

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della
Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 103 (1922)

Vereinsnachrichten: Sektion für Ingenieurwissenschaft

Autor: [s.n.]

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

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

15. Sektion für Ingenieurwissenschaft

Samstag, den 26. August 1922

Einführender u. Präsident: OBER-ING. O. LÜTSCHG (Bern)

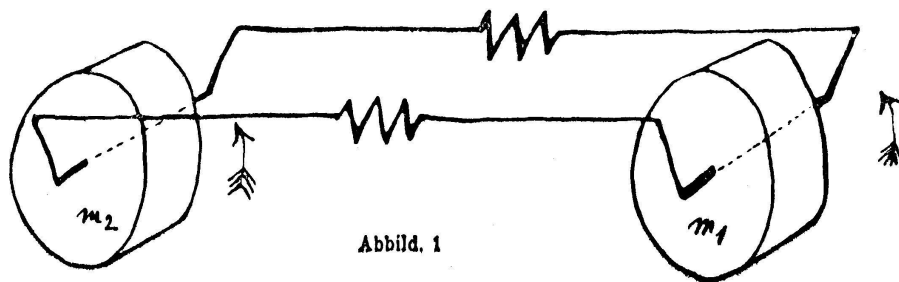
Sekretäre: ING. FRANZ KUNTSCHE (Bern)

ING. BRUNO LEHMANN (Bern)

1. W. KUMMER (Zürich). — *Die kritischen Drehzahlen der Parallelkurbelgetriebe elektrischer Lokomotiven.*

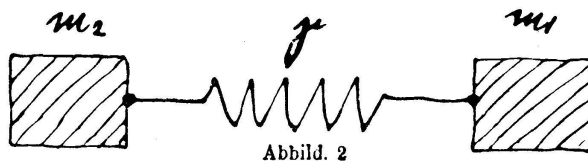
Die heutige Maschinenberechnung hat mit der üblich gewordenen, weitgehenden Materialausnützung grössere Maschinen stets auf die Möglichkeit des Auftretens von bruchgefährlichen Drehzahlen zu prüfen. Solche gefährliche Drehzahlen sind erstmals, und zwar ausgelöst durch Biegungsbeanspruchung, bei Dampfturbinen beobachtet worden. Viel später, ausgelöst durch Drehungsbeanspruchung, zeigten sie sich beim Antrieb von Schiffspropellern. Schliesslich ergab die Anwendung von Kurbelgetrieben auf den Antrieb elektrischer Lokomotiven eine dritte Art kritischer Drehzahlen. Während sich die frühern Arten kritischer Drehzahlen auf Grund der Annahme harmonischer Schwingungen stets genau beurteilen und bekämpfen liessen, führte die Untersuchung der Schwingungserscheinungen der Parallelkurbelgetriebe zur Erkenntnis, dass die bezüglichen Schwingungen grundsätzlich keine harmonischen seien. Nichtsdestoweniger legen wir auch diesen, praktisch ebenfalls erfolgreich überwundenen Schwingungen, zunächst die Annahme einer harmonischen Oszillation zugrunde, um hierauf weitere Hypothesen über ihre Natur zu erörtern, wobei aber stets nur dämpfungsfreie Systeme betrachtet werden.

a) *Die Annahme harmonischer Schwingungen.* Diese Annahme erscheint zulässig für eine Auffassung des Parallelkurbelgetriebes nach dem



Abbild. 1

Schema der Abb. 1, die die gesamte, im Triebwerk vorhandene Elastizität in die Kurbelstangen verlegt. Es kann dann das dynamische Schema des Zweimasse-Systems nach Abb. 2 verwendet werden, dessen elastisches



Glied durch die im Längenmass pro Kräfteinheit gemessene Grösse γ gegeben ist, und das bei Abwesenheit von Dämpfung die Eigenschwingungszahl elastischer Oszillationen:

$$V_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

aufweist. Nun ist wesentlich die Erkenntnis, dass die elastischen, hin- und hergehenden Oszillationen in Resonanz geraten können mit dem, gemäss dem Triebwerk, hin- und hergehenden Impuls der Kraftübertragung durch die Stangen. Offenbar wird mittelst der Stangenkräfte S_1 und S_2 und des Kurbelradius r ein Drehmoment M nach der Beziehung:

$$M = r \cdot (S_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) + S_2 \cdot \cos(\omega \cdot t))$$

übertragen, wobei für konstantes M und für ideale Symmetrie, ideale Getriebeausführung und idealen Getriebezustand:

$$S_1 = S \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad S_2 = S \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$M = r \cdot S \cdot (\sin^2(\omega \cdot t) + \cos^2(\omega \cdot t))$$

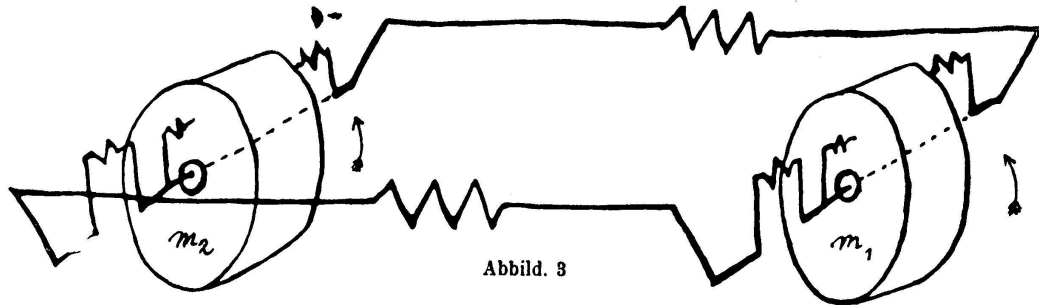
zu setzen ist. In jeder Getriebeite sind also erzwungene Schwingungen möglich, gemäss einer Störungsfunktion, die proportional $\sin^2(\omega \cdot t)$ oder proportional $\cos^2(\omega \cdot t)$ sein muss; d. h. es gibt eine erzwungene Frequenz:

$$V_K = \frac{1}{2\pi} \cdot 2\omega.$$

Ist nun die Symmetrie, die Getriebeausführung oder der Getriebezustand nicht mehr ideal, so verliert M von Welle zu Welle die Konstanz, und treten weitere erzwungene Schwingungen hinzu. Die Rücksicht auf Lagerspiel und Stangen-Längenfehler, bei Annahme genügend konstant bleibender Winkelgeschwindigkeit ω führt, wie wir gezeigt haben,¹ auf mehrere Werte V_K vom Betrage: $\frac{1}{2\pi} \cdot 4\omega$, $\frac{1}{2\pi} \cdot 2\omega$ und $\frac{1}{2\pi} \cdot \omega$, die bei Übereinstimmung mit V_e kritische Drehzahlen ergeben, und die also aus der Eigenschwingungszahl durch Division mit 4, mit 2 und mit 1 erhältlich sind.

¹ Elektrotechn. Zeitschrift 1915, S. 311.

b) *Die zeitliche Veränderlichkeit der Getriebe-Elastizität.* Offenbar ist die Annahme der Konzentration der Elastizität nach Abb. 1 unzutreffend, und ist dieses Schema nach Abb. 3 abzuändern; dieses weist



Abbild. 3

nun dreierlei Elastizitäten auf, nämlich solche, die den Stangenkräften proportional sind, solche, die dem Drehmoment einer einzelnen Getriebe-seite, und solche, die dem Gesamtdrehmoment proportional sind. Von einer während der Umdrehung konstanten Elastizität kann also nicht mehr die Rede sein. Im Zweimasse-System nach Abb. 2 muss also das elastische Glied statt durch eine Konstante durch eine mehr oder weniger komplizierte Funktion der Zeit gekennzeichnet werden. Eine elementare Behandlung des Problems ist nicht mehr möglich; an ihrer Stelle kann mit grösserer oder kleinerer Annäherung graphisch, z. B. nach A. C. Couwenhoven,¹ oder analytisch nach K. E. Müller,² sowie nach H. Parodi³ vorgegangen werden. Die analytische Behandlung ist auf Grund stetiger Funktionen nur bei nicht vorhandenem Lagerspiel möglich. Dabei ergibt nun die Analysis, dass es in jedem Betriebszustand ganze Gebiete von kritischen Drehzahlen gibt, an deren Grenzen periodische Eigenschwingungen, bzw. kritische Drehzahlen auftreten, deren Frequenzen V beim Zweimassen-System nach K. E. Müller von der Form:

$$V = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

sind, wobei für μ die Reihe:

$$\mu = 1, 2, 3, 4, \dots n$$

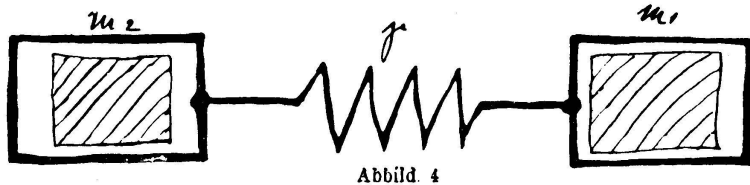
gilt, und wobei K einen Korrektionsfaktor in der Gegend von ± 1 , wiewohl stets < 1 , bedeutet. Es liegt nahe, in Anlehnung an die Betrachtung der harmonischen Schwingung V mit V_K zu identifizieren, da durch irgendwelche zusätzliche Störungsfunktion keine neuen kritischen Drehzahlen erzeugt werden; als V_e kann dann: $V_e = V_K \cdot \mu$ gelten. Eine Ausdehnung dieser Betrachtungen auf Getriebe mit Lagerspiel ist deshalb bedeutungslos, weil, wie gleich gezeigt werden wird, beim Lagerspiel eine durchaus neue Schwingungserscheinung hinzutritt.

¹ Forschungsarbeit Nr. 218 des Vereins deutscher Ingenieure.

² Schweizerische Bauzeitung, September und Oktober 1919, März 1920.

³ Revue générale des Chemins de fer, März 1922, S. 177—213.

c) *Die Resonanzschwingung beim Lagerspiel.* Dass bei genügend grossem Lagerspiel zeitweilig überhaupt jede kraftschlüssige Verbindung zwischen Getriebeteilen unterbleibt und dabei den Massen neue Schwingungsmöglichkeiten offen stehen, ist erstmals von A. Wichert¹ erkannt worden; die bezügliche Idee hat dann durch K. E. Müller² weitem Ausbau erfahren. Unser Zweimasse-System nach Abb. 2 ist dazu in ein solches gemäss unserer Abb. 4 überzuführen. Wenn dabei die



Massen den Spielraum $2 \cdot \frac{a}{2}$ bei jedem Hin- und Hergang frei durchfliegen, so bewirkt dies eine Verlängerung der Schwingungszeit, die mit a wächst, mit der Schwingungsamplitude A aber wieder abnimmt. Bei konstanter Elastizität ergibt sich dann eine, durch Spiel beeinflusste Eigenfrequenz V_e^* , die mit der spielfreien, harmonischen Eigenfrequenz V_e durch:

$$V_e^* = V_e \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{\pi \cdot A}}$$

verknüpft ist.³ Die durch den freien Spielraum ermöglichte neue Resonanzschwingung ist nun dadurch gekennzeichnet, dass die unendlich vielen Resonanzgeschwindigkeiten, mit denen die konstante Spielweite a durchschritten werden kann, Frequenzen, bzw. kritische Drehzahlen V_K bedingen, die zu V_e^* proportional gemäss einem, die Reihe 1, 2, 3, n enthaltenden Multiplikator sind. Es gilt damit die Beziehung:

$$V_e^* = V_K \cdot \mu^*$$

wobei:

$$\mu^* = 4 \cdot \left(\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} \dots \frac{1}{n} \right)$$

ist und der Faktor 4 der Anwendung der Abb. 4 auf das Getriebe nach Abb. 1 entspricht, bei dem pro Umdrehung das Spiel viermal durchschritten werden muss.

d) *Die kombinierte Wirkung von Lagerspiel und variabler Elastizität.* Verbindet man das Schema der Abb. 4 mit demjenigen der Abb. 3, so bedeutet dies die Vereinigung der Wirkungen des Lagerspiels und

¹ Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen, 1914, S. 225.

² Vgl. frühere Fussnote.

³ Einen ähnlichen Zusammenhang findet J. Döry, indem er die Spielwirkung wie eine Dämpfung behandelt, vgl. Elektrotechn. Zeitschrift 1920, S. 313.

derjenigen variabler Elastizität. Obwohl, mathematisch, das Superpositions-gesetz für die dabei auftretenden resultierenden Schwingungen nicht gilt, so dürften dennoch die unter *b* und unter *c* beschriebenen Erscheinungen gleichzeitig auftreten. Es dürfte also gegenüber der harmonischen Schwingung eine, aus doppeltem Grunde verkleinerte Eigenfrequenz auftreten und dürften weiterhin kritische Drehzahlen zu erwarten sein, die aus der Eigenfrequenz durch Division mit den Zahlen einer der Reihen:

$$\begin{cases} \mu = 1, 2, 3, 4, 5 \dots n \\ \mu^* = 4 \cdot \left(\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots \frac{1}{n} \right) \end{cases}$$

erhältlich sind. Der, den beiden Reihen gemeinsamen Zahlengruppe 4, 2, 1, die übrigens identisch ist mit der unter *a* auf Grund der Annahme harmonischer Schwingungen gefundenen, kann a priori, als offenbar besonders wichtiger Gruppe, eine grosse Häufigkeit des Auftretens zuerkannt werden.

Auf experimentellem Wege lassen sich nun gerade die Zahlen μ , bzw. μ^* , am leichtesten kontrollieren. Unter den bezüglichen Messgeräten dürfte der von J. Geiger erfundene Torsiograph¹ besonders geeignet sein. Daneben können auch gleichzeitige Leistungs- und Drehzahlmessungen, wie solche an einem Modell von K. E. Müller vorgenommen wurden, guten Aufschluss geben. Aus den bisher bekannt gewordenen Messungen schliessen wir, die Zahlen 4, 2, 1 seien in der Tat besonders wichtig, und die Reihe μ sei überhaupt wichtiger als die Reihe μ^* .

2. K. W. WAGNER (Berlin-Lankwitz). — *Der physikalische Vorgang beim elektrischen Durchschlag von festen Isolatoren.*

Es wird davon ausgegangen, dass die elektrische Leitfähigkeit an einzelnen Stellen im Isolierstoff von vornherein etwas höher ist als ihr Durchschnittswert. Wird das Material einer elektrischen Spannung ausgesetzt, so werden jene Stellen eine höhere Stromdichte führen und infolgedessen stärker erwärmt werden als die übrigen Partien des Isolierstoffs. Mit steigender Temperatur wächst die Leitfähigkeit, die ursprünglich vorhandenen Unterschiede in der Leitfähigkeit werden daher beim Stromdurchgang vergrössert. Solange die mit der höheren Temperatur steigende Wärmeabfuhr zur Umgebung der Erwärmung durch den Strom die Wage hält, bleibt der Zustand stabil. Erhöht man die Spannung weiter, so tritt aber schliesslich ein labiler Zustand ein, der Strom schwillt lawinenartig an und das Material verbrennt. Durch diese Erklärung wird der bisher rätselhafte Vorgang des elektrischen Durchschlags auf wohlbekannte physikalische Erscheinungen zurückgeführt und damit zugleich der quantitativen Behandlung zugänglich gemacht.

¹ Schweiz. Bauzeitung 1922, Band LXXX, S. 80.

Zur Erforschung des Durchschlagsphänomens wurden zahlreiche Versuche ausgeführt. Die Strom-Spannungskennlinie von verschiedenen Glassorten, Glimmer, Gummi, Guttapercha, Zellstofffabrikaten, Papier, Ölpapier und Paraffinpapier wurde bis über den Durchschlagspunkt hinweg aufgenommen. Die aus der Kennlinie ermittelte Durchschlagspannung ist streng proportional der Schichtdicke und unabhängig von der Platten-grösse. Bei dem üblichen Durchschlagsverfahren zwischen Metallelektroden nimmt bekanntlich die Durchschlagspannung wegen der Randwirkung langsamer zu als die Dicke; wegen der Ungleichförmigkeit des Materials ist ferner die mittlere Durchschlagspannung für grosse Elektroden geringer als für kleine.

Bei Wechselstrom ist der Effektivwert der Spannung massgebend für den Durchschlag. Unter Verwendung sehr spitzer Kurven lässt sich daher das Material während kurzer Zeit weit über die Durchschlagsgrenze beanspruchen. Mit steigender Frequenz nimmt die Durchschlagspannung infolge der Zusatzheizung durch dielektrische Verluste ab.

Beim Anlegen einer über der Durchschlagsgrenze liegenden Spannung schlägt der Isolierstoff nicht sofort durch; es vergeht vielmehr eine gewisse Zeit. Sie lässt sich als Funktion der Spannung durch die thermischen Konstanten des Isolierstoffs ausdrücken.

Nach den bisher verbreiteten Vorstellungen der sogenannten elektrischen Festigkeitslehre soll bei ungleichförmiger Beanspruchung der Isolierstoff durchschlagen, sobald irgendwo die elektrische Feldstärke einen gewissen Grenzwert überschritten hat. Diese Behauptung, die der Erfahrung vielfach widerspricht, lässt sich auch mit der hier vertretenen Anschauung nicht vereinbaren. Wird nämlich das lawinenartige Anschwellen des Stromes in der überbeanspruchten Stelle durch die in der Strombahn liegenden weniger beanspruchten Partien des Isolierstoffs verhindert, so wird die Beanspruchung ohne jeden Schaden vertragen. Der Durchschlag tritt erst dann ein, wenn der Zustand für die ganze Strombahn labil geworden ist.

3. BRUNO BAUER (Bern). — *Einige technisch-wissenschaftliche Probleme der modernen Energie-Erzeugung und Verteilung.*

Der Referent verweist auf die heutige Wirtschaftslage, auf die Notwendigkeit der gesicherten Elektrizitätsversorgung der Schweiz. Er berührt die neuen Aufgaben wirtschaftlicher Art in der Elektrizitäts-Erzeugung und -Verteilung, die Entwicklung in Richtung eines organisierten Zusammenschlusses der Elektrizitätswerke. Zu diesem Zwecke werden grosse Sammelnetze gebaut, welche die Elektrizitäts-Erzeugung und -Verteilung im grossen zusammenfassen.

Der Referent tritt hierauf auf die physikalischen Eigenschaften und Vorgänge solcher zusammengelegter Betriebe ein. Er erinnert an die den Krafterzeugungs und -verteilungsprozess regierenden Gesetze. Es werden die mit der grossen Ausdehnung solcher Hochspannungsnetze im Zusammenhang stehenden Begleiterscheinungen diskutiert und die hieraus entstehenden Störungsmöglichkeiten für den Betrieb der Anlagen

behandelt. Es zeigt sich, dass hierin noch manche Aufgabe ungelöst ist; eingehende Forschungen nach verschiedener Richtung hin sind notwendig, um künftig allen Anforderungen an die Betriebssicherheit solcher grossen Anlagen gerecht werden zu können.

4. HANS ROTH (Bern). — *Die hydraulischen Grundlagen für den Zusammenschluss der schweizerischen Kraftwerke.*

In den meisten schweizerischen Kraftwerken stehen Wasserkraftmaschinen zur Erzeugung elektrischer Energie im Betriebe. — Es ist somit nicht der Brennstoff, sondern das Wasser die treibende Kraft. — Dasselbe wird von den weiten Flächen des Meeres durch die Bewegung der Luft fortgeführt und bis hinauf auf die Höhen der Berge getragen. Von dort aus fliesst es in Bächen und Flüssen talauswärts und wird unterwegs vom Menschen auf Maschinen geleitet, worauf es nach Verrichtung von Arbeit wieder dem Meere zuströmt.

Diese ganze Bewegung vom Meer zu den Bergen und umgekehrt, die einem riesigen Schöpfwerk verglichen werden kann, gilt es in allen Details zu erfassen, damit die vielen Maschinen für die Energieversorgung vom Techniker am richtigen Platz und in richtiger Grösse aufgestellt werden können.

Vorliegende Untersuchung befasst sich nur mit dem zweiten Teil der Bewegung: mit dem Rückströmen des Wassers zum Meere und hat zum Ziel das Regime der Gewässer zu ermitteln, um daraus Schlüsse für die Zusammenarbeit der Werke zu ziehen.

Allgemein wird angenommen, dass der Abfluss eines Gewässers von den Faktoren Niederschlag, Verdunstung und Versickerung abhängt. Untersuchen wir aber die Schwankungen in der Wasserführung unserer Hochgebirgsflüsse, der einen Kategorie unserer Gewässer, dann finden wir, dass nicht der Niederschlag, sondern die Lufttemperatur den wesentlichsten Einfluss auf die Schwankungen ausübt. Die Wasserführung ist daher eine relativ gleichmässige und weist jeden Sommer annähernd um dieselbe Zeit ein Maximum auf. Im Winter erfolgen die Niederschläge als Schnee und bleiben monatelang liegen. — Die Natur ist scheinbar tot. — Die Gebirgsflüsse werden nur noch von Quellen gespiesen, und es nehmen deren Wassermengen in der Regel bis Mitte März stetig ab.

Die Mittellandflüsse, als zweite Kategorie, deren Abflussschwankungen in der Regel den Niederschlägen entsprechen, nehmen dagegen im langjährigen Durchschnitt infolge Föhn- und Westwindstörungen von Ende Herbst bis in den April stets, wenn auch nur langsam, zu.

Die mit vorrückendem Winter erfolgende Wasserzunahme in den Mittellandflüssen sollte daher die zahlreichen Werke an den Hochgebirgsflüssen, deren Mengen fortwährend abnehmen, zu einem Zusammenschluss mit den Werken an den Mittellandflüssen veranlassen. Im allgemeinen ändert aber die Wasserführung zu letzteren Werken mit dem Wetter, sodass ohne Staubecken oder ohne Anschluss an andere Werke

die selbständige Versorgung grösserer Gebiete aus den Werken der Mittellandflüsse allein nicht möglich ist. Ein Anschluss ist zumeist aus diesem Grunde erfolgt. Wenn nun zugleich mit dem Zusammenschluss aller Werke eine zweckdienliche Organisation geschaffen würde, dann könnte nebstdem im Winter bei Regenwetter in den Seen und Stau-becken viel Wasser für kältere Tage aufgespeichert werden. Über diese Zeit müssten natürlich die Werke an den Mittellandflüssen voll in Betrieb gesetzt werden, um den andern Werken den Kraftausfall infolge des Wasserrückhaltes in den Seen zu ersetzen.

Wir wissen ferner, dass die Gewässer Mittel-Italiens, sowie die Flüsse Südwest-Deutschlands und Frankreichs mit Ausnahme der Alpenflüsse ein ähnliches, aber noch ausgeprägteres Regime aufweisen wie unsere Mittellandflüsse. Die Maxima sind im Winter, die Minima im Sommer. Unseren vielen an den Hochgebirgsgewässern errichteten Kraftanlagen böte sich daher Gelegenheit, die grossen Wassermengen des Sommers zu benützen und Energie in das umliegende Ausland auszuführen. Bevor jedoch die Energie in wenigen Hauptsträngen dem aufnahmefähigen Ausland abgegeben werden kann, muss dieselbe aus den verschiedenen Gegenden der Schweiz gesammelt und für den Transport umtransformiert werden. Der infolge verschiedener hydraulischer Grundlagen mögliche Export von Energie erfordert aus technischen Gründen den Zusammenschluss der exportfähigen Kraftwerke.

Die schweizerischen Kraftwerke könnten ihre Anlageteile dann am besten ausnützen, wenn alle Werke gemäss den ermittelten hydraulischen Grundlagen zusammenarbeiten und sich gegenseitig aushelfen würden.

5. S. BITTERLI (Rheinfelden). — *Messen und Teilen von Wasser in Niederdruckanlagen.*

Im umfangreichen Gebiete der Hydrometrie, der Wassermesskunst, bilden die Wassermengenbestimmungen für sich einen grossen Abschnitt. Ein besonderes Kapitel dieses Abschnittes nimmt die Wassermengenbestimmung für Turbinen von Wasserkraftanlagen in Anspruch. Die Wasserkraftanlagen selber sind Dienerinnen des wirtschaftlichen Lebens und deshalb haben Turbinen-Wassermessungen, welche die Fragen nach dem Wirkungsgrad der Turbinen beantworten sollen, nicht nur technische, sondern überwiegend wirtschaftliche Bedeutung. Bei den Turbinen-Wassermessungen beschränke ich mich in meinen Ausführungen auf grosse Niederdruckanlagen, im besonderen auf Arbeiten, welche für die Kraftwerke Rheinfelden und Augst-Wyhlen in Betracht kamen.

Es ist uns die Aufgabe gestellt, die Anzahl m^3 Wasser zu bestimmen, welche in einer Sekunde einen gegebenen Querschnitt durchfliessen. Die Wasserführung in der Turbinenanlage, vom Eintritt des Wassers vom gestauten Oberwasser an gerechnet, in die Turbinenkammer, die Wasserführung in der Turbinenkammer zu den Leiträdern oder Leitapparaten und dann der Austritt des in den Laufrädern ausgenützten Wassers in das Unterwasser muss den Anforderungen der grössten Wirtschaftlichkeit der Kraftnutzung genügen. In der Regel

kann deshalb nicht mit gerne gesehener Rücksichtnahme auf besonders gut geeignete Querschnitte für die Ausführung von Wassermessungen gerechnet werden, was die vorzunehmenden Arbeiten oft erschwert. Eventuell kann ein gegebener Querschnitt durch geeignete Einbauten zweckdienlich hergerichtet werden.

Das uns gegebene Querprofil teilen wir in eine den örtlichen Verhältnissen angepasste Anzahl Vertikalen ein. Mit dem Woltmann'schen Flügel, dessen Kontaktrad wir für elektrische Glockensignale nach je 25 Flügeltouren einstellen, messen wir in einer möglichst grossen Anzahl von Punkten jeder Vertikalen die Wassergeschwindigkeiten, verstanden als Durchschnittswerte aus einer Messdauer von einer Minute für einen Punkt. Für jede Vertikale werden die ermittelten Werte als Vertikalgeschwindigkeitspolygone graphisch aufgetragen. Diese letzteren werden planimetriert und die so erhaltenen Werte in das Querprofil übertragen, wodurch die Wassermengenfläche entsteht, welche uns die Anzahl m^3 Wasser per Sekunde angibt. Während der Dauer der Wassermessung werden die Wasserspiegel des Oberwassers und des Unterwassers alle fünf oder alle zwei Minuten abgestochen, um genaue Angaben über die Gefällsverhältnisse zu erhalten. Gleichzeitig werden mit eingebauten Präzisionsinstrumenten Messungen der elektrischen Leistung der untersuchten Maschineneinheit durchgeführt.

Die Wassermessungsergebnisse selber dürfen nicht ohne kritische Prüfung hingenommen werden. Dieselben haben der elementaren Forderung zu genügen, dass sie physikalisch möglich sein müssen. Ist diese Forderung erfüllt, so muss weiter verlangt werden, dass die Ergebnisse einer Serie von Wassermessungen bei verschiedener Beaufschlagung einer Einheit zwanglos eine stetig verlaufende Kurve ergeben. Erst nachher darf über die absoluten Zahlenwerte geurteilt werden. Für mich gehören diese Bedingungen bereits zu den Voraussetzungen für die Wasserteilung.

Die qualitativ gute Ausführung von Wassermessungen stellt, hauptsächlich bei grosser Kälte, ausserordentlich grosse physische Anforderungen, abgesehen davon, dass die Durchführung der Arbeit auf alle Fälle grosse Hingabe erfordert. Deshalb lag es nahe, nach zwei Richtungen Erleichterungen und Fortschritte zu suchen.

In erster Linie erschien es nützlich, von den bereits zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln die beste Verwendung anzustreben. Für unseren internen Gebrauch hatte ich schon vor Jahren für die Ausführung von Wassermessungen folgende besondere Instruktion gegeben:

„Um mit grösster Wahrscheinlichkeit ein gutes Gelingen der Wassermessungen erwarten zu können, müssen einige Vorbedingungen erfüllt sein, die teilweise als selbstverständlich oder nebensächlich nicht einmal beachtet oder als kleinlicher Auffassung entspringend, angesehen werden. Das ist durchaus falsch. Von höherer Gewalt abgesehen, können Kleinigkeiten wirklich grosse Störungen der Wassermessungen verursachen. Wir wollen kurz auf folgendes aufmerksam machen:

Die Öffnung des Leitapparates der Turbine muss während der Dauer einer Messung unbedingt konstant sein.

Das Gefälle soll möglichst konstant gehalten werden können. Von Wasserstandsschwankungen abgesehen, die sich der Beeinflussung durch das eigene Werk entziehen, wird die Wassermessung während einer Tageszeit mit möglichst gleichbleibender Werkbelastung ausgeführt. Dadurch wird für die Ausnützung möglichst konstanten Gefälles das Notwendige getan. Ideal wäre es, wenn während der Dauer einer Messung der Oberwasserspiegel genau im Sinne und in der Grösse der Schwankungen des Unterwassers einreguliert werden könnte.

Die Wassermessung muss, selbstverständlich bei durchaus zuverlässiger Aufnahme, in ununterbrochener Arbeit in möglichst kurzer Zeit durchgeführt werden. Alles aufzuzählen, was hier eingereicht werden könnte, würde wohl zu weit führen. Zu den tadellos zu besorgenden Vorbereitungen gehört auch, dass der Wassermessungsflügel nie aus der Hand gegeben wird; selber reinigen, ölen, nachsehen und probieren. Die Elemente für die elektrischen Signale müssen vor den Messungen kontrolliert, eventuell durch kontrollierte neue Elemente ersetzt werden. Mit ungeübtem Bedienungspersonal ist vor der Wassermessung Wassermessungs-Soldatenschule zu betreiben. Die Wassermessung selber dient nicht dazu, „etwas zu probieren“.

Durch geeignete Betriebsdispositionen lassen sich oft die Wasserströmungen günstig beeinflussen. Darüber wird von Fall zu Fall entschieden werden müssen.

Von den Wassermessungen muss alles fern gehalten werden, was dieselben irgendwie stören könnte. “

Schliesslich sei erwähnt, dass eine allgemeine Stellungnahme und Kritik der Wassermessungen möglich sein wird, sobald die Arbeiten der Kommission für Normen für Wassermessungen und Abnahmeversuche des Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Vereins vorliegen werden.

In zweiter Linie wurde nach rascheren Messverfahren oder besseren Messeinrichtungen gesucht. Herr Prof. Reichel, Berlin, hat im Laboratorium schon vor Jahren eine mehrflügelige Anordnung benützt, um das beispielsweise zu erwähnen, die jedoch bei grossen Niederdruckanlagen meines Wissens nie verwendet wurde. Neuerdings sind Bemühungen, einen Wassermessungsflügel für direkte Ablesung von Momentanwerten herzustellen, zu einem ersten Abschluss gelangt. Eine Publikation über dieses Instrument, Dynamoflügel genannt, ist in Vorbereitung. Dasselbe wird so ausgebaut und vervollkommen werden können, dass es sich besonders auch für Untersuchungen über Pulsationen bewegten Wassers eignen wird. Für die Benützung des Dynamoflügels für Wassermessungen an grossen Niederdruckturbinen ist ein Ausbau für direkte Aufzeichnung der Vertikalgeschwindigkeitspolygone möglich. Es ist notwendig, dass Vergleichsmessungen zwischen Woltmann'schem Flügel und dem Dynamoflügel durchgeführt werden und zwar nicht nur in Laboratorien und Versuchsanstalten, sondern auch bei Niederdruckanlagen. Der Dynamoflügel wird ein leichteres und rascheres Arbeiten ermöglichen. Dadurch könnten viel mehr Wassermessungen ausgeführt werden, als das unter bisherigen Verhältnissen der Fall ist. Systematisch bei verschiedenen Gefällsverhältnissen vorgenommene Wassermessungen würden den Turbinenbau fördern und auf diese Weise auch den Werken wieder Nutzen bringen. Auf alle Fälle sollten Geldmittel für die Ausführung von Vergleichsmessungen erhältlich gemacht werden.

Mit diesen Ausführungen schliesse ich den ersten Teil meiner Arbeit und gehe über zum Problem der Wasserteilung in Niederdruckanlagen.

Eines sei diesem Abschnitt vorausgeschickt: Ohne zwingende Gründe wird man lieber allein über ein Ganzes verfügen, als dieses Ganze mit Dritten zu teilen. Sobald aber eine Gefällsstufe aus irgend welchen Gründen von verschiedenen Interessengruppen gemeinsam finanziert, gebaut oder betrieben wird, sind Voraussetzungen für die Teilung des Ertrages gegeben. Bei den Kraftwerken Rheinfelden und Augst-Wyhlen hatte der Zusammenschluss verschiedener Gruppen von Interessenten zum Problem der Wasserteilung geführt.

Die Parteien stellen ihre Pflichten und Rechte vertraglich fest. Dadurch erhalten wir die notwendigen rechtlichen Grundlagen. Es ist mir klar, dass jedes Wasserteilungsproblem einwandfrei gelöst werden kann, insofern es sich um richtig fundiertes Recht handelt. Die Lösung erfolgt mit demjenigen Grad von Genauigkeit, welchen die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel aufweisen.

Ausser den rechtlichen Grundlagen benötigen wir technische. Zu den technischen Grundlagen gehören:

a) Die Ergebnisse von Wassermessungen, sinngemäss so verstanden, wie das im ersten Teil dieser Arbeit umschrieben wurde. Aus diesen Ergebnissen leiten wir die Kurven des Gesamtwirkungsgrades (η_ε) der verschiedenen Typen der Maschineneinheiten als Funktion der Generatorenleistung in kW ab. Sofern es sich um mehrere Maschineneinheiten des gleichen Types handelt, darf man sich damit begnügen, event. zwei Einheiten durch direkte Messung zu untersuchen. Bei guter Übereinstimmung dürfen die Mittelwerte der gemessenen Gesamtwirkungsgrade als Gesamtwirkungsgrad des betreffenden Maschinentyps verwendet werden. Die nachstehend erwähnte Kurve für die Wassermenge q_1 wird dann für die nicht gemessenen Einheiten des gleichen Typs unter Benützung dieser η_ε -Kurve indirekt bestimmt.

Ausserdem stellen wir die Kurve des Wasserverbrauchs in m³ bezogen auf 1 m Gefälle (q_1) als Funktion der Leitradöffnung oder der Skala des Leitapparates, d. h. als Funktion der Beaufschlagung graphisch dar, wobei

$$q_1 = \frac{q \text{ bei } H \text{ m Gefälle}}{\sqrt{H}}.$$

Die Zulässigkeit dieser Umrechnung, q_1 proportional der \sqrt{H} kann innerhalb des praktisch benützten Verwendungsbereiches gemäss einlässlichen Untersuchungen wohl begründet werden, was hier aber weggelassen wird.

b) Eine zuverlässig geführte Betriebsstatistik, welche alle erreichbaren hydraulischen und elektrischen Daten des Betriebes erfasst. Wir müssen verlangen, dass uns für die Beurteilung aller einschlägigen Fragen sorgfältig berechnete Mittelwerte zur Verfügung stehen.

Eine wesentliche Bedingung für die Zulässigkeit der technischen Grundlagen lautet dahin, dass die Richtigkeit aller Einzelheiten jederzeit durch Nachmessung und Nachrechnung bewiesen werden kann. Man darf nur dann, über den Parteien stehend, den Anspruch auf volles Vertrauen erheben, wenn der Vollzug klar umschriebenen Rechtes ebenso klar im Vollzuge nachgewiesen wird. Diese einfache Erkenntnis gehört teilweise zur Psychologie der Wasserteilung, über welche ich am Schlusse einige Worte beifügen werde.

Mit diesem Rüstzeug versehen, wollen wir so bündig als möglich die Wasserteilung in Augst-Wyhlen und Rheinfelden betrachten, wobei Augst-Wyhlen der einfacheren Verhältnisse wegen, vorangestellt sei, trotzdem Rheinfelden zeitlich vorangeht.

Die Wasserteilung wird aktuell, sobald die Wasserführung des Rheines die Schluckfähigkeit der Werke unterschreitet.

Wasserteilung bei den Werken Augst und Wyhlen. Im März 1905 ist zwischen dem Kanton Basel-Stadt und der A.-G. Kraftübertragungswerke Rheinfelden zur gemeinsamen Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins, welche zwischen dem Auslauf der bestehenden Rheinfelder Wasserkraftanlage und dem unteren Ende der Augster Stromschnellen gewonnen werden können, ein Vertrag abgeschlossen und genehmigt worden.

§ 11 dieses Vertrages bestimmt:

„Die durch die gemeinsame Anlage des Stauwehrs gewonnene Kraft wird in der Weise geteilt, dass von jedem der beiden Kontrahenten die Hälfte der jeweiligen zur Verfügung stehenden Wassermenge in Anspruch genommen werden darf.

Vorübergehend kann jedoch die von einem Kontrahenten nicht benützte Wassermenge vom andern ohne Verrechnung oder Entgelt ausgenützt werden“.

Die rechtliche Grundlage heisst also: Wassermenge Augst = Wassermenge Wyhlen = halbe Wassermenge des Rheines.

$$(Q_A = Q_W = 1/2 Q_R).^*$$

Im praktischen Betriebe ist diese Gleichheit nicht direkt vollziehbar. Für den Betrieb ist Bedingung, dass die Nutzleistungen der beiden Werke zueinander in Beziehung gebracht werden. Es sei vorweg genommen, dass Augst seiner Anlage infolge etwas günstiger arbeitender Maschineneinheiten und günstigerer Phasenverschiebungswerte seiner Belastung gegenüber Wyhlen eine etwas grössere Nutzleistung entnehmen darf, um die Bedingung der halben Wassermenge zu erfüllen.

Allgemein gesprochen ist für den jeweiligen Betriebszustand ein Koeffizient zu ermitteln, mit dem die Nutzleistung Wyhlen multipliziert wird, um die Nutzleistung Augst zu erhalten:

$$N_W \cdot C = N_A.$$

Die vorliegenden Resultate von Wassermessungen, die für die besondere Zweckbestimmung zu erstattenden Rapporte und deren statis-

tische Verarbeitung ermöglichen letzten Endes, mit Hilfe des betriebsgemässen Wirkungsgrades der Anlagen den Umrechnungskoeffizienten zahlengemäss festzustellen.

Bemerken wir noch, dass sich die beiden Werke Augst und Wyhlen ihre jeweiligen Belastungen durch Fernmelder übermitteln und sich gegenseitig kontrollieren.

Damit gehen wir über zu der *Wasserteilung beim Kraftwerk Rheinfelden*. Ueber dieselbe liegt ein Bericht vom Jahre 1919 mit 50 Beilagen vor. Aus demselben kann nur in gedrängter Kürze das Wesentlichste geboten werden.

Zur Finanzierung und zum gemeinsamen Betrieb des Kraftwerkes Rheinfelden haben sich im Jahre 1896 nachstehend genannte Interessenten vereinigt:

- die A.-G. der Kraftübertragungswerke Rheinfelden, abgekürzt K W R genannt,
- die Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft Neuhausen, abgekürzt A I A G genannt
und als Rechtsnachfolgerin der elektrochemischen Werke Bitterfeld
- die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Frankfurt a. M., abgekürzt C F G E genannt.

Von den vorhandenen 20 Turbinen gehören zehn den K W R, sechs der A I A G und vier der C F G E.

Den K W R kommt zur Bedienung ihrer Verteilungsanlagen eine ständige Vorzugskraft von 7500 PS an den Turbinenwellen gemessen zu und zwar in dem Sinne, dass diese Kraft das Mittel aus je vier bestimmten, täglich vorzunehmenden Ablesungen sein soll.

Die maximale Kraftentnahme der K W R soll den normalen Kraftanspruch auch vorübergehend nicht um mehr als 300 PS übersteigen.

Der normale Kraftanspruch der K W R erfährt folgende drei Modifikationen:

1. Einen Abzug, insofern Abdrosselungsverluste an Ringschieberturbinen unter bestimmten Voraussetzungen ein vereinbartes Mass übersteigen.
2. Einen Zuschlag für wirtschaftlichere Kraftausnützung infolge Umbau von Turbinen.
3. Einen Anteil von $\frac{1}{3}$ an einer durch eine Stauerhöhung gewonnenen Mehrkraft.

Dazu ist folgendes zu sagen:

Zum normalen Kraftanspruch. An Hand von Abnahmeversuchen wurde eine Einigung über den durchschnittlichen Wirkungsgrad der K W R-Generatoren erzielt, wodurch der normale Kraftanspruch der K W R auf 5208 kW ab Generatoren festgesetzt werden konnte.

Zu 1. Infolge Stauerhöhung und daher möglich gewordener grösserer Kraftentnahme der K W R spielen die Abdrosselungsverluste, die seiner Zeit durch spezielle Untersuchungen ermittelt wurden, keine beachtenswerte Rolle mehr.

Zu 2. Der vom Umbau der Turbinen herrührende Zuschlag berechnet sich wie folgt:

Es sei

a = Grenzwert des Wirkungsgrades der Turbine, von welchem an ein Zuschlag erfolgt.

Dieser Grenzwert beträgt 67 %.

b = Wirkungsgrad der umgebauten Turbine.

$$c = \frac{b}{a}$$

g = effektive Generatorenleistung der betreffenden Maschineneinheit in kW.

m = die infolge des Turbinenumbaues den K W R zukommende Mehrkraft in kW.

Dann ist

$$m = g \cdot \frac{c - 1}{c} = g \cdot k \text{ kW.}$$

k beträgt je nach Beaufschlagung der Turbinen 1,117 oder 1,208.

Zu 3. Für die Berechnung der durch Stauerhöhung gewonnenen Mehrkraft handelte es sich zuerst darum, für die möglichen Positionen unseres Rheinfelder Stauwehrbetriebes diese Mehrkraft zu definieren.

Bei Berücksichtigung des möglichen Wasserverlustes durch Überfall am Stauwehr einerseits und durch den möglichen Gewinn infolge grösserer Wasserführung des Kanals anderseits, bringt man es durch Annäherungsrechnung bei einiger Übung leicht fertig, übereinstimmende Werte zu erhalten. Bei der Umrechnung auf kW Generatorenleistung muss unter Berücksichtigung des zu Ziffer 2 Gesagten mit 67 % Turbinenwirkungsgrad gerechnet werden.

Endlich sind wir so weit, den Kraftanspruch der K W R zu kennen.

Was über diesen Kraftanspruch der K W R hinaus noch ausgenützt werden kann, gehört entsprechend ihren sechs und vier Turbinen zu $\frac{6}{10}$ der A I A G und zu $\frac{4}{10}$ der C F G E und zwar berechnet nach Wassermenge mal Gefälle.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zehn Turbinen dieser beiden Firmen vier verschiedene Typen aufweisen und dass das Gefälle der Turbinengruppe der C F G E, hauptsächlich infolge ihrer Lage an dem stromabwärts gelegenen Ende des Maschinenhauses, im Jahresdurchschnitt 10 % grösser ist als das Gefälle der Turbinengruppe der A I A G.

Zwischen der A I A G und der C F G E wird das Wasser wie folgt geteilt:

Aus den Resultaten von Wassermessungen ermitteln wir, wie das bereits ausgeführt wurde, die Kurven für q_1 und können daraus die Beaufschlagung der einzelnen Turbinen für gleichen Wasserverbrauch, bezogen auf gleiches Gefälle, ablesen.

Bezeichnet

B_a die Beaufschlagung der Turbinengruppe der A I A G,

B_c " " " " " C F G E,

H_a das durchschnittliche Nettogefälle der Turbinengruppe A I A G,
 H_c " " " " " " C F G E,
 Q_a den Wasserverbrauch der Turbinengruppe der A I A G in $m^3/sec.$,
 Q_c " " " " " " C F G E " "
dann muss sein

$$I. H_a \cdot Q_a = 1,5 \cdot H_c \cdot Q_c.$$

Da nun aber

$$H_c = 1,1 \cdot H_a,$$

so wird nach entsprechender Umrechnung

$$II. B_a = 1,5 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{1,1} \cdot B_c = 1,73 \cdot B_c.$$

Auf diese Weise wird uns die Gesamtbeaufschlagung jeder Turbinengruppe bekannt. Mit Hilfe der Kurven für die Turbinenwassermengen q_1 können wir die Beaufschlagung jeder einzelnen Turbine angeben. Die gestellte Aufgabe ist dadurch gelöst.

Schliesslich interessiert uns noch folgende Vorschrift:

„Ist eine der drei Firmen nicht in der Lage, die ihr zustehende Kraft zu beziehen, so darf das so frei werdende Wasser von dem oder den andern Beteiligten ohne Entgelt zu gleichen Teilen benützt werden; es sind in dieser Beziehung alle drei Firmen gleichen Rechts, d. h. die beiden jeweiligen Firmen teilen sich in das frei werdende Wasser je zur Hälfte.“

Selbstverständlich wird auch der Betrieb des Kraftwerkes Rheinfelden durch Rapporte und Betriebsstatistik dauernd unter Kontrolle gehalten.

Wenn ich eingangs meiner Ausführungen über das Teilen von Wasser die Behauptung aufstellte, dass jedes Wasserteilungsproblem, das durch wirkliches Recht richtig begründet sei, gelöst werden könne, so hoffe ich auf die Erkenntnis, dass die grossen, in Rheinfelden überwundenen Schwierigkeiten mich zu dieser Behauptung berechtigten.

Wie bereits angedeutet, möchte ich zum Schlusse noch einige Worte erwähnen über die Psychologie der Wasserteilung. Meine Ausführungen würden mir unvollständig erscheinen, wenn ich das unterlassen würde.

Jede menschliche Tätigkeit erhält ihr besonderes Gepräge durch Imponderabilien, durch unbestimmbare sittliche Momente. Auf unser Thema angewandt zeigt sich das beim unmessbaren und unwägbaren inneren Verhältnis der Vertragskontrahenten, bei der von den leitenden Personen zu leistenden Arbeit und bei der Erziehung und Tätigkeit des Personals, das die Verteilungsvorschriften im einzelnen sachgemäss zu vollziehen hat.

Fassen wir das über das Teilen von Wasser in Niederdruckanlagen Gesagte kurz zusammen:

Für die Theorie des Teilens genügen Kenntnisse aus der einfachen Mathematik. Für die Praxis ist erforderlich Beherrschung der ganzen Materie und des Betriebes, sowie der unbeugsame Wille, erkanntem Recht unbedingt Geltung zu verschaffen. Das letztere ist nur dann

möglich, wenn der Vollzug erteilter Verfügungen streng und unparteiisch überwacht wird.

In Lapidarschrift ausgedrückt heisst das im besten Sinne des alten politischen Lehrsatzes:

Divide et impera!

6. J. HUG (Zürich). — *Neuere Untersuchungen über Dichtigkeit unserer Flussbette.*

Der Vortrag beschäftigt sich mit denjenigen Strecken unserer Flussbette, die in mehr oder weniger durchlässigen diluvialen oder alluvialen Kiesen verlaufen. Als typisches Beispiel eines durchlässigen Flussbettes wird die Limmat bei Zürich erwähnt. Die Undichtigkeit ergibt sich hier besonders aus der auffallenden Abnahme des Kalkgehaltes im Grundwasser des Talbodens gegen den Fluss hin, es kann dies nur auf intensive Infiltration von weichem Flusswasser zurückgeführt werden.

Als dichte Flussbette werden Beispiele von der Limmat bei Wettingen und vom Rhein bei Neuhausen am Rheinfall und bei Laufenburg besprochen. An diesen Stellen konnte beobachtet werden, dass der Grundwasserspiegel mehrere Meter unter dem Fluss liegt, sodass sich zwischen Fluss und Grundwasserspiegel eine Schicht von trockenem Kies einschaltet. In diesem Zusammenhang wurde der eigenartige Einfluss von Stromschnellen und Kraftwerkstauanlagen auf die Beziehungen zwischen Fluss- und Grundwasserspiegel, resp. ihr Einfluss auf die Abdichtung der Flussbette besprochen.

Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen ergibt sich die folgende Zusammenfassung:

1. Flussbette sind dann undicht, wenn die Fluss- und Grundwasserspiegel ungefähr in gleicher Höhe liegen, so dass infolge der Änderungen des Wasserstandes bald ein Druckgefälle vom Fluss zum Grundwasser, bald in umgekehrter Richtung vorliegt.

2. Flussbette sind dann in der Regel dicht, wenn dauernd der Grundwasserspiegel unter dem Flusswasserspiegel steht.

7. H. STOLL (Bern). — *Hydraulischer und wirtschaftlicher Einfluss unserer Seen auf ihren Abfluss.*

Unter den internationalen Beziehungen der Schweiz zu den Nachbarstaaten stehen unsere Flüsse und Grenzseen gegenwärtig wiederum an exponierter Stelle. Die Regulierung des Genfer Sees, der freie Rhein, der Schifffahrtsweg Rhein-Rhone durch die Schweiz und eine Menge damit im Zusammenhang stehender anderer Probleme, insbesondere die Krafterzeugung, leben heute wiederum auf, trotzdem das darniederliegende Wirtschaftsleben deren Lösung nicht zur Dringlichkeit macht. Es wäre aber verfehlt, wollte man deswegen stehen bleiben und der Erstrebung grosser Ziele weniger Aufmerksamkeit schenken, denn es gereicht diesen nur zum Vorteil, wenn sie mit Ruhe überlegt sind und sich ohne Hast entwickeln können.

Es will mir scheinen, dass die Schweiz bei internationalen Fragen wasserwirtschaftlicher Natur meistens mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Dazu mag in erster Linie unsere eigene Unschlüssigkeit nicht wenig beitragen. Es ist uns Schweizern so etwas wie angeboren und ich habe da vorab den Techniker im Auge, dass wir in solchen Situationen immer mindestens zwei verschiedene Meinungen haben. Wir treten vor dem Gegner nicht geschlossen auf und können uns so unmöglich diejenige Stellung sichern, auf die wir Anspruch erheben dürfen.

Ich bin auch der Ansicht, dass der Stand der wasserwirtschaftlichen Bestrebungen in unserem Vaterlande noch sehr im Rückstande ist. Nicht etwa weil wir Techniker dazu unfähig wären, sondern weil vielfach ein zersplitterter Interessenkampf, der nicht zuletzt unserer Wasserkraftpolitik entspringt, grosszügige, das Landeswohl direkt und indirekt befruchtende Aufgaben zu lösen verhindert, trotzdem das eidgenössische Wasserrechtsgesetz hierfür einen hervorragenden Stützpunkt geschaffen hat.

Mit diesen wenigen Bemerkungen möchte ich auf die grosse Bedeutung unserer Seen, den natürlichen Abflussregulatoren und der künstlichen Sammelbecken überleiten und versuchen, deren Einfluss in grossen Zügen zu erfassen. Die Materie ist so umfangreich und von so vielen Faktoren begleitet, dass es sich hier bei weitem nicht um erschöpfende und abgeschlossene Studien handeln kann, wohl aber um Teilergebnisse und Anregungen.

Der ausgleichenden Wirkung der Seen ist in der Schweiz schon früh ein Augenmerk zugefallen, sei es zur Abminderung der Hochwassergefahren, zur Anhöhung der Winterwasser oder zur totalen Nutzbarmachung natürlicher Abflüsse bei unregelmässigem Wasserverbrauch zu Kraftzwecken. An praktischen Beispielen fehlt es nicht. Wir erinnern nur an die Einleitung der Kander in den Thuner-, der Lütchine in den Briener-, der Aare in den Bieler- und der Linth in den Walensee, dann an die Schaffung neuer Seen oder Vergrösserung des Fassungsraumes bestehender Seen. Nicht vergessen dürfen wir die unzählige Menge kleiner Unternehmungen, unter die wir selbst den kleinsten Mühleweiher einreihen dürfen.

Dass bei diesen Werken nicht immer allen Interessen entsprochen werden kann, erkennen wir heute am besten aus dem zähen Widerstande, der jeder geplanten Neuerung und Veränderung entgegengestellt wird. Leider ist es heute nicht mehr möglich, die hydraulische Seite der alten Korrektionswerke zahlenmässig darzustellen. Wir kennen bloss deren gegenwärtige Situation und können neue Verbesserungen bewerten. Damit will ich sagen, dass wir für den Wasserausgleich, der dem Auslande ebenfalls in hohem Masse zugute kommt, bereits bedeutende Opfer gebracht haben, ohne dass wir uns dafür irgend welche Gegenleistungen gesichert hätten. Da die Schweiz inskünftig zweifellos in erhöhtem Masse auf den wenig einträglichen Kraftexport angewiesen

sein wird, wollen wir doch unser grösstes Nationalgut nicht in zwei- und dreifacher Hinsicht veräussern, ohne die Interessen des eigenen Landes auch für die Zukunft genügend gewahrt zu haben.

Heute kann es sich für uns nur noch darum handeln, an unseren Seen Verbesserungen anzubringen, die den Abfluss im Sinne ausgleichender Niedrigwasservermehrung zu Kraftnutzungszwecken einerseits und die Hochwasserverminderung zur Abwendung grosser Gefahren für den Bestand der Flussläufe anderseits zum Zwecke haben. Nebstdem haben wir Bedacht zu nehmen auf die Schaffung grosser künstlicher Stau-becken an den Wurzeln der Einzugsgebiete. In beiden Fällen arbeiten wir direkt und indirekt auch einer kommenden Großschiffahrt in die Hände.

Was speziell die künstlichen hochgelegenen Sammelbecken anbetrifft, so sollten wir uns zunächst darüber klar werden, dass deren Bedeutung wenigstens im Dienste einer künftigen Kraftnutzung nicht derart ist, wie man heute noch allgemein annimmt. Ihr Vorkommen ist verhältnismässig gering und zwingt zu sparsamer Verwendung. Nicht ein einzelnes Niederdruckwerk am Flusse A soll mit einem Hochdruck-speicherwerk im Flussgebiet B zusammenarbeiten. Die grösste Wirt-schaftlichkeit wird nur durch den *Zusammenschluss* einer möglichst grossen Zahl aufeinander folgender, mit separaten Stauhaltungen versehenen und am nämlichen Flusslaufe liegender Werke erreicht, in dessen Bereich sich auch die Speicherwerke vorfinden. Diese Kombination allein sichert uns bei bestem Nutzungsgrad regelbare Abflüsse, die wir zahlenmässig fixieren können und für die wir den Nachweis vorhandener, selbst inter-nationaler Vorteile zu erbringen vermögen.

Wir erkennen aus dem Erwähnten bereits, dass die Frage der Abflussregulierungen unserer Seen eigentlich erst durch die Kraftnutzung neu belebt wurde, und da die Entwicklung der letztern für die nächste Zeit ganz ungewiss ist, sollte nicht versäumt werden, dieselbe durch Schaffung von Bewirtschaftungsplänen in zielbewusstere Bahnen zu lenken. Aus diesen *Wirtschaftsplänen*, welche nebst den normalen Abflussver-hältnissen, den Ergebnissen der Seeregulierungen, dem Einfluss neuer Staubecken, den Hochwasserschutz und auch nebst Fragen einer rationellen Disposition des Kraftwerkbaues und -betriebes und nebst der Schiff-fahrt noch eine Menge Probleme weniger wichtiger Natur zu lösen haben, sollten unsere Behörden alle und jede Auskunft schöpfen können, welche bei Konzessionserteilungen aller Art unumgänglich nötig sind.

Ich möchte nun noch versuchen, mich an Hand eines praktischen Beispieles verständlicher zu machen und gehe dabei von folgenden Grundlagen aus:

1. Im Einzugsgebiet der obern Aare seien drei hochgelegene Speicherbecken mit zusammen 105 Millionen m^3 Inhalt bei 130 km^2 Einzugsgebiet und 275 Millionen m^3 Jahresnutzwasser erstellt und im Betriebe.

2. Thuner- und Brienzersee seien künstlich reguliert. Sie ergäben für die 2477 km^2 Einzugsgebiet rund 4000 Mill. m^3 Jahresnutzwasser

und von ihrem Oberflächenvolumen mögen 100 Mill. m³ als Stauraum beansprucht werden.

3. Die Aarestrecke Thun-Bielersee sei nach neuesten Grundsätzen komplett ausgebaut.

4. Die Juraseen mit 8305 km² Einzugsgebiet seien nach dem Projekte der bernischen Baudirektion bereits in Dienst genommen. Deren jährlicher Nutzwasserabfluss betrage 8000 Mill. m³ und das Betriebsvolumen 560 Mill. m³.

Die im Wirtschaftsplane gewonnenen und nachweisbaren Resultate lassen sich für obiges Beispiel kurz wie folgt darstellen:

1. Das Verhältnis vom Stauraum zum praktisch verfügbaren Nutzwasser beträgt für ein Normaljahr:

- a) Für die Gesamtheit der drei Hochdruckspeicherbecken 1 : 2,6.
- b) Für den Brienzer- und Thunersee 1 : 40.
- c) Für die drei Juraseen 1 : 14.

2. Die prozentuale Abminderung der Hochwasserintensität, hervorgerufen durch die vorbesprochenen Annahmen, beträgt unter Berücksichtigung einer gewissen Dämpfung

ab Thun bis zur Saanemündung	11 %
bis zum Bielersee	8,5 %
bis an den Rhein	4 %
bis Basel noch	1,5 %

Hierbei muss bemerkt werden, dass der Einfluss der Juragewässerkorrektur noch nicht abgeklärt und berücksichtigt ist.

3. An Winterkraft, die mit der Niedrigwasservermehrung parallel verläuft, gewinnen wir auf der Route

Thun-Biel	40 Mill. kWh	=	einer Vermehrung von 11 %
Biel-Basel	1125 " "	=	" " 18 %

Interessant ist dabei der Umstand, dass das dreimal günstigere Speicherverhältnis der Juraseen, trotz einem siebenfachen Kostenaufwand, für Biel-Basel nur wenig mehr als das Doppelte von dem einbringt, was mit den Oberländerseen erreicht wird.

4. Die Baukostenanteile an die Speicher- und Regulierungsanlagen pro jährlich gewonnene kWh sind relativ gering und stellen sich für den Abschnitt

Thun-Biel auf 21 Cts. pro kWh Winterkraft,
für Biel-Basel nur um wenig mehr.

Trotzdem wir zu den schon recht bemerkenswerten Resultaten erst $\frac{1}{4}$ des Einzugsgebietes vom Rhein bei Basel einbezogen haben, erkennen wir bereits erhebliche Verbesserungen, die wir dem Fluss beim Verlassen des Landes haben zuteil werden lassen.

Ich habe nun noch auf den wichtigsten Punkt der Wasserwirtschaftspläne zurückzukommen, nämlich die Rücksichtnahme auf die Dienstbarmachung der Niederdruckwerke zu Spitzenleistungen oder was dasselbe bedeutet, die Speichermöglichkeit unmittelbar vor diesen Werken. Man kann es in unserem Beispiele soweit bringen, dass diese Werke in ihrer Gesamtheit im Winter ausser einer Grundkraft,

die ungefähr der Hälfte der mittleren Tageskraft entspricht, noch eine doppelt so grosse, den praktischen Bedürfnissen angepasste Spitzenkraft leisten können, also genau das, was man bisher ausschliesslich den Hochdruckwerken zugemutet hat. Diesem Problem, das ganz neue Perspektiven eröffnet, haben wir von nun an erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

Zum Schlusse glaube ich meine Ausführungen mit den folgenden Anregungen zusammenfassen zu dürfen:

Für alle grösseren Flussläufe ist die Ausarbeitung einheitlicher, sämtliche Interessen beschlagende Wirtschaftspläne vorzusehen, nach denen Abflussregulierung und Krafterzeugung zu erfolgen haben und die auch die Grundlage zu einer nachdrücklicheren Geltendmachung weit-sichtiger und gerechter Forderungen bei internationalen Regelungen wasserwirtschaftlicher Natur bilden sollen.

Es empfiehlt sich, an bestehende und neue Niederdruckwerke geeignete Stauhaltungen anzugliedern, welche im Winter zu Spitzenleistung und damit zur Entlastung der in beschränkter Zahl vorhandenen Hochdruckwerke, indirekt daher auch zur Steigerung der so sehr benötigten Winterleistung dienen sollen.

Im Anschluss an den letztern Punkt sind über das Problem der Wasserbewegung in langgezogenen Stauhaltungen praktisch wissenschaftliche Versuche anzustellen, damit die Grenzen der wechselvollen, durch die Krafterzeugung bedingten Beanspruchungsmöglichkeit zum voraus bestimmt werden können.

8. H. EGGENBERGER (Bern). — *Das Druckstollenproblem.*

Die Erfahrung, die in jüngster Zeit mit einer Anzahl von Druckstollen gemacht wurde, führte dazu, während des Baues der Stollen der Kraftwerke Amsteg und Barberine eingehende Untersuchungen anzustellen. Der Druckstollen des Kraftwerkes Amsteg durchfährt zur Hauptsache Granit, Gneis, Glimmerschiefer und Serizitschiefer, welche letztere beiden Gesteinsarten stellenweise ziemlich gebräuchlich sind, während derjenige des Kraftwerkes Barberine nur in Granit und Gneis liegt. Der Amstegerstollen hat eine Länge von rund 7 km, einen Querschnitt von 6,5 m² und steht unter einem Wasserdruck, der variiert zwischen 17 und 31 m. Der Barberinestollen hat indessen nur eine Länge von 2,3 km, einen Querschnitt von 4,4 m², steht aber unter einem Wasserdruck von 55 bis 65 m. Die Versuche, die angestellt wurden, erstreckten sich in der Hauptsache auf die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit des unausgekleideten Gebirges und auf die Messung der plastischen und elastischen Dehnung des Gebirges unter Wasserdruck. Zu dem Zwecke sind im Stollen Abschlusstore eingebaut worden und es wurde derselbe zonenweise teils mit dem Betriebsdruck, teils noch mit höherem Wasserdruck abgepresst. Die Messungen der Dehnung erfolgten mit einem von der Firma Amsler in Schaffhausen konstruierten Apparat, der Ablesungen von 1/100 mm gestattete. Beim Stollen des Kraftwerkes Amsteg ergaben sich folgende Resultate: Granit und Gneis zeigten sich wasserundurchlässig. Es konnte deshalb in diesen Strecken das ge-

wöhnliche Mauerungsprofil beibehalten werden. Der Serizitschiefer war hingegen ziemlich wasserdurchlässig und die Dehnung des Stollens unter dem innern Wasserdruck erreichte im Umfang 1,5 bis 3 mm. Eine gewöhnliche Betonverkleidung wäre trotz satten Anbetonierens an den Felsen ohne Zweifel gerissen, sodass für diese Strecken ein eisenarmiertes Profil gewählt wurde. Die bis heute durchgeführten Druckversuche im Stollen des Kraftwerkes Barberine zeigten vorzügliche Resultate in bezug auf Wasserundurchlässigkeit. Die Gesteinsverhältnisse sind dort auch derart günstig, dass ein grosser Teil des Stollens unausgekleidet belassen werden kann. Dehnungsmessungen sind im Barberinestollen noch keine ausgeführt worden.

Der Vollständigkeit halber sei noch beigelegt, dass zwecks sattem Anliegen des Betonmauerwerks (armiert oder unarmiert) am Felsen überall Zementmilch-Injektionen hinter das fertige Mauerwerk ausgeführt werden.

Für die Wahl des Profiles bei Druckstollen können nun aber die hier angeführten Stollen nicht massgebend sein. Das Gebirge ist derart verschieden, dass m. E. ein zuverlässiger Druckstollen mit möglichst geringem Kostenaufwand nur erstellt werden kann, wenn in jedem Falle systematische Versuche in obigem Sinne durchgeführt werden.

9. H. EGGENBERGER (Bern). — *Erosionserscheinungen im Reusstunnel bei Wassen (Projektionsbilder).*

Kein Autoreferat eingegangen.

10. A. J. KELLER (Bern). — *Nach direkten Messungen ermittelte Wehr-Abfluss-Koeffizienten und deren theoretische Interpretation.*

Auf Grund dieser direkten Versuche über den Wehrabfluss im Vergleich mit anderen Versuchen in kleinerem Maßstabe stellte der Vortragende eine Formel über den Abfluss an Wehren auf, deren Koeffizient sich für den vorliegenden Fall als konstant ergab.

11. O. LÜTSCHG (Bern). — *Über einen neuen Wassermessflügel mit konstanter Ölzufuhr für Messungen in schlamm- und sandhaltigem Wasser, konstruiert von Dr. A. Amsler, Schaffhausen.*

Der Referent zeigt diesen neuen Flügel vor und teilt mit, dass die mit ihm an einem Gletschergewässer (Lonza) angestellten Versuche befriedigende Ergebnisse lieferten.

Der Flügel ist in erster Linie konstruiert worden zur Messung der Wassergeschwindigkeit in Gletscherbächen und andern Wässern, die Sand, Schlamm oder sonstige Unreinigkeiten irgendwelcher Art mitführen und den Mechanismus eines Messinstrumentes hemmen können. Der Flügel eignet sich selbstverständlich ebenso gut auch zur Messung in reinem Wasser und darf deshalb als eine Art Universalflügel betrachtet werden.

Das Gehäuse des Flügels enthält eine mit Öl gefüllte, nach aussen abgeschlossene Kammer, durch welche die Flügelachse geleitet

ist und welche den Zählmechanismus einschliesst, der eine elektrische Kontaktvorrichtung betätigt. Das Öl in der Kammer steht unter dem Drucke eines Kolbens, der mit seinem untern Ende durch sein eigenes Gewicht auf das Öl drückt. Auf das obere Ende wirkt der äussere Druck des Wassers, ohne dass aber das Wasser selbst an den Kolben gelangt. Der Kolben hat das Bestreben, das Öl aus der Kammer durch das vordere Achslager nach aussen zu treiben. Es fliesst also beständig etwas Öl aus dem Lager hinaus, was verhindert, dass etwas von aussen in das Lager hereinkommen kann. Der Kolben kann etwa 30 mm heruntersinken, wenn im Laufe der Zeit das Öl aus der Kammer verloren geht.

Die Flügelachse ist einerseits so gut in ihrem Lager abgedichtet, dass nur äusserst wenig Öl verloren geht, andererseits läuft sie aber fast reibungslos. Eine einzige Füllung der Ölkammer würde genügen für einen unausgesetzten Dauerbetrieb von einer Woche; Dr. Amsler hat den Flügel vor der Versendung 18 Stunden lang ununterbrochen im Rhein bei etwa 2 m Geschwindigkeit laufen lassen, wobei der Kolben um etwa 5 mm sank. Beim Lager ging fast gar kein Öl verloren, die Hauptsache läuft beim Druckkolben heraus.

Der Flügel wird mit Öl gefüllt auf das Arbeitsfeld gebracht. Ein Fläschchen mit Öl zum Nachfüllen der Kammer ist im Flügelkästchen untergebracht. Die Anlaufgeschwindigkeit des Flügels beträgt: 12 cm/sec. Der Durchmesser der Schaufel beträgt 9 cm. Das Messinstrument hat ein Nettogewicht von 2 kg.

12. O. LÜTSCHG (Bern). — *Über die Verdunstungsgrössen an Seen im Hochgebirge.*

Der Referent schildert an Hand von Lichtbildern die eingehenden und umfangreichen Untersuchungen, die das Amt für Wasserwirtschaft unter seiner Leitung an mehreren Seen im Simplongebiet ausführen liess. Er beschreibt die angewendeten Methoden und teilt zahlenmässige Ergebnisse mit, die nicht nur theoretisches Interesse haben, sondern auch einen grossen Wert für wasserwirtschaftliche Fragen besitzen. Die Untersuchungen über die Verdunstungsgrössen werden in den „Annalen“ des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft umfassend niedergelegt.
