

125 Jahre Hydrometrie auf Bundesebene: die Rolle des Ingenieurs Robert Laufenburg

Autor(en): **Vischer, Daniel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 43

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85832>

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.

125 Jahre Hydrometrie auf Bundesebene

Die Rolle des Ingenieurs Robert Lauterburg

1863 setzte die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft eine Hydrometrische Kommission ein, aus der 1866 das Eidgenössische Hydrometrische Zentralbureau und schliesslich die heutige Landeshydrologie hervorging. Folglich sind es 125 Jahre her, seit sich der Bund mit der Koordination und der Durchführung von hydrologischen Messungen in Gewässern befasst. Das entsprechende Jubiläum wurde am 6. Mai 1988 anlässlich einer Tagung in Bern gefeiert. Hier wird geschildert, wie die Anfänge der Hydrometrie stark von der Initiative eines Bauingenieurs, nämlich von Robert Lauterburg, beeinflusst wurden.

Zusammenfassung

Obschon der Berner Ingenieur *Robert Lauterburg* (Bild 1) heute nahezu unbekannt ist, hat er uns vieles hinterlassen, was unsere aktuellen hydrologischen Arbeiten mitprägt:

VON DANIEL VISCHER,
ZÜRICH

- Er war der erste Leiter des Eidgenössischen Hydrometrischen Zentralbureaus, das 1866 von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft geschaffen und 1872 dem Eidgenössischen Oberbauinspektorat unterstellt wurde. Dort legte er den Grundstein zu jenem Dienst, den uns heute die Landeshydrologie und -geologie leistet.
- Als erster, nämlich 1871, etablierte er eine Übersicht über die Abflüsse des schweizerischen Gewässernetzes. Zu diesem Zweck entwickelte er bemerkenswerte Schätzformeln, die Gebietsparameter und meteorologische Daten verknüpften.
- Ebenfalls als erster, das heisst 1888, erfasste er das nutzbare Wasserkraftpotential der Schweiz. Er schätzte es unter den damaligen technischen, wirtschaftlichen und politischen Gegebenheiten auf einen Wert, der durch den Ausbau der Wasserkräfte kurz nach 1910, also rund ein Vierteljahrhundert später, dann auch erreicht (später aber unter ganz andern Voraussetzungen wesentlich übertraffen) wurde.

Ein Denkmal?

Wem wird ein Denkmal gesetzt und wem nicht? Über diese Frage nachzudenken würde sich vielleicht lohnen.

Dabei wäre eine der möglichen Antworten ebenso einleuchtend wie naheliegend: Ein *Denkmal* erhält nur jener, der Denkwürdiges vollbringt und ebenso dankbare wie tatkräftige Anhänger hat. Nun, *Robert Lauterburg* hat in der Hydrologie und ihrem Spezialgebiet, der Hydrometrie, bestimmt Denkwürdiges vollbracht, aber kein Denkmal erhalten. Offenbar fehlten die Anhänger, unterblieb die Anerkennung, kamen seine Ideen nicht als solche an. Warum wohl? Lag es an seinem Charakter? Richtete er sich an die falschen Kreise? War er seiner Zeit voraus?

Über seinen Charakter ist so gut wie nichts bekannt. Aus seinen Schriften lässt sich höchstens herauslesen, dass er in der Hydrologie ein Einzelgänger war, der seine Forschung zur Hauptsache teilberuflich betrieb und meist auf eigene Rechnung veröffentlichte. Emsig und hartnäckig, wortgewandt und bisweilen recht selbstbewusst verfolgte er seine Ziele, die er sowohl wissenschaftlich wie volkswirtschaftlich und sozialetisch, ja fast religiös begründete. Er hatte offensichtlich Herz und nicht nur Verstand! Machte das seinen liberaleren und damit vielleicht sachlicheren, aber kühleren Zeitgenossen Mühe?

Jedenfalls richtete sich Lauterburg mit seinen wissenschaftlichen Vorträgen und Schriften an die richtigen Kreise. Er war ab 1851 Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, hielt Vorträge an mehreren Jahresversammlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und war Mitglied und dann Präsident der von dieser eingesetzten Hydrometrischen Kommission. Von 1866 an leitete er gar sechs Jahre lang das Eidgenössische Hydrometrische Zentralbureau. Eine seiner wichtigsten Veröffentlichungen erschien 1887 in der Allgemeinen Bauzeitung in Wien [1], einem der damals führenden technischen Blätter.

Vielleicht war Lauterburg ganz einfach seiner Zeit voraus. Seine vielen guten Ideen zur Entwicklung und Förderung der Hydrologie und insbesondere der Hydrometrie wurden zum Teil sofort und ohne viel Kommentar verwirklicht, zum Teil aber mit Misstrauen aufgenommen und sozusagen verdrängt. Erst viele Jahre später wurden letztere von andern Forschern übernommen und ausgeführt, aber offenbar ohne genügenden Bezug auf ihn. Es gab allerdings auch Ausnahmen wie Forchheimer [2], der die Brauchbarkeit der primär für die Schweiz abgeleiteten Hochwasserformeln auch für Mitteleuropa und gar Kleinasien bestätigte. In der Tat zeugten diese Formeln sowie jene für Mittel- und Niederwasserabflüsse mit der zugehörigen Ableitung von einem bemerkenswerten Einblick in die abflussbildenden Prozesse und hätten als Ausgangspunkt für weitere einschlägige Forschungsarbeiten dienen können. Doch rissen die Beziehungen der Fachwelt zu diesen Vorarbeiten nach der Generation von Forchheimer irgendwie ab, vielleicht weil sich die Wasserbauer damals den einfacheren, um nicht zu sagen, primitiveren, empirischen Hochwasserformeln von *Hofbauer*, *Kürsteiner*, *Melli*, *Müller*, *Kreps* usw. zuwandten und die Entwicklung anspruchsvollerer Modelle – wie insbesondere der «Rational Formula» (Fließzeitformel) – den Abwasserfachleuten überliessen.

Heute jedenfalls wird der Name des Pioniers Lauterburg kaum mehr genannt – zu *Unrecht*. Es wird deshalb gerne die Gelegenheit wahrgenommen, Lauterburg hier einige Zeilen zu widmen.

Biografisches

Carl Gottlieb Robert, wie er mit vollem Namen hiess, wurde am 14. Juni 1816 in Trubschachen, Kanton Bern, als Pfarrerssohn geboren. Entgegen einer alten juristischen und theologischen Familientradition beschritt er eine technische Laufbahn. Er durchlief in Bern die Realschule und studierte anschliessend am damals von Schweizern häufig besuchten Polytechnikum in Karlsruhe die Ingenieurwissenschaften. Seine praktische Karriere begann er als Mitarbeiter des Bezirksingenieurs in Thun, dessen Nachfolger er 1847 wurde. Er befasste sich damals unter anderem mit der rechtsufrigen Brienzer- und Thunerseestrasse. Aber schon 1850 wurde der «sehr fähige Bezirksin-



Bild 1. Robert Lauterburg 1816–1893 (Fotorepro Burgerbibliothek Bern)

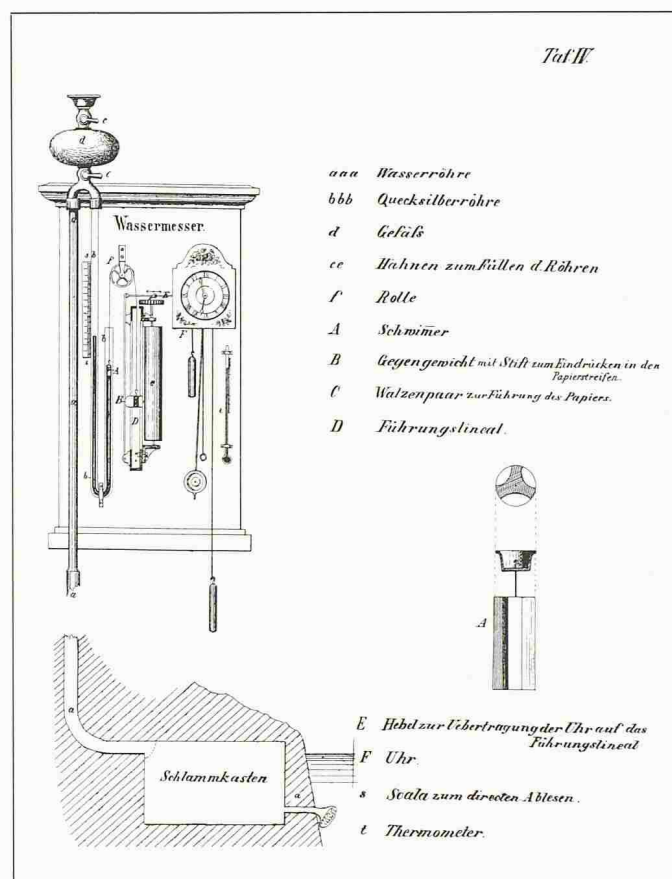


Bild 2. Limnigraf, «Differentialhebergerät» von A. Gressly, Solothurn [5]

genieur», wie es in einem Baubericht heisst, zum Chef des technischen Büros der kantonalen Baudirektion in Bern ernannt. Anschliessend, der genaue Zeitpunkt ist nicht bekannt, eröffnete er dort ein eigenes Ingenieurbüro, welchem er bis zu seinem Tode vorstand. Während einiger Zeit führte er dieses Unternehmen in Verbindung mit dem Ingenieur und Brückenbauer Friedrich Thormann (1831–82). Zu den eindrucksvollsten Bauten Lauterburgs aus dieser Zeit gehört die Strasse von Biel nach Reuchenette mit der Hochbrücke über die Taubenlochschlucht, wo ihm eine Gedenktafel gesetzt worden sein soll. Zu seinen weiteren Werken zählen die Wasserversorgung von Interlaken sowie verschiedene Wildbachverbauungen und Fabrikkanalbauten. 1866 unterbrach er seine freiberufliche Tätigkeit für sechs Jahre, um, wie bereits erwähnt, die Leitung des Eidgenössischen Hydrometrischen Zentralbureaus zu übernehmen. Von seinem während dieser Zeit, aber auch vor und nachher geleisteten Einsatz für die Förderung der Hydrologie und insbesondere der Hydrometrie ist weiter unten noch die Rede. Seine einschlägigen Publikationen wurden durch solche auf dem Gebiet der Kartografie, der Rechnungsmaschinen, der Lehrlingsausbildung und der Sonntagsarbeit ergänzt; insgesamt sind es an die drei Dutzend.

Lauterburg starb im Alter von 77 Jahren am 24. August 1893 in Bern. Von seinem Familienleben ist bekannt, dass er ab 1849 mit *Caroline Locher* von Zürich verheiratet war, die ihm eine Tochter und drei Söhne schenkte.

Hydrometrische Arbeiten

1866 und 1867 beschrieb Lauterburg [3, 4, 5], wie er 1864 an der Aare in Bern sieben Pegel setzen liess und diese über ein Jahr lang täglich beobachtete. Es handelte sich um einfache Lattenpegel, obschon Lauterburg grundsätzlich die Einrichtung von «selbstregistrierenden Wasserstandsanzeigern» befürwortete und dafür auch Konstruktionsskizzen (Bild 2) anfertigte. Das Ziel dieser Pegelbeobachtungen war ein Dreifaches:

Erstens wollte Lauterburg das Abflussregime der Aare ergründen. Deshalb stellte er einige Pegelrelationen auf – leider sagte er in seinem Bericht von 1866 [3] nicht wie – und bestimmte die zu seinen Pegelganglinien gehörenden Abflussganglinien. Zweitens ging es ihm um die Erhebung der durch Fassungen und Rückgaben beeinflussten Wasserstände längs den damals in Bern noch zahlreichen kleineren Wasserwerken. Drittens interessierte er sich als ehemaliger Bezirksingenieur in Thun

für die Auswirkungen der Wehrregulierung. Die Thuner Regulierwehre (Staatsschleusen) wurden nämlich nicht nur für die Verringerung der Thunersee-Schwankungen, also für das Ingrößenhalten der Hoch- und Niedrigwasserspiegel eingesetzt, sondern zur Förderung der Schifffahrt und der Flösserei zwischen Thun und Bern. So war es beispielsweise im grundsätzlich abflussarmen Winterhalbjahr an zwei festgelegten Schifffahrtstagen pro Woche üblich, einen kräftigen und anhaltenden Schwall zu erzeugen, um den verschiedenen Wasserfahrzeugen ein genügendes Fahrwasser zu gewährleisten (Bild 3).

Als Lauterburg die Auswirkungen solcher Schwälle bis Waldshut weiterverfolgte, stellte er fest, dass die grösseren sich dort nach 22 Stunden noch mit einer «Rheinanschwellung» in der Grössenordnung von 0,1 m Höhe während einer Dauer von 10 bis 12 Stunden bemerkbar machten. Bei dieser Ausweitung seiner Beobachtungen stiess Lauterburg auf die Bestrebungen der 1863 gegründeten Hydrometrischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Auf Veranlassung von Professor A. Mousson trat er dieser – «nach einigem Bedenken», wie er schreibt – bei und wurde nach kurzer Zeit, nämlich im November 1865, deren Präsident.

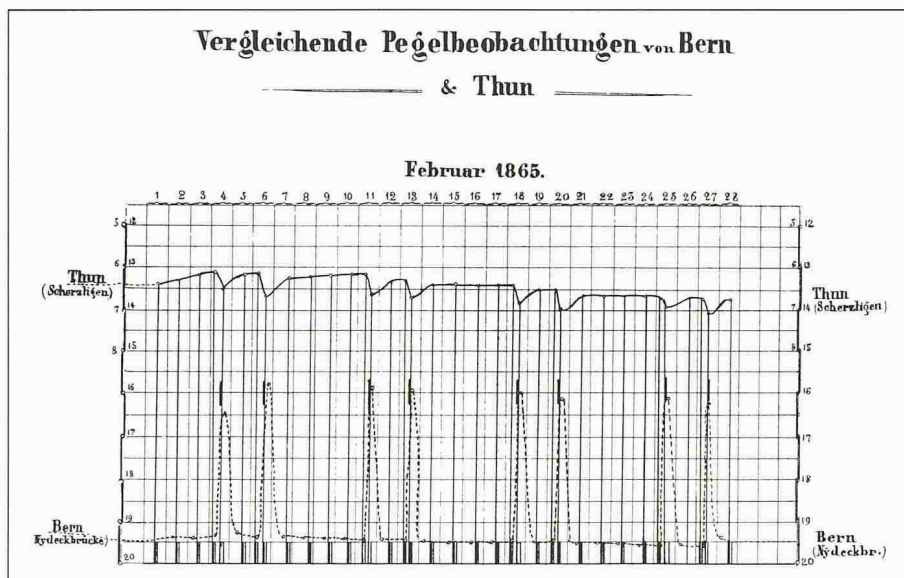


Bild 3. Schwallmessungen an der Aare zwischen Thun und Bern. Oben die Ganglinie (ausgezogen) des Pegelstands in Scherzligen am Auslauf des Thunersees; unten die Ganglinie (punktiert) des Pegelstands an der Nydeggbrücke in Bern. Pegelskala in Fuss, Pegelhorizonte ungleich. An zwei Fahrtagen pro Woche wurde mit den Thuner Staatsschleusen ein Schwall zur Erleichterung der Schifffahrt und Flösserei erzeugt [5]

Es scheint, dass die praktischen Erfahrungen Lauterburgs und seine Nähe zu den Bundesstellen und damit zu potentiellen Finanzquellen ihm dieses Amt eintrugen. Von diesem trat er aber bereits Anfang 1866 zugunsten von Professor C. Culmann zurück, um die Leitung des von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft geschaffenen und der Aufsicht der Kommission unterstellten Eidgenössischen Hydrometrischen Zentralbureaus zu übernehmen. In dieser Eigenschaft entwickelte er mit seinen Mitarbeitern eine zielstrebige Tätigkeit zur Aufstellung von allgemeinen Grundlagen sowie zur Intensivierung und Vereinheitlichung der kantonalen Wasserstandsmessungen und schliesslich zur Sammlung und Veröffentlichung der entsprechenden Daten. Dabei galt es eine ganze Reihe von Schwierigkeiten zu überwinden. So hatte damals fast jeder Pegel einen anderen Horizont, dann gab es für die Pegelteilung zwei Masssysteme, nämlich Fuss und Dezimeter, und zudem zählten einige Pegelteilungen aufwärts und andere abwärts. Das Ergebnis dieser Anstrengungen war nach Epper [6] eine

- Tabellarische Zusammenstellung der Oberfläche einzelner Flussgebiete
- Tabelle der Gletscher
- Tabelle der Seen
- Tabelle der Längen der Flüsse
- Übersichtskarte des schweizerischen Pegel- und Witterungsstationen-netzes
- Veröffentlichung mit den grafischen Darstellungen der Pegelstände unter Beigabe einzelner Kurven von mitt-

leren täglichen Lufttemperaturen und bildlicher Wiedergabe von Niederschlagshöhen.

Es ist erstaunlich, dass Lauterburg dieses Ergebnis bis Anfang 1872, also in sechs Jahren, erzielen konnte – allerdings, wie er selber sagt, «mit einem an Unbescheidenheit grenzenden Ungestüm»! Die Hydrometrische Kommission und das Zentralbureau besaßen aber auch von Anfang an die Unterstützung des Bundesrates, das heisst des Vorstehers des Departements des Innern, und stiessen in wissenschaftlichen Kreisen auf viel Verständnis. Doch mussten immerhin die kantonalen Ausführungsorgane mit viel Korrespondenz und anlässlich zahlreicher Begehungen und Besprechungen für die Sache gewonnen werden. Ferner galt es, Verbindungen zu anderen Kommissionen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und zu ausländischen Fachstellen zu knüpfen. Im allgemeinen führte das Zentralbüro selber keine Messungen durch; es besass bloss einen «Amslerschen Planimeter und ein Distanzrädchen» sowie kleine «Strommessungsapparate». Von weit grösserer Bedeutung war, dass es die Entwicklung von «selbstregistrierenden Wasserstandsanzeigern» förderte, indem es drei Werkstätten mit der Herstellung je eines Prototyps beauftragte, nämlich jene von Hermann und Pfister in Bern, von Hasler in Bern und von Hipp in Neuenburg. Als bester wurde der Wasserstandsschreiber von Hasler erkannt und in zehnfacher Ausfertigung bestellt und eingesetzt (Bild 4).

Ausserdem schaltete sich das Zentralbureau im Auftrag der Kantone in die Herstellung der Pegellatten und der Pegelfixpunkte ein, um deren Vereinheitlichung zu erreichen. Grösseres Aufsehen erregte die im November 1867 in Basel durchgeführte Internationale Rheinstrommessung, die hauptsächlich der Erprobung von verschiedenen, damals gebräuchlichen Strömungsmessern (verschiedene Typen von Flügeln und Schwimmern) diente. Zu den Hauptarbeiten, insbesondere von Lauterburg persönlich, gehörte aber sein «Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Übersicht der aus Grösse und Beschaffenheit der Flussgebiete abgeleiteten schweizerischen Stromabflussmengen», über den hier im nächsten Abschnitt berichtet wird.

Als Lauterburg Anfang 1872 als Leiter des Eidgenössischen Hydrometrischen Zentralbureaus zurücktrat, um sich wieder seinem freien Ingenieurberuf zu widmen, waren die wesentlichen Schritte zur Schaffung einer landesweiten Hydrometrie getan oder zumindest gut vorbereitet. Sein Rücktritt fiel mit der Eingliederung des Zentralbureaus in das im Vorjahr neugeschaffene Eidgenössische Oberbauinspektorat (Baubureau des Eidgenössischen Departements des Innern) zusammen. Im gleichen Zug wurde auch die hydrometrische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft aufgelöst.

Sowohl als Kommissionsmitglied beziehungsweise Leiter des Zentralbureaus wie auch später setzte sich Lauterburg

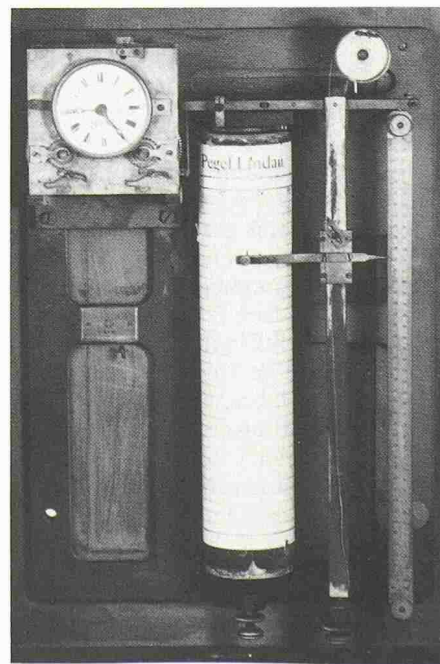


Bild 4. Limnigraf. Schwimmergerät von G. Hasler, Bern, 1867 in Lindau am Bodensee aufgestellt (Foto Deutsches Museum München)

wiederholt für eine Intensivierung hydrometrischer Messungen ein und widmete sich spezifischen Messproblemen. Ihn beschäftigten insbesondere auffallende Wasserstands- und Strömungsschwankungen, die die Beobachtungen verfälschen konnten. Sie bewogen ihn nämlich, die Genauigkeit von Abflussmessungen nicht sehr hoch einzuschätzen (Bild 5).

Interessant sind seine Hinweise auf Abflussstörungen durch Schiffe, Flosse, Fähren und Schleusungen sowie auf jene instationäre Erscheinung, die heute etwa als Hysterese der Pegelrelation bezeichnet wird. Darin kommt erneut die Erfahrung von Lauterburg mit dem Schwallbetrieb der Regulierwehre und natürlich auch mit Hochwasserwellen zum Ausdruck.

Dass ihm, dem Wasserbauingenieur des hochwasserreichen 19. Jahrhunderts, die Hochwasserhydrologie besonders nahe lag, ist selbstverständlich. Eindringlich propagierte er beispielsweise nach den verheerenden Überschwemmungen von 1868 die Einrichtung eines Wasseralarmsystems [7]. Er stellte sich darunter besondere meteorologische Stationen im Einzugsgebiet der grösseren Flüsse vor, von denen aus die Überschreitung gewisser Grenzwerte (vor allem von Niederschlagswerten), telegrafisch verbreitet werden sollten. Die Empfänger sollten die Wasserwehrkorps sein, deren Schaffung er in allen hochwasserbedrohten Ortschaften empfahl.

Ein besonderes Augenmerk Lauterburgs galt auch den Seespiegelschwankungen jeder Art. So berichtet er 1867 [4] folgendes: «Eine Eigentümlichkeit der Seen, welche der näheren Aufmerksamkeit und Untersuchung besonders verdient, sind die Seewallungen (Seiches) bei vollkommen klarem Wasserspiegel. An fast allen Seen sagten uns die in solchen Dingen persönlich unbeteiligten Pegelbeobachter, dass der See selbst beim ruhigsten Wetter und bei herrschender Tröckene, d.h. also bei unveränderlichem Stand der Zuflüsse, innerhalb weniger Stunden um mehrere Zoll auf- oder absteige. Namentlich soll sich diese Erscheinung nach Aussage einiger Beobachter vor den Witterungsveränderungen einstellen.»

Lauterburg sah für den Sommer 1866 eine besondere Messkampagne am Vierwaldstättersee vor, um mit Pegel- und Luftdruckmessungen in Flüelen und Luzern Näheres über diesen Effekt zu erfahren. Im Nachgang zu den Seiches erwähnt Lauterburg auch das Auflaufen der Seewassermassen infolge anhaltender und starker Winde und erwähnt dabei [7], dass Pegel an gegenüberliegenden Ufern über längere Zeit

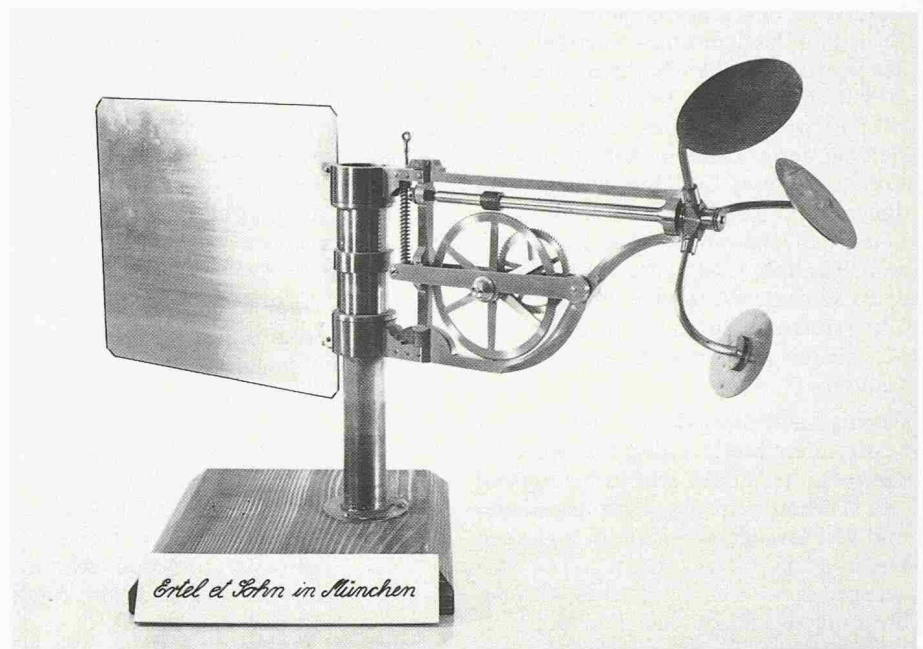


Bild 5. Messflügel (System Woltman) von Ertel und Sohn, München. Auf der Flügelachse dreht eine Schnecke mit. Durch Schnurzug kann das Zählwerk während einer gewissen Zeit an die Schnecke gekuppelt werden. Gezählt wird die Drehzahl. Zur Ableseung derselben muss jeweils das ganze Gerät aus dem Wasser gehoben werden

entsprechende Spiegelunterschiede gezeigt hätten, und zwar bis zu 1 Fuss am Bodensee und bis zu 1,5 Fuss am Genfersee.

Selbstverständlich wusste Lauterburg auch um die weitaus grösseren Seespiegelschwankungen infolge der Variation der Zu- und Abflüsse und um die wichtige Retentionswirkung der Seen. Er benutzte zu deren Quantifizierung die Retentionsgleichung in einer Art Differenzschreibweise [7]. Die uns heute allen geläufige Differentialgleichung kannte er offensichtlich noch nicht; sie war damals in dieser Form auch nur ganz wenigen Hydraulikern geläufig. Immerhin gewann er durch seine Berechnungen und gestützt auf seine Erfahrungen mit den Aarewehren (Staatschleusen) in Thun eine bemerkenswerte Übersicht über die Möglichkeiten einer Seeregulierung. Ja, es war eines seiner Hauptanliegen, diese Möglichkeiten durch bessere hydrometrische Beobachtungen auszuschöpfen und namentlich für den Hochwasserschutz einzusetzen. Aus dieser Optik schlug er [4, 5] auch vor, die Aarewehre von Thun per Telegraf mit den Regulierwehren der Juragewässerkorrektur zu verbinden, um deren Betrieb aufeinander abzustimmen und dadurch die Hochwassergefahr im Seeland zusätzlich zu mildern. Dabei erwähnte er selbstbewusst, dass das Juragewässerkorrektionsprojekt, das dann in den Jahren 1868 bis 1891 verwirklicht wurde, zwar noch keine Regulierwehre vorsehe, dass er solche aber als unabdingbar erachte. In der Tat musste die Juragewässerkorrektur später, d.h. 1887 und nochmals

1940 durch ein Regulierwehr in Port sowie 1970 durch ein solches in Flumenthal ergänzt werden.

Ebenso wusste Lauterburg über die grosse Retentionswirkung der Grundwasserträger und der Gletscher Bescheid. In seinem Rechenschaftsbericht von 1867 [4] empfahl er, die «wechselnde Gletscherschmelzung» durch «Aufstellung von selbstregistrierenden Instrumenten am Fuss der grösseren Gletscher, wie zum Beispiel des Rhone-, Aletsch- und Aaregletschers» näher zu untersuchen. Er sah dies wohl als Ergänzung zu den glaziologischen Arbeiten seiner Zeitgenossen G. Agassiz und J. Venetz. Jedenfalls bewies er auch hier eine grosse Weitsicht, denn die drei genannten Gletscher gehören bis in unsere Tage zu den besterforschten der Schweiz mit dementsprechend umfassend gemessenen Wasserbilanzen.

Abflussmodelle

Als Hauptarbeit Lauterburgs auf dem Gebiet der Hydrologie muss sein «Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Übersicht der aus der Grösse und Beschaffenheit der Flussgebiete abgeleiteten schweizerischen Stromabflussmengen, gestützt auf die meteorologischen und hydrometrischen Beobachtungen der Schweiz, nebst Anleitung zur Behandlung dieser Aufgabe im allgemeinen» gewertet werden. Er veröffentlichte sie unter diesem langen Titel 1876 [8] und in einer geraffteren Form – wie bereits erwähnt – 1887 [1]. Doch er-

läuterte er den Kern derselben bereits 1871 [9] anlässlich eines Vortrages vor der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Dieses frühe Datum von 1871 ist wichtig, weil es belegt, dass es sich bei der erwähnten Arbeit um eine Frucht der von 1866 bis Anfang 1872 dauernden Tätigkeit Lauterburgs als Leiter des Hydrometrischen Zentralbureaus handelt. Und in der Tat erwähnte er in seinem «Versuch» von 1876 die Unterstützung durch seine damaligen Mitarbeiter *A. Benteli*, *G. Berger* und *J. Glauser*.

Es ging Lauterburg darum, die an einer bestimmten Stelle eines Flusses oder Baches auftretenden Abflüsse aufgrund von Parametern des Einzugsgebietes und von verfügbaren meteorologischen Daten abzuschätzen. Dazu sah er sich veranlasst, weil er die direkte Abflussmessung als viel zu teuer und zu heikel erachtete, um sie mehr als an ein paar ausgewählten Stellen anzuwenden. Somit musste er für alle anderen Stellen eine weitere Methode zur Abflussbestimmung verfügbar machen. Denn als Leiter des Hydrometrischen Zentralbureaus der Schweiz musste und wollte er zu einem Gesamt- und nicht bloss zu einem Teilbild gelangen. Und gerade als Leiter waren ihm die für die damals bescheidenen öffentlichen Mittel doch recht hohen Kosten der Abflussmessungen gut bekannt. Auch hatte er aufgrund von Feldversuchen die Erfahrung gemacht, dass solche Messungen an gewissen Orten mit Fehlern von 10, 20 und mehr Prozent behaftet – ja bei Hochwasser sogar undurchführbar – waren.

So gesehen, handelte es sich beim «Versuch» beziehungsweise bei der Methode Lauterburgs um eine Art Interpolationsmethode aufgrund von geophysikalischen Parametern. Die Ergebnisse der wenigen verfügbaren Abflussmessstationen sollten damit möglichst sinnvoll auf das ganze schweizerische Gewässernetz übertragen werden können. Dass dabei Fehler von beispielsweise 30% in Kauf zu nehmen waren, erschien gegenüber den bereits erwähnten Fehlern der Direktmessung durchaus vertretbar.

Konkret mündete die Methode Lauterburgs in Schätzformeln für fünf charakteristische Abflüsse aus, die wir heute als

- Niedrigstniederwasser
- Niederwasser
- Mittelwasser
- Hochwasser
- Höchsthochwasser

bezeichnen würden, die von ihm selber aber anders und zum Teil in mehreren Sätzen umschrieben wurden. Die Parameter sind recht zahlreich, so dass es

viel zu weit führen würde, sie alle aufzuzählen. Sinnvoller erscheint es hier, als Beispiel die Formeln für Hochwasser anzuführen – zum einen, weil sie sich sehr transparent und modern ausnehmen, zum andern, weil es auch heute in den meisten Fällen unmöglich ist, Höchstabflüsse direkt zu messen, weshalb man nach wie vor auf Schätzungen angewiesen bleibt.

Sämtliche Hochwasserformeln sind gemäss Lauterburgs eigener Schreibweise [1, 8] von der Form.

$$(1) \quad HQ = Q + \alpha \gamma HF + cf \text{ in m}^3/\text{s}$$

mit Q = «Vor der Anschwellung abgelaufene Wassermenge»

$\alpha \gamma HF$ = «Die von plötzlichen Hochflutregen oder von langen anhaltenden und weitverbreiteten Landregen herrührende Anschwellung»

cf = «Die Gletscherschmelzmasse, die den Katastrophenzuständen entspricht.»

Die drei Summanden würde man heute als *Basisabfluss*, *Starkniederschlagabfluss* und *regenbedingtes Gletscherschmelzwasser* bezeichnen. Analysiert man den zweiten Summanden weiter, so findet man für

α = «Der gesamte Abflussfaktor»

γ = «Reduktionsfaktor, welcher das wahrscheinliche Mass der Ausdehnung oder Verbreitung der stärksten Land- oder Flutregen über die grossen Flussgebiete vertritt»

H = «Grösster bekannter Niederschlag» pro Zeit in mm

F = «Quellengebiet bzw. Gebietsoberfläche» in km².

Gemäss heutigen Begriffen wäre α der Scheitelabflussbeiwert, H die Punktniederschlags-Intensität, γH die Gebietsniederschlags-Intensität und F die Einzugsgebietsfläche.

Der gesamte «Abflussfaktor» α ergibt sich bei Lauterburg aus der Summe von drei Zustandfaktoren. Bei diesen handelt es sich um «Bruchzahlen, mit welchen die Niederschlagsmenge, das heisst die über das Quellengebiet ausgebreitet gedachte Niederschlagsschichthöhe zu multiplizieren ist, um den unmittelbar zu Tal fliessenden Teil derselben zu erhalten». Es gilt also

$$(2) \quad \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \text{ wobei } \alpha \leq 1$$

mit

α_1 «für den Steilheitsfaktor» (0,1 bis 0,3)

α_2 «für den Undurchlässigkeitsfaktor» (0,1 bis 0,3)

α_3 «für den Sterilitätsfaktor» (0 bis 0,3)

Diese Faktoren bestimmte Lauterburg durch viele Vergleiche mit direkten Ab-

flussmessungen (genauere Angaben darüber können einer Tabelle entnommen werden). Noch interessanter ist der Reduktionsfaktor γ , mit dem Lauterburg die Punktniederschläge auf Gebietsniederschläge umrechnete.

1876 [8] gab er dafür eine Tabelle in Funktion der Einzugsgebietsgrösse an, und zwar im Bereich von 100 bis 36 000 km², später eine Formel.

Damit hat er wohl eine Pioniertat geleistet, denn es scheint, dass vor ihm keiner diesen heute selbstverständlichen Zusammenhang bezifferte. Dies deutet auch Forchheimer 1916 in seinem Rückblick auf die Entwicklung von Hochwasserformeln an [2].

Für die Regenintensität H empfahl Lauterburg 1876 [8] «das arithmetische Mittel aller bis Ende 1870 erlebten grössten Niederschlagshöhen des betreffenden Flussgebiets» und gab eine Tabelle der vom 1. Dezember 1863 bis 28. Februar 1870 in rund 100 Orten der Schweiz erhobenen grössten Tageswerte wieder. 1887 bezeichnete er dagegen drei verschiedene Extremereignisse als massgebend [1].

Schliesslich bleibt noch der dritte Summand der Hochwasserformel, d.h. die «Gletscherschmelzmasse», zu erklären:

f = vergletscherte Fläche in km²

c = Schmelzrate «in Voraussetzung einer durchschnittlichen Gletscher-Lufttemperatur von 14 bis 25 °C».

So lautet dann zum Beispiel Lauterburgs Formel für die «Katastrophenwassermenge infolge eines ausserordentlichen einstündigen Schlagregens» in der Schweiz

$$(3) \quad HHQ = Q_m + \alpha \cdot \frac{32}{31+F} \cdot \frac{0,126}{3600} \cdot F \cdot 1\,000\,000 + 0,05 f$$

beziehungsweise

$$(4) \quad HHQ = Q_m + \alpha \frac{1120}{31+F} \cdot F + 0,05 f$$

und wenn, wie das bei kleinen, unvergletscherten Einzugsgebieten der Fall ist, Q_m und $0,05 f$ ausser acht gelassen werden können:

$$(5) \quad HHQ = \alpha \cdot \frac{1120}{31+F} \cdot F$$

Bild 6 zeigt einen Vergleich der numerischen Werte von Formel 5 mit jenen von heute gängigen empirischen Formeln sowie mit kürzlich zusammengetragenen Messwerten nach [10]; die Übereinstimmung als Umhüllende ist bemerkenswert.

Es ist erstaunlich, wie Lauterburg bei der Aufstellung seiner Schätzformeln

für Nieder-, Mittel- und Hochwasserabflüsse die abflussbildenden Prozesse schilderte und zu quantifizieren suchte. Dazu gehörten Dinge, die wir heute unter den Begriffen Interzeption, Transpiration, Evaporation, Retention, Infiltration und Exfiltration kennen. Ganz besonders intensiv befasste er sich mit der Retentionswirkung des Waldes. Anstelle seiner entsprechenden Formeln sei hier eine typische Aussage aus seiner Schrift von 1887 wiedergegeben [1]:

«So lässt zum Beispiel ein dichter geschlossener, selbst ziemlich steiler Tannenwald von der stärksten auf ihn fallenden Regenmasse per Sekunde nur ein Drittel oder höchstens die Hälfte derjenigen Abflussmenge ablaufen, die sonst über das gleiche, aber unbewaldete und glatte Terrain abfliessen würde. Überdies findet aber vermöge der starken vegetabilischen Wasserabsorption und Verdunstung über dem Waldgrunde eine Reduktion der gesamten auf ihn fallenden Regenmenge statt. Etwas weniger stark wirken die Laubwälder und unter den Nadelwäldern am schwächsten die Lärchenwälder.» ... und später: «Alle diese Einflüsse müssten jedoch ein Ende nehmen, wenn die starken Regenfälle wochenlang anhalten würden.»

Aufgrund dieser Einsicht griff Lauterburg auch vehement in die Diskussion um den hydrologischen Nutzen des Waldes ein: Dem Raubbau der Wälder sollte Einhalt geboten und der Wiederaufforstung Vorschub geleistet werden. In seiner Schrift «Über den Einfluss der Wälder auf die Quellen- und Stromverhältnisse der Schweiz» [11] wurde er bisweilen sogar polemisch, wenn es galt, den Wald zu verteidigen. Offenbar hatte 1857 ein namhafter französischer Gelehrter die These vertreten, der Wald sei hydrologisch gesehen unnützlich und könne darum ohne weiteres zugunsten einer Kulturlandgewinnung geschlagen werden. Diesem «Waldfeind» wurde entschlossen der Kampf angesagt. Allerdings deutete Lauterburg an, dass die Beweisführung einiger «Waldfreunde» mit Lysimetern von nur einem Quadratfuss Auffangfläche – also etwa von Blumentopfgrösse – unzulänglich und durch den Einsatz grösserer Geräte zu ergänzen sei. Ferner empfahl er die Aufstellung einer Abflussstatistik in Funktion der Waldart und der Waldveränderung im Einzugsgebiet, schlug also eine Art Testgebiete vor.

Lauterburg erkannte selbstverständlich auch die Bedeutung des Waldes als Erosionsschutz in steilen Gebieten. In diesem Zusammenhang ist sein Taschenbuch über «die Sicherstellung unserer Flussufer und Rutschhalden» von 1886 zu sehen [12], wo er praktische Rat-

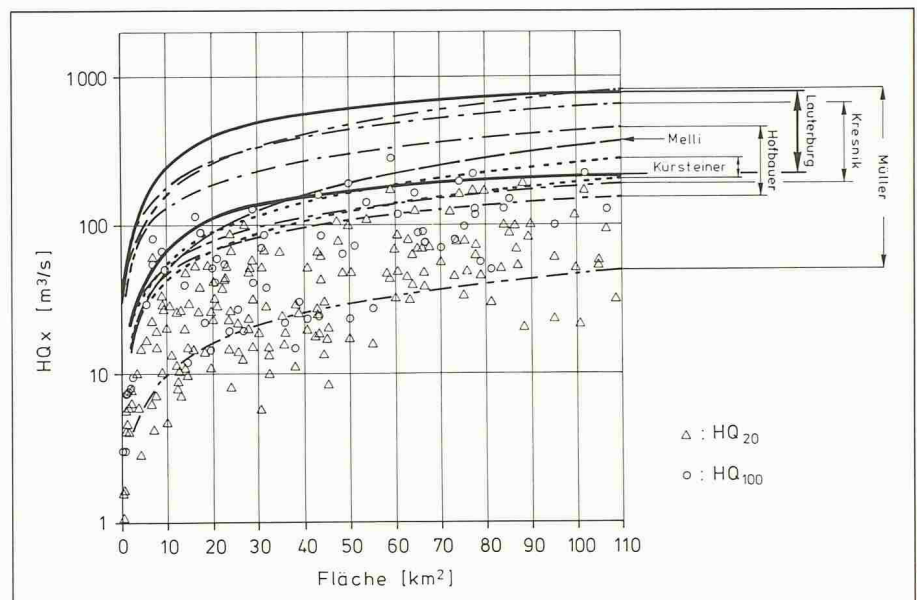


Bild 6. Numerische Werte der Hochwasserschätzformel von Lauterburg für kleine Einzugsgebiete im Vergleich zu den Werten heute gängiger Schätzformeln (obere und untere Grenzwerte) und kürzlich zusammengetragener Messungen von Höchstwerten in der Schweiz (nach [10])

schläge für die Bepflanzung von Lökergesteinsböschungen und -hängen «mit rasch wachsenden, kräftig und tiefwurzelnden Baum- und Strauchgattungen» vermittelte.

Motivation

Warum widmete Lauterburg einen wesentlichen Teil seiner Kraft und seiner Mittel den hydrologischen Arbeiten? Er war ja ein Bauingenieur, der sich die meiste Zeit seines Lebens im Staatsdienst oder als Selbständigerwerbender mit Bau- und Projektierungsaufgaben befasste, worauf er in seinen Schriften auch gerne hinweist. In der heutigen Sprache würde man ihn ganz einfach als Wasserbauer und allenfalls noch als Brückenbauer bezeichnen.

Lauterburgs Interesse an der Hydrologie der stehenden und fliessenden Gewässer ergab sich zunächst unmittelbar aus praktischen Bau- und Betriebsfragen heraus:

- Es galt, die Thunerseeregulierung auf die vielfältigen Bedürfnisse der Seeanlieger und -unterlieger abzustimmen,
- für Wildbachverbauungen und Flusskorrekturen waren Angaben über die zu erwartenden Hochwasser erforderlich, ebenso für die sichere Anordnung von Brücken,
- die aufblühende Industrie benötigte mehr und mehr Wasserkraft und war deshalb an Nieder- und Mittelwasserabflüssen interessiert,
- eine wachsende Bevölkerung mit zunehmenden hygienischen Ansprü-

chen brauchte mehr Trinkwasser, so dass die Quell- und Grundwasserverhältnisse besser beziffert werden mussten usw.

Und aus diesen praktischen Fragen ergab sich schliesslich Lauterburgs wissenschaftliches Interesse. Dieser Zusammenhang darf für die Anfänge der Hydrologie als typisch bezeichnet werden: Viele markante Entwicklungen im 18. und 19. Jahrhundert sind Wasserbauingenieuren zu verdanken! Allerdings kannte diese Zeit noch nicht die heutige Spezialisierung, so dass ein Ingenieur sowohl Techniker als auch Naturforscher war und sich dementsprechend – wie eben Lauterburg – auch in naturforschenden Kreisen bewegte.

Aus diesem Grunde war die hydrologische Forschung damals sehr praxisbeziehungswise techniknah. Nun scheint es für Lauterburg diesbezüglich einen Schwerpunkt gegeben zu haben, und das vor allem gegen das Ende seiner Karriere hin: Es war der Wunsch nach einer Abschätzung des schweizerischen Wasserkraftpotentials. Dieser Frage widmete er von 1888 bis 1891 nicht weniger als sechs Schriften. Hält man sich an seine «Übersicht der Schweizerischen Wasserkräfte innerhalb dem voraussichtlichen Entwicklungsgebiet der inländischen Industrietätigkeit» von 1890 [6], erkennt man folgendes:

Lauterburg bestimmte für 386 Abschnitte des schweizerischen Gewässernetzes sowohl die Bruttowasserkraft als auch die sogenannte produktive Bruttowasserkraft. Als nutzbaren Abfluss bezeichnete er eine «industrielle Wassermenge», die er verhältnismässig umständlich definierte: «Wasserstand,

No der einzelnen Gewässerstrecken	Hauptflußgebiete	Gesamte Brutto-Wasserkräfte in HP		Gesamte produktive Brutto- Wasserkräfte in HP
		in d. sog. illusorischen Gewässerstrecken	in d. praktisch verwend- baren Gewässerstrecken	
1-97 ^a	Rhein	1 209 017	434 298	229 741
98-224	Aare	594 582	216 652	128 309
225-255	Reuß	276 236	52 764	55 705
256-282	Limmat	77 748	84 710	25 632
283-336 ^a und 386	Rhone (inklusive Doubs)	586 804	328 244	115 475
337-365	Tessin	54 934	256 362	34 589
366-385	Inn (inkl. Maira, Poschiavino u. Ram)	2 057	307 805	34 363
Total		2 801 378	1 680 835	623 814
		4 482 213		

Bild 7. Übersicht über das Wasserkraftpotential der Schweiz in PS nach Lauterburg. «Bruttowasserkräfte» (partielle Bruttoleistung der Fliessgewässer) und «produktive Bruttowasserkräfte» (nutzbare Bruttoleistung) [6]

welcher mitten zwischen dem absoluten Mittelwasserstand und demjenigen Stand hineinfällt, welcher sich nach langer Trockenheit nur noch aus dem Zusammenlauf der Quellen und des stationären Grundwassers zu bilden vermag.» Das Bruttogefälle entnahm er den damals verfügbaren Karten und bestimmte die Bruttowasserkraft P aus dem Produkt

$$P = 13,3 QH \text{ in PS}$$

mit

Q = volle «industrielle Wassermenge» in den «praktisch verwendbaren Gewässerstrecken» und $\frac{1}{3}$ davon in den «sogenannten illusorischen»

H = volle Bruttofallhöhe «in den praktisch verwendbaren Gewässerstrecken» und $\frac{1}{3}$ davon in den «sogenannten illusorischen».

Das Ergebnis für die Hauptflußgebiete zeigt die Tabelle von Bild 7. Die gesamte Bruttowasserkraft der Schweiz errechnete Lauterburg dementsprechend zu 4,48 Millionen PS oder rund 3300 MW. Davon betrachtete er, wie die gleiche Tabelle zeigt, nur 0,62 Millionen PS oder rund 460 MW – das heisst bloss 14% – als «produktiv». Zu dieser eher vorsichtigen Aussage gelangte er, weil er die Nutzung der Wasserkräfte in vielen Gebirgsregionen als industriell aussichtslos einschätzte; zudem sah er in andern Regionen unüberwindliche wasserrechtliche Probleme, wobei er vermutlich an die Schifffahrt und die Flösserei dachte. Würde man die errechnete produktive Bruttowasserkraft noch mit einem mittleren Wirkungsgrad von 70% multiplizieren, könnte man auf eine produktive Nettowasserkraft von 320 MW oder auf eine entsprechend jährliche Produktion von etwa 2,5 Milliarden kWh schließen.

Vergleicht man die letzte Zahl mit der jährlichen Produktion der heute in der Schweiz bestehenden Wasserkraftanlagen von 32 Milliarden kWh, so erstaunt

der grosse Unterschied. Er ergibt sich aus dem Umstand, dass diese heutigen Anlagen nicht nur Niederwasser, sondern weit höhere Abflüsse nutzen und

gerade auch die von Lauterburg als unattraktiv eingestuften Gebirgsregionen belegen. Vergleicht man die 2,5 Milliarden aus der Lauterburgschen Schätzung hingegen mit der Jahresproduktion der Schweizerischen Wasserkraftanlagen von rund 2 Milliarden kWh im Jahre 1910, so ist man verblüfft oder zumindest von der Übereinstimmung beeindruckt: Lauterburg war 1890 offenbar in der Lage, die Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung aufgrund der damaligen politischen, wirtschaftlichen und technischen Gegebenheiten richtig einzuschätzen!

Wenn weiter oben von kWh die Rede war, so impliziert das fast eine Produktion von Elektrizität. Unter Wasserkraft verstand man zu Lauterburgs Zeiten aber in erster Linie eine mechanische Kraft, die mit Zahnrädern, Torsionsstangen, Seiltransmissionen usw. an die benachbarten Mühlen und Fa-

Literatur

- [1] Lauterburg R.: Anleitung zur Berechnung der mitteleuropäischen Quellen- und Stromabflussmengen aus der Regenmenge, Grösse und Beschaffenheit der Quellen- und Flußgebiete. Allgemeine Bauzeitung, 52. Jg., Wien, 1887, sowie in einer gestrafften Monografie unbekannter Herkunft, 1887
- [2] Forchheimer Ph.: Über den Höchstwasserdurchfluss im südlichen Teil Europas, Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, 22. Jahrgang, Wien 1916
- [3] Lauterburg R.: Bericht zu den Pegelbeobachtungen an der Aare in Bern und Thun, vom 1. Mai 1864 bis 1. Mai 1865. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1865, Huber u. Cie., Bern, 1866
- [4] Lauterburg R.: Hydrometrische Beobachtungen der Schweiz. Bericht auf 31. Dezember 1866. Buchdruckerei B.F. Haller, Bern, 1867
- [5] Lauterburg R.: Bericht über die hydrometrischen Beobachtungen in der Schweiz. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern aus dem Jahre 1866, Huber u. Cie., Bern, 1867
- [6] Epper J.: Eidgenössisches Hydrometrisches Bureau. Die Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz. Im Eigenverlag, Bern, 1907
- [7] Lauterburg R.: Über die Variationen und Sondererscheinungen im Laufe der Gewässer samt einigen Notizen über die Strommessung. Vorgetragen in der physikalischen Sektion der Naturforschenden Gesellschaft in Bern vom 13. November 1875 und 29. Januar 1876. B.F. Haller, Bern, 1876
- [8] Lauterburg R.: Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Übersicht der aus der Grösse und Beschaffenheit der Flußgebiete abgeleiteten Schweizerischen Stromabflussmengen, gestützt auf die meteorologischen und hydrometrischen Beobachtungen der Schweiz, nebst Anleitung zur Behandlung dieser Aufgabe im allgemeinen. 2. sehr vermehrte und mit Formeln versehene Aufl., Huber u. Cie., Bern, 1876
- [9] Lauterburg R.: Aus den Vorträgen des Herrn Ingenieur L'. Gehalten in der Hauptversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Frauenfeld am 21. August und in der Sektionsitzung für Physik am 22. August. Huber, Frauenfeld, 1871
- [10] Kölla E.: Abschätzung von Spitzenabflüssen in kleinen natürlichen Einzugsgebieten der Schweiz. Schweiz. Ingenieur und Architekt. Nr. 33-34, 17. Aug., 105. Jg., Zürich, 1987
- [11] Lauterburg R.: Über den Einfluss der Wälder auf die Quellen- und Stromverhältnisse der Schweiz. Kurzer Auszug aus einer ausführlichen Behandlung dieses Gegenstandes. SA. aus den Verhandlungen der 59. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Basel 1876. Autorisierte 2. Ausg. K.J. Wyss, Bern, 1877
- [12] Lauterburg R.: Die Sicherstellung unserer Flussufer und Rutschhalden. K.J. Wyss, Bern, 1886
- [13] Lauterburg R.: Die schweizerischen Wasserkräfte. Motivierte Anregung zur Aufnahme und Registrierung der schweizerischen Wasserkräfte als eine Aufgabe der eidgenössischen Bundesverwaltung an die Herren Mitglieder der zuständigen hohen Bundesbehörden vom Verfasser, Bern, 1888
- [14] Lauterburg R.: Die schweizerischen Wasserkräfte. Motivierte Anregung zur Aufnahme und Registrierung der verwendbaren Wasserkräfte als eine soziale Aufgabe der Staats- und Gemeindeverwaltung. Berner Tagblatt, Bern, 1889

briken abgegeben wurde. Für Energietransporte über etwas längere Distanzen benutzte man Druckwasser oder Druckluft. Die Elektrizität war als Energieträger zwar bekannt und wurde ab 1880 auch in einigen Anlagen produziert, konnte aber noch nicht über grosse Distanzen transportiert werden. Die diesbezüglich entscheidende Entwicklung der Generatoren und Hochspannungsleitungen setzte erst 1890 bis 1900, also nach Lauterburg ein.

Darum hatte Lauterburg ja eine Nutzung der Wasserkraft in Gebirgsregionen als aussichtslos erachtet. Er sah eben keine Möglichkeit, die Energie von dort in die besiedelten Gebiete des Unterlands zu bringen. Dieser Umstand beschäftigte ihn derart, dass er schliesslich die Ansiedlung von Industrien in den wasserreichen Hochtälern propagierte. Dabei kam sein soziales

Verantwortungsbewusstsein sehr schön zur Geltung: In seinen Eingaben von 1888 und 1889 an die Kantons- und Bundesbehörden empfahl er nämlich [13, 14]

- die verwendbaren Wasserkräfte der Schweiz durch den Bund erheben zu lassen, um sie dadurch unter anderem der Spekulation (etwa gemäss den Beispielen im Eisenbahnbau) zu entziehen,
- die Nutzung der Wasserkraft als Alternative zur vier- bis fünfmal teureren Dampfkraft (als Folge der steigenden Kohlenpreise) zu fördern,
- die Industrialisierung durch Wasserkraft ganz allgemein zu beschleunigen, um die Arbeitslosigkeit und die Armut zu bekämpfen,
- durch Wasserkraftanlagen angetriebene Arbeitsanstalten und Lehrwerkstätten für Arbeitswillige in abseiti-

gen und darum armen Regionen zu errichten,

- dabei aber alle Projekte «von dem gebieterischen Standpunkt zu erwägen, dass, wo müssige und brauchbare Hände zur Verfügung stehen, zuerst diese zu beschäftigen sind und erst nachher die Maschinenarbeit einzuführen sei!»

Lauterburg, der von 1816 bis 1893 lebte, fühlte sich also bereits im *Spannungsfeld zwischen Fluch und Segen der Technik* und suchte nach einem menschenwürdigen und darum verantwortbaren Weg. War er auch in dieser Hinsicht seiner Zeit voraus?

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. D. Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 8092 Zürich.

Erhalten von Beton

Das Forschungsinstitut des Vereins der österreichischen Zementfabrikanten in Wien hat nach dem Erfolg von zwei internationalen Kolloquien [1, 2] eines zu dem äusserst aktuellen Themenkreis «Erhalten von Beton» am 17. und 18. November 1986 im Wiener Zement-Forschungsinstitut unter Beteiligung von international führenden Fachleuten aus Deutschland, Jugoslawien, den Niederlanden, Österreich und der Schweiz durchgeführt [3-5]. Dabei wurde auf die Porenstruktur und Transportvorgänge im Beton, die Beständigkeit der Betonoberfläche, den Korrosionsschutz durch grossflächige Überzüge, die Wiederherstellung des Korrosionsschutzes und die Überwachung von Instandsetzungsarbeiten und instandgesetzten Bauwerken ausführlich eingegangen und Schlussfolgerungen für die Praxis und weitere Forschung gezogen.

Transportvorgänge und Porenstruktur

Eine wesentliche Angriffsart bedeutet das Eindringen von Gas oder Wasser und gelösten Stoffen in den Beton. Für Gegenmassnahmen muss man die nur über die Porenstruktur möglichen Transportvorgänge kennen. - Unter Vorsitz von F. H. Wittmann, Lausanne, befassten sich M. J. Setzer, München, mit dem Transport von Wasser und gelösten Stoffen in den Beton [6], H. Grube, Düsseldorf, mit dem Einfluss der Wasserdurchlässigkeit des Betons auf die Gebrauchseigenschaften [7, 8], J. Kropp, Karlsruhe, mit der Wechselwirkung von Gasen mit Beton [9, 10] und R. Engelfried, Dortmund, mit Trans-

portvorgängen bei Beschichtungen auf Beton [11]. - Sicherer Wissensstand besteht bei Teilfragen (Einfluss des Wasser/Zement-Wertes und der Nachbehandlung); neue betontechnologische Methoden (Einsatz von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, Optimierung von Sieblinien und Verwenden von preiswerten aber in der Kornabstufung weniger günstigen Zuschlagstoffen erfordern noch weitere Untersuchungen.

Beständigkeit der Betonoberfläche

Bei Beton ist der Einfluss der Schwefel- und Stickoxide (saurer Regen) gering, die für den Brückenbau bedeutende

Chloridkorrosion wurde bereits 1983 ausführlich behandelt [2]. - Unter Vorsitz von R. Springenschmid, München, brachten D. Knöfel, Siegen, Einzelheiten über die Widerstandsfähigkeit des oberflächennahen Betons [12-17] und K. P. Grosskurth, Braunschweig, über das Verschleissen und Verpressen von Rissen im Beton [18, 19]. - Ausschlaggebend für die Beständigkeit der Betonoberfläche ist ihre Undurchlässigkeit für Wasser und Kohlensäure [12], ein niedriger Wasser/Zement-Wert und besonders die Nachbehandlung [6, 13] (Bild 1); filmbildende Nachbehandlungsmittel mit hoher Sperrwirkung [14-17] kann man sofort auf die noch frische, auch lotrechte Betonoberfläche aufsprühen. Die Güte der Betonoberfläche wird nach Abreissfestigkeit, Porenverteilung im submikroskopischen Bereich (im Labor mittels Quecksilberporosimeter gemessen [5]) oder Gasdurchlässigkeit beurteilt - zerstörungsfrei auf der Baustelle mittels Saugglocke nach Hilsdorf bestimmt. Beim kraftschlüssigen Verpressen haben sich bei trockenen Rissen ohne dynamische Beanspruchung Epoxide bewährt. Für Risse mit veränderlichen Öffnungsweiten werden Schäume und Gele verwendet. Das Verpressen von Rissen mit weichen Harzen kommt nur bei geringen Änderungen der Öffnungsweiten in Betracht; andernfalls sind die Risse in abzudichtende Fugen zu verwandeln.