abbildungen 4 bis 6). Die Betonierung erfolgte im Sommer und Herbst 1921, die Inbetriebsetzung des Kraftwerks im Jahre 1922. Die Herstellung des Rohrs ist vollständig gelungen.

Nach dem gleichen Arbeitsvorgang und den selben Grundsätzen für die Zerlegung des Rohrstrangs in einzelne Stücke mit Längsbewehrungen und mit durch Schlussteile zu schliessenden Lücken ist das Druckrohr für das Kraftwerk Blumau im Herbst 1922 und Frühling 1923 hergestellt. Bauherrin war die Staatsverwaltung, die ausführenden Betonbaufirmen wie im Föhrenwald Ast & Cie. und A. Porr. Das Rohr hat eine Lichtweite von 1,60 m und 14 bis 24 cm Wandstärke. Die Gesamtlänge des Rohrstranges beträgt 4,5 km, der Innendruck wächst vom Einlauf bis zur Turbine auf 28 m Wasserhöhe. Die Rohrstücke haben 91 m Länge und sind mit 0,29 bis 0,40 % längsbewehrt. Bei diesem Bau sind umfangreiche Versuche an Proberohren mit Innendruck bis zum Bruch ausgeführt worden.

Zur Höchstdruck-Dampf-Entwicklung.

Die Fortschritte in der Herstellung von hochwärmecbestandigen Maschinenbau-Materialien haben die Verwirklichung des Höchstdruckdampf-Problems näher gebracht. Eine Reihe von Dampfkraftanlagen mit 50 bis 100 kg/cm² Anfangsdruck und Dampftemperaturen bis über 500° C sind teils im Versuchstadium, teils haben sie bereits beträchtliche Betriebszeiten hinter sich. Der gesteigerte Wirkungsgrad mit Höchstdruckdampf-Betrieb tritt besonders bei den Gegen-Druck-Anlagen hervor, wo für relativ hochgespannten Abdampf Verwendungsmöglichkeit besteht, also bei geteilten Kolbenmaschinen und Turbinensätzen und in solchen Fabrikbetrieben, wo hochgespannter Dampf für Heizzwecke benötigt ist, z. B. in der chemischen Industrie.

Der Bau von Höchstdruck-Dampfmotoren bietet weniger Schwierigkeiten als der von Höchstdruck-Dampferzeugern. Von diesen sind in der letzten Zeit besonders der Atmos-Kessel von Ingenieur Blomquist („Z. V. D. I.“ vom 14. Februar 1925, Seite 169) und das Bensonsche Verdampfungsverfahren beim kritischen Druck („Z. V. D. I.“ vom 29. Dezember 1923, Seite 1148 und 1166) hervorgetreten.

Beim Atmos-Kessel wird das auf etwa 150° C vorgewärmte Speisewasser in wenigen, horizontal über dem Feuerrost angeordneten rotierenden Rohren in Dampf übergeführt. Der 1923 in der Carnegie-Zuckerraffinerie aufgestellte Kessel hat vier solche Verdampferrohre von 305 mm Aussendurchmesser, 10,5 mm Wandstärke und je 2500 mm Länge; die Rohre drehen sich mit rd. 300 Umdrehungen in der Minute, sodass das Wasser an die Wandung gepresst wird. An den Enden der Rohre vermitteln besonders gebaute Stopfbüchsen den Uebergang mit den stationären Sammelstücken. Zu beiden Seiten des Feuerraums, in den abfallenden Zügen, sind symmetrisch Ueberhitzer und darunter je zwei Vorwärmer eingebaut. Der den Rotoren entweichende Dampf von 100 at wird in den Ueberhitzern auf 390° C gebracht, wobei der Druck infolge der konstruktiven Ausbildung der Ueberführungstücke auf 90 at sinkt. Die Rostfläche beträgt 7,4 m², die Heizfläche der Vorwärmer 191 m², die der Rotoren 13 m², die der Ueberhitzer 8,5 m². Mit 1 kg Kohle von 6100 kcal/kg unterem Heizwert wurden 6,1 kg Dampf gewonnen, entsprechend ungefähr 275 kg/m² exponierter Rotor-Heizfläche. Die Konstruktion des Kessels, besonders die der Stopfbüchsen, scheint sich im allgemeinen gut bewährt zu haben.

Während der Atmos-Kessel sich durch die konstruktive Ausführung von den sonst üblichen Dampferzeugern unterscheidet, hat Benson ein prinzipiell neues Verdampfungsverfahren in grossem Versuchsmassstab angewendet. Um die heftige Dampfenwicklung in Rohrschlangenkesseln, und die dabei auftretenden Stösse zu vermeiden, speist er Wasser beim kritischen Druck von 225 at in die Verdampfer-Spiralen. Bei diesem kritischen Druck sind die spezifischen Volumina von Wasser und gesättigtem Dampf gleich gross (0,0031 m³/kg); es findet daher bei der Verdampfung keine Volumenänderung statt. Der ölgefeuerte Benson-Kessel der Versuchsanlage in Rugby (England) leistet etwa 1500 PS; 30 % davon wird in einer Hochdruck-Turbine bei einem Druckgefälle von 100 auf 14 at ausgenützt, 70 % in der Niederdruck-Turbine bis auf 96,7 % Vakuum. Der Kessel besteht aus mehreren parallel geschalteten Rohrwindungen von 20,3/30,5 mm Durchmesser, die allseitig vom Feuer bespült werden; zwischen den Rohrwindungen sind Schamotte-Teilungen. Das Speisewasser wird von einer elektrisch angetriebenen Kolbenpumpe in den untern Teil der Rohrwindungen gedrückt, die Feuergase durchströmen sie im Gegenstrom. In etwa 1/10 Höhe der Rohre ist die kritische Temperatur von 374° C erreicht; am Auslass der Rohre herrscht leichte Ueberhitzung, und der Dampf gelangt nun in die ähnlich wie die Kesselwindungen ausgebildeten und darüber angeordneten Ueberhitzer, wo er unter Expansion von 225 at auf 105 at, auf etwa 450° C erhitzt wird. Am Eintritt der Hochdruck-Turbine hat er noch 420° C; vor

mittels Gleichung (1) für den Tagesbetrieb, und mittels Gleichung (2) für den Jahresbetrieb, sofort implizite dargestellt werden; die explizite Auswertung kann aber wegen der verwinkelten Funktionen in (1) und (2) nicht allgemein mit der wünschenswerten Einfachheit analytisch dargestellt werden, weshalb wir in der Folge eine Darstellung auf Grund zahlenmässiger Auswertung durch Kurven veranschaulichen werden. Zur Bildung dieser Kurven muss nichtsdestoweniger die numerische Auswertung der Gleichungen (1) und (2) vorgenommen werden, wozu nun, eben wegen der verwinkelten Funktionen in (1) und (2), nicht die direkte Auswertung dieser Gleichungen, sondern die sukzessive Berechnung aufeinanderfolgender Werte w_x nach dem Schema:

$$w_{x+1} = w_x \cdot \varphi(x)$$

in Betracht fällt, die übrigens mit dem Rechenschieber möglich ist.

Im Falle der Untersuchung des Tagesbetriebs kann an Stelle der Auswertung von Gleichung (1) das Berechnungsschema

$$w_{x+1} = w_x \frac{N-x}{x+1} \frac{t}{1-t}$$

verwendet werden, wobei mit:

$$w_0 = (1-t)^N, \text{ gemäss } x=0$$

zu beginnen ist, und wobei alle Werte bis und mit:

$$w_x'' = \tau$$

zu ermitteln sind.

Im Falle der Untersuchung des Jahresbetriebs kommt an Stelle von Gleichung (2) der Ansatz:

$$w_{x+1} = w_x \frac{y}{x+1}$$

in Betracht, wobei gleich mit dem Werte

$$w_x' = w_y$$

begonnen werden kann, für den ein äusserst genauer Näherungswert:

$$w_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi y}}$$

besteht; die Rechnung ist dann wieder mit:

$$w_x'' = \tau$$

ans Ende gelangt.

Bevor wir nun die Ergebnisse solcher Berechnungen zur Bildung von Kurven

$$K = f(y)$$

verwenden, möge noch darauf hingewiesen werden, dass die richtige Annahme der Zeit τ , während welcher gerade x'' Zugseffekte zur Kumulation gelangen, für den Wert des Verfahrens entscheidend ist. Auf Grund zahlreicher Beobachtungen von direkt zeigenden und auch von registrierenden Leistungsmessern in Bahnkraftwerken und sonstigen elektrischen Zentralen haben wir erkannt, dass zur Bildung und für die Dauer der Leistungsmaxima mehrere Sekunden in Frage kommen. Wir benützen deshalb nachstehend stets den Wert:

$$\tau = 0,73 \cdot 10^{-4} \text{ Tage} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ Jahre.}$$

Da also für den Tagesbetrieb w_x bis zum Werte $0,73 \cdot 10^{-4}$, für den Jahresbetrieb dagegen bis zum Werte $0,2 \cdot 10^{-6}$ zu berechnen ist, und da weiter, für gleiche Werte

$$y = Nt,$$

die Werte w_x gleicher Indices nach (1) und nach (2) nur wenig differieren, so ergeben sich notwendigerweise im Jahresbetrieb stets höhere Schwankungsverhältnisse K , als im Tagesbetrieb.

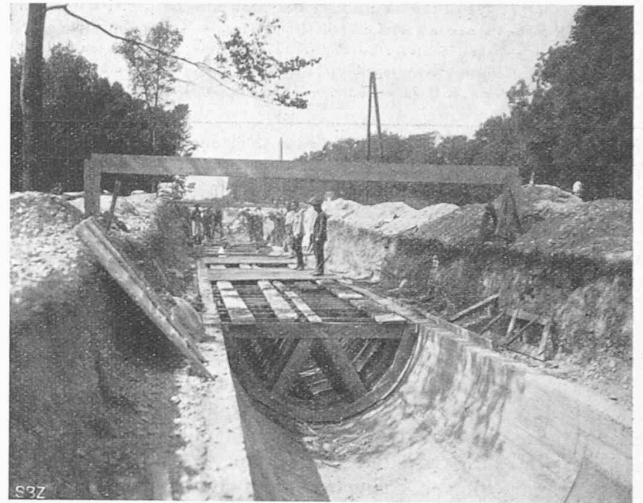


Abb. 4. Sohle des Rohrstrangs.

Zur Aufstellung unserer Kurven:

$$K = f(y)$$

denken wir uns nun das selbe Bahnnetz zu Grunde gelegt, an dem wir bei der Abfassung unserer Abhandlung von 1916 das Probiervfahren zur Anwendung gebracht hatten. Dabei kann nun mit einem Mittelwert:

$$t = 0,04 \text{ Tage}$$

gerechnet werden, und es kommen Werte N von 0 bis 625 in Betracht, die Werte y von 0 bis 25 im Gefolge haben; die Einzelwerte t und N sind übrigens nur für den Tagesbetrieb von Belang, während für den Jahresbetrieb angenommene Werte y universell verwendet werden können; man muss allerdings wissen, welche Zahlenwerte die Grösse y praktisch annehmen kann. Für das zu Grunde gelegte Bahnnetz entspricht der Einheit $y = 1$ gerade ein Jahresverkehr an Gesamtzuggewicht von 100 Millionen tkm, derart, dass der grösste zu berücksichtigende Verkehr, bei $y = 25$, der Verkehrszahl 2500 Millionen tkm entspricht. Bei Durchführung der Rechnung erhalten wir nun die in der nebenstehenden Abbildung dargestellten Kurven von K , für den Tages- und für den Jahresbetrieb. Berücksichtigt man, dass hier die Werte K die Schwankungswerte in der Zentrale bedeuten, während wir 1916 nur die meist um 10 % höheren Schwankungswerte k am Radumfang vollständig ermittelten und für den Jahresverkehr auch kurvenmässig abbildeten, so erkennt man die gute Uebereinstimmung des vorliegenden analytischen Verfahrens mit dem frühern Probiervfahren zur Bestimmung des Schwankungsverhältnisses des Kraftbedarfs der elektrischen Zugförderung.

Es liegt auf der Hand, dass das hier entwickelte analytische Verfahren zur Bestimmung der Verhältnisse K auf alle Zentralanlagen ausgedehnt werden kann, in denen die Kenntnis der Schwankungen im Kraftbedarf von praktischer Bedeutung ist. Bei einzelnen Zentralanlagen, insbesondere bei den gewöhnlichen elektrischen Anlagen zur Licht- und Kraftverteilung, ist die Zahl N der in der Zeit t zur Funktion während je einer mittleren Zeit t kommenden Leistungsverbraucher nicht identisch mit der Zahl Z der zum Netze gehörenden Abonnenten. In diesem Falle kann man an der Gleichung (1) eine Modifikation vornehmen, wobei die Grösse

$$s = \frac{Nt}{Z} = \frac{y}{Z}$$

einzuführen und für Gleichung (1) zu schreiben ist:

$$w_x = \left(\frac{Z}{x} \right) s^x (1-s)^{Z-x}.$$

Die Weiterbehandlung ergibt sich dann analog wie oben und führt auf das Schwankungsverhältnis im Tagesverkehr oder auf das Schwankungsverhältnis im Jahresverkehr, je nach Formelbildung und Wahl der Zeiteinheit.