

Albert Strickler: sein Leben und Werk

Autor(en): **Hager, Willi H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **106 (2014)**

Heft 4

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939762>

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.

Albert Strickler: Sein Leben und Werk

Willi H. Hager

Zusammenfassung

Die Normalabflussformel von Albert Strickler besitzt auch heute noch die volle Aussagekraft in der Hydraulik, falls die notwendigen und hinreichenden Voraussetzungen respektiert werden. Dieser Aufsatz lässt das Leben und das Werk Stricklers Revue passieren mit einem Schwerpunkt auf seine Publikationen, insbesondere seine berühmte, 1923 veröffentlichte Arbeit über die Strickler-Formel. Diese wird in den historischen Kontext gestellt, deren Vor- und Nachteile diskutiert, um schliesslich deren Anwendungsbereiche im Lichte der modernen Hydraulik zu spezifizieren. Die Biografie Stricklers wird ebenfalls in Wort und Bild beleuchtet.

Summary

The uniform flow formula proposed by Albert Strickler has also currently not lost its impact in hydraulics, if the necessary and sufficient requirements are respected. This article describes both the life and work of Strickler, with an emphasis on his bibliography, particularly his 1923 Report on the Strickler formula. The latter is set in its historical context, its pros and cons are discussed, so that its application limits are finally specified. A biography of Strickler in text and images is also provided.



Bild 1. Albert Strickler um 1938 (Bruckner 1938).

1. Einleitung

Albert Strickler war Schweizer, obwohl viele Kollegen meinen, er sei Deutscher gewesen. Er ist durch die Strickler-Formel zu Weltruhm in der Hydraulik gelangt und hat im schweizerischen Wasserwesen Bedeutendes geleistet. Wer war dieser Strickler, was bedeutet heute die Strickler-Formel, und wer war der Mensch Strickler? Diese und weitere Fragen sollen in diesem biografischen Artikel beantwortet werden, damit der Name Strickler weiter in uns haften bleibt.

2. Publikationen

Albert Strickler hat besonders in seinen jüngeren Jahren zahlreiche Publikationen vorgelegt, die hier kurz gewürdigt werden, da sein Literaturverzeichnis bis heute nicht existiert. Strickler (1914a) bespricht die dann neuste Arbeit des italienischen Ingenieurs Lorenzo Allievi (1856–1940), der die analytische Druckstossberechnung revolutionierte. Mit zunehmenden Druckhöhen und Durchflüssen auf Turbinen um 1900 traten bei einigen Wasserkraftanlagen Schäden auf, womit dieses instationäre Phänomen nach einer Lösung verlangte. Nachdem Allievi 1902 seine

spezielle Theorie formuliert hatte, reichte er die allgemeine Theorie 1913 nach, welche von den beiden Schweizern Robert Dubs (1880–1963) und Victor-Louis Bataillard (1881–1976) ins Deutsche übersetzt wurde. Strickler (1914b, 1915a) selbst war zu dieser Zeit mit seiner Promotionsarbeit über Druckschwankungen als «Konstrukteur» an der ETH unter Prof. Franz Prasil (1857–1929) beschäftigt, womit ihn dieses Problem natürlich interessierte. Er belegte mit seinen Versuchen eine gute Übereinstimmung mit den Berechnungen nach Allievi. Im gleichen Jahr publizierte Strickler (1914c) auch eine Arbeit über Wasserschlossschwingungen, einem eng mit Druckstössen zusammenhängendem Massenschwingungsphänomen, welches durch instationäre Beaufschlagung eines Rohrabflusses generiert wird. Es werden dabei verschiedene Approximationen der wichtigsten Gleichungen vorgeschlagen, die sich somit einfach anwenden liessen. Strickler (1915) untersuchte zudem hydraulische Probleme an Turbinen und schlug für verschiedene Turbinentypen spezifische Anwendungsbereiche vor. Strickler (1916) legte dann seine Promotionsarbeit vor, welche sich mit Leitappa-

raten von Francis-Turbinen beschäftigte. Damit hat er sich in der Schweiz einen Namen in der Rohrleitungshydraulik geschaffen und wurde insbesondere als Maschineningenieur wahrgenommen. Strickler (1917) studierte die Kostenverteilung elektrischer Energie. Eine längere Arbeit publizierte Strickler (1919) über einen Regulator für Pelton-Turbinen. Dabei wurde das sogenannte System Seewer detailliert beschrieben, die erzielten Strahlmuster auf die Turbinenräder analysiert, an der ETH gesammelte Versuchsergebnisse erläutert und die Resultate dokumentiert. Mit diesen Arbeiten schliesst Strickler seine maschinenbauliche Ingenieurkarriere ab.

Nach seinem Antritt als Sektionschef beim Schweizerischen Amt für Wasserwirtschaft in Bern widmete sich Strickler hauptsächlich energetischen Fragen der Schweiz. Büchi et al. (1924) ist dabei der 1. Beitrag, in welchem die schweizerischen Energieressourcen von namhafter Stelle vorgestellt werden. Stricklers Mitautoren sind dabei Jakob Büchi (1879–1960), ein Kraftwerkerbauer und späterer Berater solcher Projekte, Hans Eggenberger





Bild 2. Albert Strickler (mittlere Reihe 5. von rechts) anlässlich der Vorstandssitzung des Nordostschweizerischen Verbands für Schifffahrt Rhein-Bodensee am 29. August 1922 in Schaffhausen (Anonym 1922).



Bild 3. Strickler (hintere Reihe 7. von rechts) am PIANC-Kongress 1922, Brüssel (Anonym 1923).

(1878–1958), ein Experte in Kraftwerkbauteilen und der Bahnelektrifizierung, *Arnold Härry* (1884–1967), der langjährige Sekretär des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbands, sowie *Harold F. Zangger* (1893–1932), der Vizedirektor des Bundesamts für Elektrizitätswirtschaft.

Strickler (1924b, 1924c) untersuchte anhand von Modelldaten Widerstände und Schiffschrauben in der Binnenschifffahrt. Aus diesen Studien werden Folgerungen betreffend den optimalen Einsatz dieser Fahrzeuge, etwa in den Flüssen der Schweiz, abgeleitet. *Strickler* (1925) prüfte die Regulierung des Oberrheins, ein Thema, das zu dieser Zeit sowohl in Deutschland, Frankreich als auch in der Schweiz grosse Diskussionen unter Flussbauern hervorrief. Es ging dabei auch um die Niederwasserregulierung dieser

Strecke, auf die das Binnenland Schweiz stark angewiesen war (*Strickler* 1926a). Die Zusammenhänge zwischen dem Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte und der Binnenschifffahrt untersuchte *Strickler* (1926b, 1926c). Weiter studierte *Strickler* (1926d) hydrometrische Flügel, mit denen Durchflüsse gemessen wurden. Es ging spezifisch um die Einflüsse der schiefen Flügelanströmung, der Flügelstange, der Grundwellenbildung sowie der Turbulenz auf die Messgenauigkeit.

Die Energiepreise der Schweiz um 1930 wurden durch *Strickler* (1928, 1929) diskutiert. *Strickler* (1936a, 1936b) beschrieb die Elektrizitätswerke der öffentlichen Hand in der Schweiz, welche private Werke bei Weitem überwogen. Es wird betont, dass die Ausnutzung der einheimischen Wasserkraft möglichst auf eine

Unabhängigkeit von ausländischen Energieformen abzielt. In *Strickler* (1942) wird das Kraftwerkbauprogramm des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbands Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) vorgestellt. Es wird speziell der Bau der Flusskraftwerke Birsfelden, Säkingen, Koblenz, Rheinau und Schaffhausen sowie der alpinen Anlagen Lucendro und Hinterrhein empfohlen. Damit liesse sich der steigende Konsum auch nach dem Krieg decken. Die Zukunftsenergiewirtschaft der Schweiz wurde von *Strickler* (1944) untersucht. Es wird dabei insbesondere auf den Verzicht von importierter Kohle hingewiesen, der sich mit Wasserkraft ersetzen lasse. Zudem wird der Ausbau der noch verfügbaren Wasserkräfte der Schweiz durch *Strickler* (1945) angesprochen. Schliess-

lich veröffentlichte *Strickler* (1949) eine historische Arbeit über die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung der Schweiz, beginnend mit den Flusskraftwerken am Rhein ab 1893.

3. Strickler-Formel

Unter Normalabfluss versteht man den Gleichgewichtszustand zwischen treibenden und rückhaltenden Kräften. Ein solcher Abflusstyp existiert in der Natur nicht, da eine Vielzahl von Voraussetzungen nötig ist. Notwendige Voraussetzungen umfassen konstanten Durchfluss, konstante Sohlneigung, invariable Querschnittsgeometrie, gerade Linienführung, uniforme Rauigkeitsverteilung längs des benetzten Umfangs, konstanten Druck am Wasserspiegel und Einphasenströmung normalerweise von Wasser. Hinreichende Voraussetzung ist kein Abflusseinstau. Wie man unschwer erkennt, finden sich diese Voraussetzungen in der Natur nicht, im hydraulischen Labor sind die Fliessstrecken normalerweise zu kurz. Weshalb ist also Normalabfluss in der Hydraulik so wichtig, wenn er praktisch nie auftritt? Er stellt einen wichtigen Zustand dar, bei dem insbesondere Gefälle-, Rauigkeits- und Viskositätseffekte ins Spiel kommen. Falls ein Abfluss auch nicht als Normalabfluss auftritt, der effektive Abfluss lässt sich mit dem Normalabfluss immerhin oft angenähert beschreiben.

Die Geschichte des Normalabflusses ist lang; sie soll hier nicht wiedergegeben werden (etwa *Hager* 1994). Die erste Beschreibung verdankt man dem französischen Ingenieur *Antoine de Chézy* (1718–1798). Er nahm nämlich an Kanälen Messungen vor, dank derer ein Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit V , dem Sohlgefälle J_s und dem hydraulischen Radius R_h resultierte. Diesen formulierte er zu $V = C(J_s R_h)^{1/2}$, wobei der hydraulische Radius den Quotient zwischen der benetzten Querschnittsfläche F und dem benetzten Umfang U , also einer Länge, darstellt. Mit dem Beiwert C wird die Rauigkeit der Abflussberandung in Rechnung gestellt. Es folgte eine Vielzahl von meist komplizierteren Vorschlägen, die das Problem jedoch nicht lösten; wichtigster Grund war die ungenügende Datengrundlage. *Bazin* (1865) hat diese Basis endlich geschaffen mit den bis dahin besten Messungen am Canal de Bourgogne in Dijon. Mit Rücksicht auf seinen Kollegen und Freund *Henry Darcy* (1803–1858) verwendete *Bazin* die Formel von *Darcy* für Rohrabflüsse, welche sich in der Folge aber als zu kompliziert herausstellte.

Nachdem die Daten *Bazins* publiziert waren, begann darauf ein wahrer Run. Die erfolgreichste Datenanalyse war diejenige von *Philippe Gauckler* (1826–1905), einem Ingenieurkollegen *Bazins*. Dieser publizierte in der Folge zwei Beziehungen, eine für kleine Gefälle, die andere für Gefälle grösser als etwa 1‰. Diese zweite Beziehung war also für Ingenieur Anwendungen relevant, sie lautet ähnlich wie diejenige von *de Chézy*, nämlich mit K [$m^{1/3}/s$] als Rauigkeitsbeiwert (*Gauckler* 1868)

$$V = K J_s^{1/2} R_h^{2/3} \quad (1)$$

Bereits *Bazin* hat für verschiedene Rauigkeitstypen eindeutige Werte ermittelt, diese aber anders in Rechnung gestellt. Die Ingenieure des ausgehenden 19. Jahrhunderts konnten nicht glauben, dass eine so einfache Beziehung wie Gl. (1) die komplizierten Abflusszustände sowohl in Rohren als auch in Flüssen hinreichend genau beschreiben. Die Suche nach der perfekten Normalabflussformel ging demnach weiter. Immer kompliziertere Formelapparate wurden veröffentlicht, leider war diesen meist kein Erfolg beschied. Unter nicht klaren Umständen publizierte der Ire *Robert Manning* (1816–1897) nochmals die 2. Formel von *Gauckler* (*Manning* 1889), ohne dessen Name jedoch anzugeben. Diese Formel wurde speziell in den USA schnell unter «Manning's formula» bekannt und ist dort nach wie vor beliebt. Einziger Unterschied war die Bezeichnung des Rauigkeitsbeiwerts; anstelle von K verwenden nämlich die Anglosachsen $1/n$ in Anlehnung an die Formel von *Kutter* (*Hager* 1994).

In der Folge wurden die Dinge noch unübersichtlicher, da laufend neue Vorschläge für die gesuchte Beziehung publiziert wurden. Was sollte nun der Wasserbauer anwenden? In der Zwischenzeit wurde durch die Arbeiten insbesondere von *Osborne Reynolds* (1842–1912) auch die Relevanz der Flüssigkeitsviskosität in hydraulischen Abflüssen erkannt; die Gleichung von *Gauckler-Manning* enthielt diese jedoch überhaupt nicht! Jemand hatte also Ordnung in dieses Gewirr zu bringen, und diese Rolle übernahm eben *Strickler*. Es ist unklar, wie dieser dazu kam, hatte *Strickler* doch mit diesem Problem bis in die frühen 1920er-Jahre überhaupt nichts zu schaffen. Es muss sein Vorgesetzter, *Carl Mutzner* (1885–1966), gewesen sein, der *Stricklers* Talent erkannte und ihn zu dieser Aufgabe veranlasste, die sich als Segen für die Hydraulik herausstellen sollte. Im Vorwort der Arbeit von *Strickler*

(1923a) stellt *Mutzner* fest: «Der Zweck der vorliegenden Arbeit bestand ursprünglich lediglich darin, eine Untersuchung anzustellen über den Gültigkeitsbereich der älteren und neueren Formeln, namentlich derjenigen von reiner Potenzform, die in allerletzter Zeit wieder mehr die Aufmerksamkeit des Technikers auf sich lenkten. Eine Vermehrung der Zahl der Formeln war keineswegs beabsichtigt».

Stricklers Mitteilung ist in sechs Abschnitte gegliedert (*Bild 4*): A. Kurze Übersicht über die wichtigeren Formeln, B. Aufstellung einer einfachen Näherungsformel für die mittlere Geschwindigkeit, C. Ableitung von allgemein gültigen Geschwindigkeits- und Widerstandsformeln, D. Verteilung der Geschwindigkeiten im Querschnitt, E. Anwendungen auf Staurechnungen und F. Schlusszusammenfassung. In A. werden insgesamt 34 Formeln sowohl für Freispiegel- als auch für Druckabfluss genannt. In B. versucht *Strickler* eine Potenzformel aufzustellen, die sich auf Druckrohre mit Durchmesser grösser als 0.15 m bezieht. Die zur Verfügung stehenden Messdaten des Amtes in Bern umfassten (Energienlinien-)Gefälle von praktisch 0–0.025 und hydraulische Radien von 0.037–7.14 m. Die Rauigkeiten variierten von Zementglattstrich bis kopfgrosse Steine. Es seien nur Messdaten berücksichtigt worden, bei denen praktisch Normalabfluss herrschte. Anhand von 17 Messreihen sei dann die erwähnte Formel von *Gauckler* abgeleitet worden, wovon etliche Datensätze von *Bazin* (1865) stam-

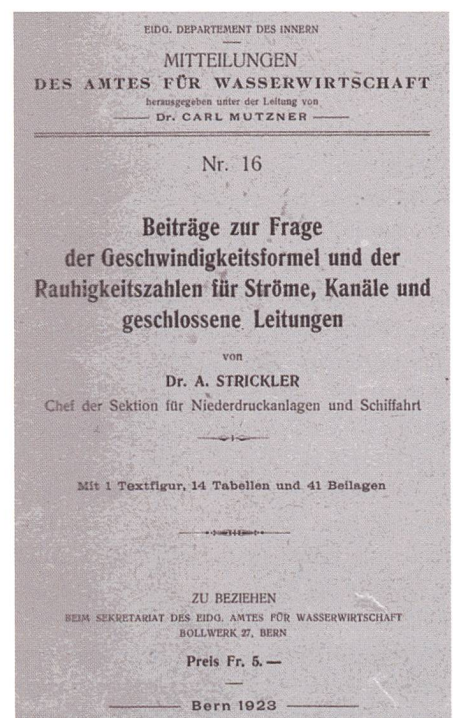


Bild 4. Titelblatt der Mitteilung von Strickler (1923a).

men. Strickler hält weiter fest, dass die Rauigkeit beim Übergang zwischen Abflüssen ohne und mit Sedimenttransport fast abrupt zunimmt, bei seinen Messdaten folgt dies bei einer mittleren Geschwindigkeit von rund 2.4 m/s. In der Folge wurden ausschliesslich Werte ohne Sedimenttransport berücksichtigt. Im Gegensatz zu *Gauckler* (1868) stellte *Strickler* fest, dass die Formel auch für kleinere Gefälle gilt, falls der hydraulische Radius innerhalb der oben fixierten Grenzen liegt.

Anschliessend versuchte *Strickler*, den Koeffizienten K in Abhängigkeit vom Mass der Wandrauigkeit darzustellen. Bei geschiefbeführenden Flüssen ist dieses gleich dem mittleren Korndurchmesser d_m . Bei festen Berandungen eines Fließquerschnitts, etwa bei Kanälen oder Rohren, stelle diese Grösse «äquivalente Kugeln» dar, aus denen diese Oberfläche geformt ist. *Strickler* sprach hier also 10 Jahre vor *Nikuradse* und *Prandtl* die Vorstellung der äquivalenten Wandrauigkeit an (*Hager* und *Liiv* 2008). Es wird festgestellt, dass näherungsweise die Beziehung $K \sim d_m^{-1/6}$ gilt, dass also bei zunehmendem mittlerem äquivalentem Korndurchmesser der Beiwert abnimmt. Führt man diese Beziehung in Gl. (1) ein, so folgt

$$V = 21.1(2gJ_s R_h)^{1/2} (R_h/d_m)^{1/6} \quad (2)$$

Beachtlich an dieser von *Strickler* (1923a) aufgestellten Gl. (2) ist einerseits der Nachweis, dass Gl. (1) nach *Gauckler* für einen grossen Anwendungsbereich gültig ist. Ebenso wichtig ist jedoch zudem, dass Gl. (2) im Gegensatz zu Gl. (1) dimensionsrichtig erscheint. Das Rauigkeitsmass ist nun nicht mehr K , sondern d_m . Bereits im 19. Jahrhundert wurde nämlich an Gl. (1) Kritik laut, wie der Rauigkeitsbeiwert K [$m^{1/3}/s$] von der Zeit abhängig sein kann. *Strickler* hat mit seinem Ansatz dieses Problem gelöst, womit sein Vorschlag schnell populär wurde. Die *Strickler*-Gleichung, wie sie dazumal genannt wurde, war nun das Mass aller Dinge. Erst in den 1970er-Jahren, also nach dem Tod *Stricklers*, wurde sie nach *Gauckler*, *Manning* und *Strickler* zur *GMS*-Gleichung.

Strickler (1923a) erklärt nun auch, weshalb sich beim Übergang zwischen ruhender Sohle und Sedimenttransport in Flüssen der K -Wert reduziert. Im ersten Zustand liegen normalerweise die Sedimentkörner flach auf der Sohle, während sich diese im zweiten Zustand aufstellen und somit dem Abfluss einen grösseren Widerstand bieten. Es wird klargestellt, dass diese Rauigkeitszunahme nicht

im Zusammenhang mit dem Übergang Strömen-Schiessen steht. Abschliessend wird festgehalten, dass die Anwendungsgrenzen betreffend des Sedimentdurchmessers bei etwa 0.1 bis 0.5 mm liegen. Moderne Studien, welche den Einfluss der Viskosität berücksichtigen, kommen auf rund 1 mm, ab welchem Gl. (2) gilt.

Im Abschnitt C. versucht *Strickler*, eine Geschwindigkeitsbeziehung unter Berücksichtigung der Flüssigkeitsviskosität anzugeben. Im Licht der Entwicklungen an der Universität Göttingen um *Ludwig Prandtl* (1875–1953) und dem genannten *Nikuradse* (1894–1979) ist dieses Unterfangen jedoch nie relevant geworden, weshalb es hier nicht weiter ausgeführt wird. Aus demselben Grund soll auch Abschnitt D. nicht besprochen werden. Die Anwendung von Gl. (2) in der Berechnung von Stau- und Senkungskurven ist elementar, sodass auch hier keine weiteren Anmerkungen folgen. Diese Resultate wurden durch *Strickler* (1923b, 1924a) in Kurzfassung präsentiert. *Strickler* gibt abschliessend eine Tabelle an, in welcher die empfohlenen Beiwerte K aufgelistet sind. Als Minimum folgt danach $K = 15 m^{1/3}/s$ für «sehr groben Fels», während als Maximum $K = 150 m^{1/3}/s$ steht für «gezogene Messing- und Kupferrohre». Diese Werte schiessen nach heutiger Ansicht weit über das Ziel hinaus. Nach detaillierten Untersuchungen kommt etwa *Hager* (2010a) zu zwei Bedingungen für die Anwendung von Gl. (2): 1. Der Abfluss muss im vollturbulenten Regime erfolgen, entsprechend $k_s > 30v(g^2 J_s^2 Q)^{-1/5}$ mit k_s als äquivalenter Sandrauigkeit, v als kinematischer Viskosität, g als Erdbeschleunigung und Q als Durchfluss, und 2. Die Relativrauheit $\mathcal{E} = k_s/(4R_h)$ muss zwischen 7×10^{-4} und 7×10^{-2} variieren, also rund zwischen einem Tausendstel und einem Zehntel. Anders ausgedrückt soll also der K -Wert mindestens 20 bis maximal 90 $m^{1/3}/s$ betragen, und das Reibungsgefälle soll $J = 0.1\%$ nicht unterschreiten. Sind diese beiden Voraussetzungen erfüllt, so stellt Gl. (2) einen fast identischen Zusammenhang dar wie die kompliziertere, heute allgemein akzeptierte Beziehung nach *Colebrook* und *White* (etwa *Hager* 2010b).

Nachdem er das Bundesamt 1928 verlassen hatte, verfasste *Strickler* (1930) einen weiteren Beitrag zum Rauigkeitsproblem. Vorerst werden historische Vorschläge diskutiert, diese dann verglichen und beträchtliche Abweichungen notiert, um schliesslich festzuhalten, dass keine eindeutige Beziehung zwischen Rauigkeit und Sohlgefälle existiert, wie das in

verschiedenen Ansätzen angenommen wurde. Zudem wird auf Massstabeffekte hingewiesen, insbesondere bei Wassertiefen kleiner als 50 mm, wie sie im hydraulischen Modellversuch auftreten können, oder extrem kleinen Fließgeschwindigkeiten mit viskosen Effekten. Eine ähnliche Studie verfasste *Strickler* (1936c). Es wird eine Reihe von Rauigkeitsbeiwerten K angegeben für typische Fluss- oder Stollenabschnitte.

4. Diskussion der Strickler-Formel

Mit Gl. (2) hat *Strickler* die Ingenieurwelt überrascht und sich gleichzeitig ein Denkmal gesetzt. Wiederum stellte sich die Frage, wie einfach ein komplizierter Vorgang der Natur beschrieben werden kann, falls die Voraussetzungen der Formel akzeptiert werden. Viele Ingenieure meinten nämlich, diese Formel könne nun für alle hydraulischen Probleme angesetzt werden, was natürlich überhaupt nicht der Fall ist. Es geht einerseits um Normalabfluss, also wie erwähnt einen asymptotischen Abflusszustand, der sich praktisch nie einstellt, ausser er wird durch exakte Wassertiefeneinstellung in einem Modellkanal erzwungen. Auch wurde die Formel oft überbeansprucht: Wurde ein bestimmter Durchfluss nicht erreicht oder war die Wassertiefe zu gross, so wurde einfach am K -Wert geschraubt, bis die Lösung «passte». Dies ist damit gegen jede physikalische Überlegung.

Die Schwierigkeiten bei der Anwendung der *Strickler*-Formel, wie sie hier genannt werden soll, liegen in der Ermittlung der einzelnen Parameter. Dies sind die Querschnittsfläche F und der benetzte Umfang U , welche Ingenieure aber relativ einfach durch geometrische Methoden ermitteln. Grössere Probleme treten dabei in Flüssen auf, um halbwegs richtige Mittelwerte über einen bestimmten Flussabschnitt festzulegen. Der daraus entstehende hydraulische Radius ist insofern nicht von allzu grosser Relevanz, als dass er unterproportional in die Gl. (2) eingeht. Anders ist dies aber bei der Durchflussermittlung, da dann $Q = VF$, also die Querschnittsfläche, linear in die Beziehung eingeht. Einige Probleme bietet zudem die Ermittlung des Sohlgefälles J_s resp. des Reibungsgefälles J , da es sich hier normalerweise um kleine Werte handelt. Je nachdem wie lange der Abschnitt gewählt wird, entstehen natürlich unterschiedliche Resultate. Auch hier soll erwähnt werden, dass dieser Parameter stark unterproportional in Rechnung steht. Schliesslich

muss der K -Wert erwähnt werden, der linear in die Rechnung eingeht. Hier entstehen also im Gegensatz zu den beiden anderen Parametern von Gl. (2) viel grössere Abweichungen. Es soll zudem erwähnt werden, dass sich der mittlere Durchmesser einer Flusssohle schlecht abschätzen lässt, weshalb *Meyer-Peter* und *Müller* (1948) vorschlugen, anstelle von d_m den fast grössten Sedimentanteil d_{90} der Deckschicht zu verwenden. Damit lässt sich diese Grösse um einiges genauer schätzen und die Geschwindigkeit also besser ermitteln. Der Vorfaktor 21.1 in Gl. (2) ist dann jedoch 26.

Der wichtige Vorteil sowohl der *Chézy*-Formel als auch der *GMS*-Formel ist der mathematische Aufbau in der Form einer Potenzformel. Damit kann sie also auf jeden Parameter der Beziehung explizit gelöst werden, was etwa bei der Formel nach *Colebrook-White* nur näherungsweise möglich ist (*Hager* 2010a). Weiterhin kam dem Ingenieur aus *Stricklers* Zeit dieser Umstand sehr zugute, weil sich somit deren damaliger Computer, der Rechenschieber, direkt anwenden liess, wie beispielsweise *Vischer* (1987) festhält. Es wurden spezielle Rechenscheiben zur Auswertung der *Strickler*-Formel, etwa nach *Bild 5*, angeboten, welche den Rechenaufwand stark reduzierten. Als in den frühen 1970er-Jahren Taschenrechner auf den Markt gelangten, ersetzten diese den Rechenschieber innert kurzer Zeit. Die *Strickler*-Formel blieb unabhängig von diesen technischen Entwicklungen populär, und ist es heute noch genauso wie vor 90 Jahren.

5. Biografie

Albert Strickler wurde am 25. Juli 1887 in Wädenswil als Bürger von Hirzel ZH als einziges Kind von *Albert Strickler* (1853–1936) und *Maria Auguste Flentjen* von Krinau SG (1863–1945) geboren. Nach dem Besuch der Kantonalen Industrieschule Zürich immatrikulierte er sich als Maschineningenieur an der ETH Zürich, wo er 1911 den Titel dipl. Ing. ETH und 1917 den Titel Dr. der techn. Wiss. erhielt. Von 1911 bis 1913 war er zudem bei der Escher-Wyss AG, Zürich, beschäftigt, während er dann bis 1918 Hauptassistent von Prof. *Prasil* am Maschinenlaboratorium der ETH war. 1916 erhielt er den PD-Titel für wirtschaftswissenschaftliche Fächer an der ETH. Seit 1919 war *Strickler* Sektionschef am Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in Bern, wo er in Verhandlungen bei Konzessionsbewerbern sowie bei kantonalen und ausländischen Behörden mitwirkte. Seit 1928 war

Strickler der technische und kaufmännische Direktor der Schw. Kraftübertragung AG, Bern, wobei er seit 1926 Mitglied des Schweizerischen Nationalkomitees für die Weltkraftkonferenz war. Er besuchte dabei diese Konferenzen 1926 in Basel und 1934 in Berlin. Seit 1929 amtierte er als Vizepräsident der Vereinigung Exportierender Elektrizitätsunternehmen, seit 1933 dann als Mitglied des Verwaltungsrats der Gotthardleitung AG, Altdorf UR. 1939 liess er sich schliesslich als beratender Ingenieur in Küsnacht ZH nieder. In den folgenden Jahren verfasste er Expertisen, etwa über den Ausbau der bündnerischen Wasserkräfte zusammen mit Prof. *E. Meyer-Peter* (1883–1969), die Wasserkräfte des Kantons Tessin, oder entwicklungsfähige schweizerische Wasserkraftprojekte. 1911 unternahm *Strickler* eine Reise nach Norwegen, um die dortige Energiewirtschaft kennenzulernen; 1928 machte er eine Studienreise nach Deutschland. Seit 1941 war er Mitglied des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbands, wo er etwa Richtlinien für die vergleichende Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftprojekten herausgab. Er war zudem Mitglied der Gesellschaft Ehemaliger Polytechniker (GEP) der ETH Zürich. *Strickler* verstarb am 1. Februar 1963 in Küsnacht ZH. Nach *Anonym* (1963) hatten ihn seit 1950 zunehmende Krankheiten gezwungen, sich aus der Ingenieur Tätigkeit zurückzuziehen. Er war deshalb den damals jungen Ingenieuren kaum bekannt.

Strickler wird von seinen Kollegen im Bundesamt als stiller und überlegter Mann beschrieben. Er war dabei nicht nur Ingenieur, sondern gebildet, sodass man ihn als «humanistischen Ingenieur» bezeichnen könnte. Er verfügte aber auch über den nötigen Humor, um die Schwierigkeiten des Berufslebens in der Verwaltung zu überwinden. Er war zweimal verheiratet, ab 1918 mit *Luise Albertine Jauss-Christen von Boll*, Württemberg, ab 1945 dann mit *Rosa Möri* (1903–1992) von Gempenach FR bei Kerzers, welche 1971 in die Gemeinde Küsnacht eingebürgert wurde. Beide Ehen blieben kinderlos.

Erwähnenswert ist, dass in der Schweizerischen Bauzeitung, dem damaligen Ingenieur-Journal, lediglich eine kurze Notiz über *Stricklers* Tod verfasst wurde, ohne Portrait, das üblicherweise allen Nekrologen beilag. Dem längeren Nekrolog von *Anonym* (1963) in der Wasser- und Energiewirtschaft ist ebenfalls kein Bild angefügt. Offensichtlich war *Strickler* zu lange von seinen Kollegen entfernt, man hat ihn nicht mehr gesehen, wie

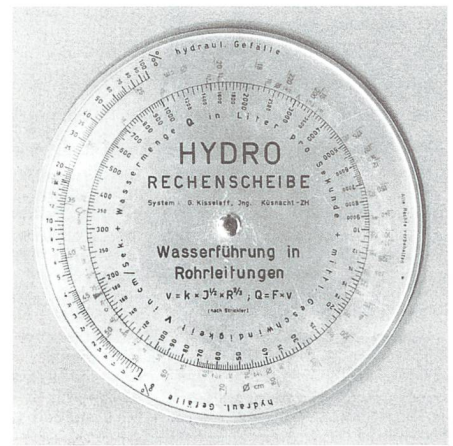


Bild 5. Hydro-Rechenscheibe von Kisseleff, Küsnacht ZH (Joos 2000).

bereits angedeutet, sodass er leider keine entsprechende Würdigung erhielt. Eine andere Frage stellt sich: Weshalb wurde der 1920 damals unbekannt *Eugen Meyer-Peter* als Wasserbau-Professor an die ETH anstelle von *Strickler* als Wasserbau-Professor gewählt? Einerseits war dies das Alter *Stricklers*, der 4 Jahre jünger als *Meyer-Peter* war, welcher mit nur 37 Jahren extrem jung für diese Position war. Wichtiger aber erscheint der berufliche Werdegang: *Meyer-Peter* war Bauingenieur, während *Strickler* als Maschineningenieur schlicht keine Chance hatte im Bauingenieur-Departement. Zudem muss gesagt werden, dass die wichtigste Arbeit *Stricklers* eben erst 1923 publiziert wurde, also nach der Wahl *Meyer-Peters*.

6. Schlussfolgerungen

Albert Strickler, dessen Name durch seine 1923 veröffentlichte Formel dem Hydrauliker weltweit bekannt ist, wird vorgestellt als Person. Sein Lebenswerk wird zudem insbesondere durch seine Publikationen dem Leser nähergebracht. Seine berufliche Karriere lässt sich dabei in vier Perioden unterteilen, nämlich seine Zeit an der ETH Zürich, in der er sich hauptsächlich mit instationären Rohrströmungen und Turbinen befasste. Von 1919 bis 1928 war er Sektionsleiter am Eidg. Amt für Wasserwirtschaft in Bern, wo die genannte Formel entstand. Anschliessend leitete *Strickler* als Direktor die Schw. Kraftübertragung AG, Bern, um sich dann ab 1939 als beratender Ingenieur in Küsnacht ZH niederzulassen.

Strickler hat 1923 zwei wichtige Beziehungen aufgestellt: einerseits die heute unter dem Namen *Gauckler-Manning-Strickler* (GMS) bekannte Beziehung für den Normalabfluss von Freispiegelabflüssen oder für Druckabflüsse, andererseits die eigentliche *Strickler*-Gleichung,



die den Zusammenhang zwischen Rauigkeitsbeiwert und mittlerem Sedimentdurchmesser der Deckschicht eines Flusses spezifiziert. Letztere Beziehung wird heute meist in einer leicht abgeänderten Form angewendet, um die Schätzung des massgebenden Geschiebeanteils einer Deckschicht einfacher zu erfassen. Es muss zudem erwähnt werden, dass *Strickler* vorgeschlagen hatte, beliebige Rauheiten mittels einer äquivalenten Sandrauheit zu erfassen, ein Verfahren, das 10 Jahre später an der Universität Göttingen erfolgreich umgesetzt und heute international angewendet wird. Deshalb hat *Stricklers* Name in der Hydraulik den verdienten Platz, auch wenn *Strickler* selbst nur relativ kurz in diesem Problemkreis aktiv war.

Verdankung

Ich möchte mich bei Herrn *Pidu Russek*, Küssnacht ZH, für die Überlassung verschiedener historischer Dokumente über *Albert Strickler* bestens bedanken.

Literaturverzeichnis

Abkürzungen: BTSR = Bulletin Technique de la Suisse Romande; SBZ = Schweizerische Bauzeitung; STZ = Schweizerische Technische Zeitschrift; SWW = Schweizerische Wasserwirtschaft; WEW = Wasser- und Energiewirtschaft.

Anonym (1922). Die Rheinquellen 17(10/12): 154.

Anonym (1923). Internationale Permanente Commission der Schepvaartcongressen te Brussel 1922. De Ingenieur 38(4): 80.

Anonym (1963). Dr. Ing. Albert Strickler. Wasser- und Energiewirtschaft 55(6): 221.

Bazin, H. (1865). Recherches hydrauliques. Mémoires présentées par divers savants 19: 1–494.

Bruckner, A., ed. (1938). Albert Strickler. Neue Schweizer Biographie: 519–520. Basler Berichtshaus.

Büchi, J., Eggenberger, H., Härry, A., Strickler, A., Zangger, H.F. (1924). Les ressources de la Suisse en énergie. Trans. 1st World Power Conf. London 1: 1351–1380.

Gauckler, P. (1868). Du mouvement de l'eau dans les conduites. Annales des Ponts et Chaussées 38(1): 229–281.

Hager, W.H. (1994). Die historische Entwicklung der Fliessformel. Schweizer Ingenieur und Architekt 112(9): 123–133; 112(11): 183.

Hager, W.H., Liiv, U. (2008). Johann Nikuradse: Hydraulic experimenter. Journal of Hydraulic Research 46(4): 435–444.

Hager, W.H. (2010a). Wastewater hydraulics, 2nd ed. Springer: Berlin.

Hager, W.H. (2010b). Cedric Masey White and his solution to the pipe flow problem. Proc. ICE Water Management 163(10): 529–537.

Joos, H. (2000). Der Rechenschieber. Schweizer Ingenieur und Architekt 118(16): 356–363.

Manning, R. (1889). On the flow of water in open channels and pipes. Trans. Institution of Civil Engineers Ireland 20: 161–207.

Meyer-Peter, E., Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. 2nd IAHR Congress Stockholm: 39–64.

Strickler, A. (1914a). Theorie des Wasserstosses. SBZ 63(25): 357.

Strickler, A. (1914b). Versuche über Druckschwankungen in eisernen Rohrleitungen. SBZ 64(7): 85–87; 64(10): 123.

Strickler, A. (1914c). Exakte und angenäherte Formeln zur Wasserschlussberechnung. SWW 6(20): 249–253.

Strickler, A. (1915a). Druckschwankungen in Turbinenleitungen bei teilweisen Belastungsänderungen. Zeitschrift für das Gesamte Turbinenwesen 12(20): 229–231; 12(21): 243–247.

Strickler, A. (1915b). Über Zusammenhang zwischen Leistung und Umlaufzahl bei Wasserturbinen. SBZ 66(4): 39–41; 66(5): 54–55.

Strickler, A. (1916). Vergleichende Untersuchungen an Leitapparaten von Francisturbinen. Promotionsarbeit 155. ETH: Zürich.

Strickler, A. (1917). Die Kosten der Verteilung elektrischer Energie im Vergleich zu den Erzeugungskosten. SWW 9(13/14): 70–75.

Strickler, A. (1919). Le régulateur universel système Seewer pour turbines hydrauliques à haute chute (Pelton). BTSR 45(17): 169–171; 46(18): 181–184; 46(19): 193–197; 46(20): 205–206.

Strickler, A. (1923a). Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Mitteilung 16, C. Mutzner, ed. Amt für Wasserwirtschaft: Bern.

Strickler, A. (1923b). Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. BTSR 49(26): 315–316.

Strickler, A. (1924a). Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. SBZ 83(23): 265–268.

Strickler, A. (1924b). Résistance à la traction des bateaux et rendement des remorques à hélice dans la navigation intérieure. BTSR 50(25): 312–315.

Strickler, A. (1924c). Fahrwiderstände von Schleppkanälen und Wirkungsgrade von Schraubenpropellern in der Binnenschifffahrt. Mitteilung 17. Amt für Wasserwirtschaft: Bern.

Strickler, A. (1925). Die Regulierung des Rheins zwischen Strassburg und Basel. Schweizerische Techniker-Zeitung 22(32): 377–384; 22(33): 389–394.

Strickler, A. (1926a). Der Einfluss der Niederwasserregulierung der Rheinstrecke Basel-Strassburg auf die Schleppleistungen. Die

Rheinquellen 21: 127–132.

Strickler, A. (1926b). Wirtschaftliche Betrachtungen über die Rheinschifffahrt. Die Wasserwirtschaft 21(21): 628–632.

Strickler, A. (1926c). Zusammenhänge zwischen dem Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte und der Binnenschifffahrt. Werft, Reederei, Hafen 7(14): 345–346.

Strickler, A. (1926d). Untersuchungen über Wassermessungen. Mitteilung 18: 129–198, C. Mutzner, ed. Amt für Wasserwirtschaft: Bern.

Strickler, A. (1928). Die Selbstkosten für Abgabe elektrischer Energie. Bulletin Schweizerischer Elektrotechnischer Verein 19(13): 413–437.

Strickler, A. (1929). Selbstkosten und Verkaufspreise der elektrischen Energie in der Schweiz. Stämpfli: Bern.

Strickler, A. (1930). Die Frage des Koeffizienten in der Formel von Chézy. Gesamtbericht der 2. Weltkraftkonferenz Berlin 18(2): 137–152. VDI-Verlag: Berlin.

Strickler, A. (1936a). Organisation, Finanzierung und Betrieb von «Elektrizitätswerken der öffentlichen Hand» in der Schweiz. 3rd World Power Conf. Washington DC 6, Sec. 3(9): 199–222.

Strickler, A. (1936b). L'économie des centrales d'électricité de faible puissance en Suisse. 6e Congrès Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique 3: 143–153.

Strickler, A. (1936c). Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux et conduites forcées. 6e Congrès Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique 2: 109–120.

Strickler, A. (1942). Das Kraftwerk-Bauprogramm des SEV/VSE. WEW 34(2): 13–16.

Strickler, A. (1944). Die Zukunftsprobleme der schweizerischen Energiewirtschaft. STZ 41(26): 349–355; 41(27): 363–368.

Strickler, A. (1945). Der Ausbau der noch verfügbaren Wasserkräfte. Wasser- und Elektrizitätswirtschaft der Schweiz: 29–34. Elektrotechnischer Verein: Zürich.

Strickler, A. (1949). Die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung. Führer durch die schweizerische Wasser- und Elektrizitätswirtschaft 1: 83–94. City-Druck: Zürich.

Vischer, D.L. (1987). Strickler formula, a Swiss contribution to hydraulics. «Wasser Energie Luft» 79(7/8): 139–142.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. *Willi H. Hager*, VAW, ETH-Zürich, CH-8093 Zürich.

hager@vaw.baug.ethz.ch