Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 9

Nachruf: Barré De Saint-Venant, Adhémar-Jean-Claude

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: 10.07.2025

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

De Saint-Venant

Ein Leben als Ingenieur – ein Leben als Wissenschaftler

Das Werk De Saint-Venants (1797–1886) umfasst Arbeiten auf dem Gebiet der Mechanik, insbesondere der elastischen Deformationen sowie der Biegung und Torsion, dann des Flüssigkeitwiderstandes, der Fliessgesetze und des Abflusses in offenen Kanälen. Der vorliegende Aufsatz soll diesen letzten Arbeiten gewidmet werden, da sie teilweise auch heute noch aktuell sind. Darüber hinaus lassen sich wichtige Kapitel der Hydraulik anhand der Arbeiten von De Saint-Venant diskutieren.

VON WILLI H. HAGER, ZÜRICH

Lebensabschnitte

Adhémar-Jean-Claude Barré De Saint-Venant mit vollem Namen wurde am 23. August 1797 auf Schloss Fortoiseau (Seine-et-Marne) geboren und starb am 6. Januar 1886 bei Vendôme. Seine erste wissenschaftliche Arbeit schrieb er erst mit 37 Jahren, bis zu seinem Lebensende lagen jedoch 25 Buchwerke, 137 Publikationen und 7 noch nicht publizierte Manuskripte vor, die von Boussinesq und Flamant (1886) einzeln aufgeführt werden. Am Ende eines reichen Lebens war er Mitglied des «Institut de France», der «Academia Romana dei Lincei», der königlichen Gesellschaft von Göttingen, der Akademien von Manchester, Brüssel, Löwen sowie einer Reihe anderer wissenschaftlicher Vereinigungen.

Das Leben De Saint-Venants kann, wie im Titel angedeutet, in zwei Teilen geschildert werden. Im ersten Teil lernen wir – hier nur schlecht – den Ingenieur kennen. Im zweiten Teil dürfen wir dagegen etwas umfangreicher den Gelehrten erfahren, mit seinem Genie und seiner – beispielsweise gegenüber Boussinesq – einfachen und prägnanten Ausdrucksweise.

Bereits in seiner Jugend erkannte De Saint-Venants Vater, ein renommierter Agronom und ehemaliger Offizier, die mathematische Begabung seines Sohnes. Doch starb er früh, so dass sich die Mutter allein um die Ausbildung des Sohnes kümmern musste; sie schickte ihn ins Lycée nach Brügge, dazumal eine französische Stadt. Dort zogen De Saint-Venant die Kanäle speziell an, was vielleicht mit seiner späteren Neigung zu diesen Wasserwegen einen Zusammenhang hat. Nach dem Hochschulabschluss und einigen Jahren bei einer Sprengtruppe wurde er 1823 an die Ecole des Ponts et Chaussées zugelassen. Dort wuchsen seine Ideen in bezug auf die innere Reibung von belasteten Festkörpern. Die Jahre bis 1830 verbrachte er dann im Département Yonne in der Gegend von Nièvre. Es gab dort genug Möglichkeiten, über die Trockenlegung von Sümpfen nachzudenken und an den Bau von Entwässerungsleitungen zu gehen. Später, am Bau des «Canal des Ardennes», hatte er den Gedanken, undurchlässige Leinwand als Planierbasis für Schubkarren zu benutzen. Diese frühe Anwendung von Geotextilien bildete den Inhalt seiner ersten Publikation im Jahre 1834.

Zwei im gleichen Jahre veröffentliche Beitrage über Theorien der Mechanik zogen die Aufmerksamkeit der Fachwelt erstmals auf De Saint-Venant. Als Prof. Coriolis (1792–1843) von der «Ecole des Ponts et Chaussées» einen Posten zu besetzen hatte, wurde De Saint-Venant vorerst sein Stellvertreter und von 1839 bis 1842 Stellvertretender Professor. Wegen einer Streitigkeit mit der Stadtverwaltung wurde De Saint-Venant jedoch 1843 zurückversetzt und schied während der Revolution 1848 gar aus dem Amt aus. Bis anhin kamen seine Qualitäten, namentlich Scharfsinn, Kühnheit, Entschlusskraft und Unabhängigkeitsdrang, noch nicht zum Tragen. Sein zweiter Lebensabschnitt musste somit gut ausgehen . . .

Erste Werke

Um 1843 erschienen die ersten grossen Arbeiten zum mechanischen Gleiten von zweidimensionalen Tragelementen. Daneben fand er aber auch die Begrenzung von Ausflussstrahlen aus Gefässen. Bezüglich des Flüssigkeitswiderstands erschien 1851 ein Eckstein seines Werkes, welches nachfolgend ausführlicher beschrieben sei.

Nach einer kurzen Diskussion der Arbeiten von Bélanger (1828), Vauthier (1836), Coriolis (1836) und Dupuit (1848) leitet De Saint-Venant (1851) die

Bild 1. Barré De Saint-Venant (1797–1886)

Gleichung der Stau- und Senkungslinie ab

$$(1)\quad dx = \frac{1-\dfrac{\alpha U^2}{g}\left(\dfrac{A_o}{A}\right)^2 \dfrac{dA}{dh}}{1-\dfrac{R_h}{R_{ho}}\left(\dfrac{A_o}{A}\right)^{m+1}}\, dh$$

mit Index «o» als Bezeichnung des Normalabflusszustandes («régime uniforme»). m stellt die Potenz im Geschwindigkeitsgesetz für Normalabfluss dar. Gl. (1) wird anschliessend auf Trapezprofile angewendet.

Bezeichnet h_N die Normalabflusstiefe und h die variable Wassertiefe, so führt De Saint-Venant die Differenz $y = h - h_N$ ein. Mit $Y = y/h_N$ wird dann im Rechteckprofil

$$(2)\quad S_o \frac{dx}{h_N} = \frac{1-\mathbf{F}_N^2 (1+Y)^{-3}}{1-(1+Y)^{-m-1}}\, dY,$$

wobei $\mathbf{F}_N^2 = \alpha U^2/(gh_N)$ in moderner Schreibweise die Froudezahl des Normalabflusses darstellt. Für m = 2 und $\mathbf{F}_N \ll 1$ ergibt sich die Gleichung nach Dupuit (1848). De Saint-Venant betrachtet sowohl m = 2 als auch m = 21/11 aus der von ihm abgeleiteten Beziehung $U = c\,(S_o R_h)^{11/20}$ und integriert Gl. (2) durch Reihenentwicklung. Die Lösungen werden tabellarisch und graphisch dargestellt (Bild 2).

Anschliessend geht De Saint-Venant auf den Einfluss des dynamischen Termes $\alpha\, U^2/(gh_N)$ ein. Für $\mathbf{F}_N > 1$ stellt sich Schiessen ein, während Strömen sich bei $\mathbf{F}_N < 1$ ergibt. Beim Wechsel von Schiessen zu Strömen wird auf den «Wassersprung nach Bélanger» verwie-

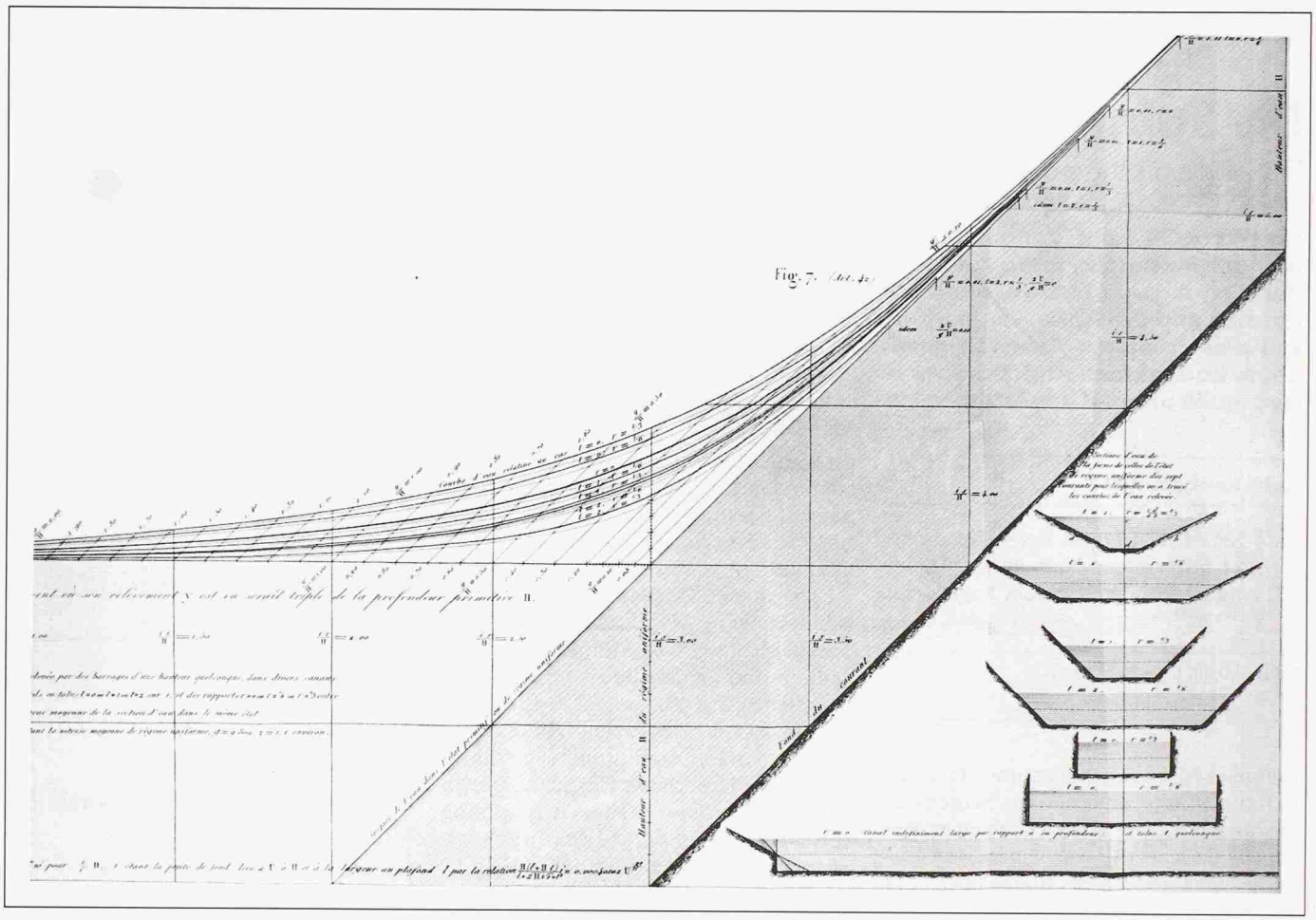

Bild 2. Auswertung von Staukurven (De Saint-Venant, 1851)

sen. Die Verallgemeinerung dieser Resultate gelingt dann Boussinesq 20 Jahre später.

Abschliessend bezieht De Saint-Venant nichtprismatische Kanäle in die Rechnung ein und vergleicht seine Resultate mit auf der Weser durchgeführten Experimenten nach Funk, welche d'Aubuisson (1837) beschreibt. Die Übereinstimmung ist nur mässig, weshalb die Abweichungen Fehlern sowohl in den Messungen als auch in den Berechnungsannahmen hinsichtlich eines prismatischen Kanals zugeschrieben werden.

Weitere Werke um 1850 bezogen sich auf praktische Probleme wie der Ableitung von Regenwasser, der Drainage von Sümpfen, also der landwirtschaftlichen Hydraulik (man spricht noch heute von «hydraulique agricole»). Von 1852 bis 1870 arbeitete er fast ausschliesslich an der Festkörpermechanik, u.a. an Problemen, die bereits von Navier, Cauchy und Poisson angegangen worden waren. 1865 wurde er zum Offizier der «Légion d'Honneur» ernannt und 1868 gar zum Mitglied der illustren «Académie des Sciences» als Nachfolger von Poncelet.

Mangels publizierten Bildmaterials in den Werken von De Saint-Venant werden in der Folge zur Illustration einige Stau- und Senkungskurven aus dem Artikel Boudins (1861) eingestreut. Diese sind selbsterklärend, so dass auf einen Kommentar jeweils verzichtet wird.

Höhepunkte

1870 bestätigt De Saint-Venant in elementarer Weise die schon von Lagrange hergeleitete Beziehung $c = (gh)^{1/2}$ für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Flachwasserwelle. Anschliessend wird der allgemeinere Ausdruck $c = V \pm (gh)^{1/2}$ hergeleitet für sich mit der Geschwindigkeit V bewegende Abflüsse. Ein Wassersprung kann sich deshalb nur einstellen, falls $V/(gh)^{1/2}$ – die heute nach Froude benannte Zahl – grösser als eins ist. Dieser Charakteristik folgend werden vernünftigerweise Strömungen mit $\mathbf{F} = V/(gh)^{1/2} < 1$ als Flüsse (rivières) bezeichnet und solche mit $\mathbf{F} > 1$ als Wildbäche (torrents). In Wildbächen machen sich Einflüsse des Unterwassers nicht bemerkbar auf oben liegende Querschnitte, während sich Flüsse stauen, also durch Unterwasser stören lassen. Dieses fundamentale Prinzip schlägt sich nieder auf die Berechnung von stationären und instationären Freispiegelabflüssen.

In einer bereits 1872 begonnenen, aber erst nach seinem Tode veröffentlichten Arbeit geht De Saint-Venant (1887) nochmals auf die Stau- und Senkungskurven ein. Vorerst beschreibt er die Schwierigkeiten bei der Aufstellung eines Gesetzes für die Geschwindigkeitsverteilung von Normalabfluss, an denen schon Navier fünfzig Jahre früher scheiterte. Aufbauend auf den theoretischen Ergebnissen von Boussinesq und den Messungen hauptsächlich von Bazin, lassen sich aber vereinfachte Ansätze beschreiben. Die Resultate werden schon in der Einleitung klar auf einmensionale Abflüsse bezogen, wobei die Korrekturkoeffizienten in die Lösung integriert sind.

Im Kapitel 2 wird die Literatur beschrieben. Ausgehend von Bélanger, welcher 1828 als erster Stau- und Senkungskurven analytisch behandelte, werden die Beiträge von Vauthier und Coriolis im Jahre 1836 beschrieben. Die Gleichung von Vauthier lässt sich auf Flüsse beliebigen Querschnitts anwenden, während Coriolis wie bereits erwähnt den Korrekturfaktor α infolge nichtuniformer Geschwindigkeitsverteilung einführte. Schon damals gab die Einführung von α in die Energiegleichung widersprüchliche Ansichten: Einerseits ging es um die Grössenordnung dieses Koeffizienten, anderseits um dessen Ermittlung in Kanälen.

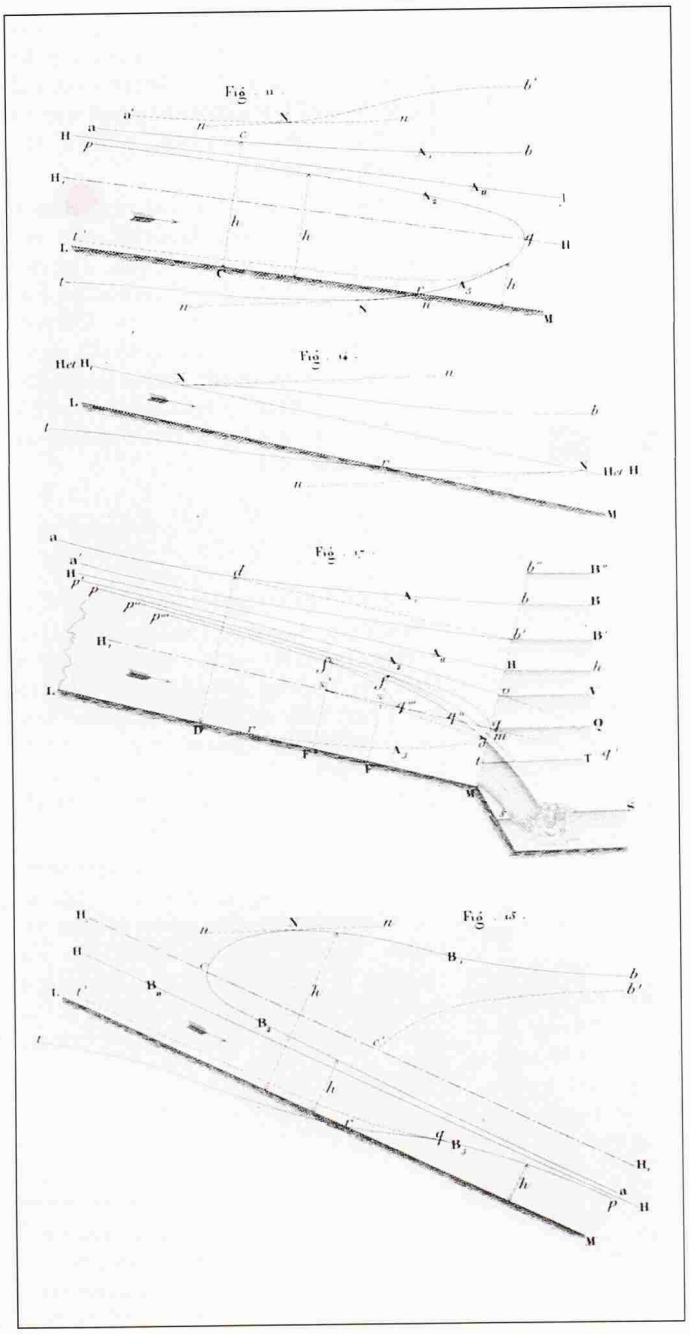

Bild 3. Typen von Stau- und Senkungskurven (Boudin 1861)

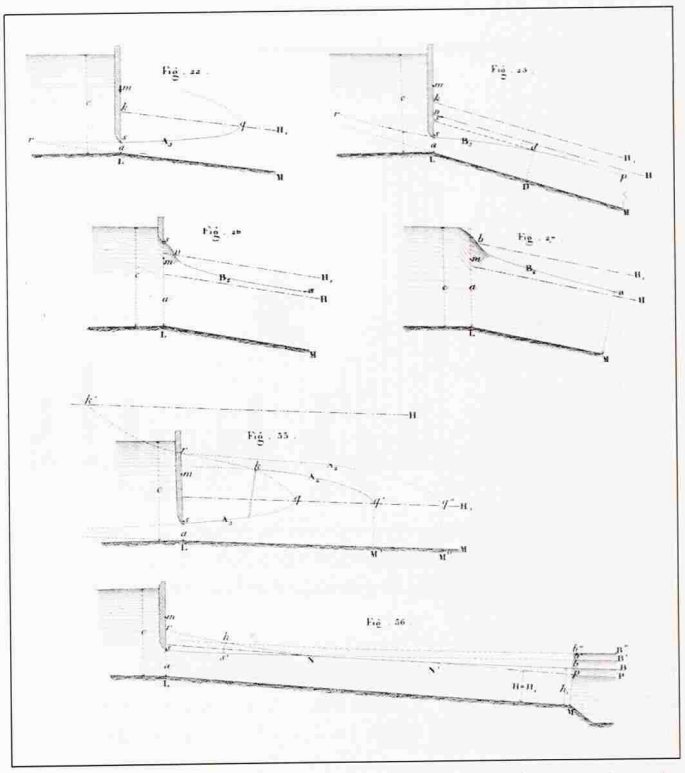

Bild 4. Wasserspiegel im Unterwasser von Schützen (Boudin 1861)

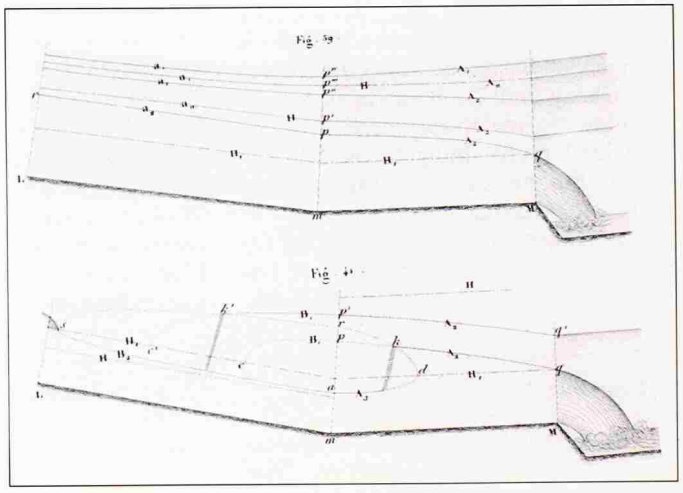

Bild 5. Wasserspiegel in der Umgebung von Abstürzen (Boudin 1861)

Noch heute hat sich kein abschliessendes Urteil über die Aussagekraft von α und dem von Boussinesq eingeführten Impulsbeiwert β durchgesetzt. Häufig werden diese Beiwerte in algebraischen Formelausdrücken zwar berücksichtigt, bei numerischen Berechnungen dann aber oft auf $\alpha = \beta = 1$ reduziert.

Anschliessend geht De Saint-Venant auf die Arbeit von Boussinesq (1877) ein, welcher bei Vernachlässigung der Stromlinienkrümmung ebenfalls die Beziehungen von Bélanger und Vauthier bestätigte. Wird die ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung berücksichtigt, so sei anstelle von α der Impulsbeiwert β einzusetzen, also gegenüber α eine kleine Korrektur vorgenommen. Nach einer längeren Diskussion über die Geschwindigkeitsverteilung von Normalabfluss wird dann auf Boussinesqs Theorie der Stau- und Senkungskurven bei Berücksichtigung der Stromlinienkrümmung eingegangen. Dieser rund 50 Seiten lange Beitrag darf insbesondere als Zugang zum rund siebenhundert Seiten starken Monumentalwerk «Eaux Courantes» von Boussinesq (1877) gewertet werden. De Saint-Venants Beitrag diente mit grosser Sicherheit als Grundlage der rund 10 Jahre später geschriebenen Zusammenfassung von Flamant (1900), auf welcher wiederum die «Hydraulik» von Forchheimer (1914) basierte. Dieses letzte Werk hat dann die Entwicklung der Hydraulik im deutschen Sprachraum nachhaltig beeinflusst.

De Saint-Venant hat neben den Arbeiten an stationären Abflüssen besondere Verdienste an dem heute nach ihm benannten Gleichungssystem für instationäre Freispiegelabflüsse. Nachdem d'Alembert im Jahre 1744 gefunden hat, dass die Divergenz eines mehrdimensionalen Abflusses gleich Null sein muss, stellte Dupuit im Jahre 1848 die Kontinuitätsgleichung für Abflüsse in Rechteckprofilen auf. Die allgemeine Massenbilanz von eindimensionalen Strömungen fand schliesslich De Saint-Venant (1871)

$$(3) \quad \frac{\partial (VA)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

mit V als mittlerer Fliessgeschwindigkeit, A als Querschnittsfläche, x als Lagekoordinate und t als Zeit. Gleichung (3) besagt nichts anderes, als dass die

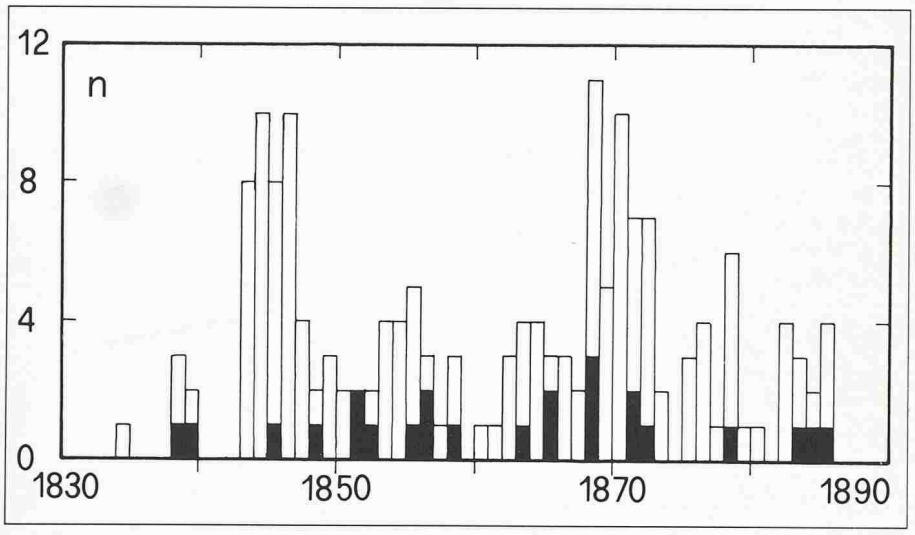

Bild 6. Anzahl n von Publikationen pro Jahr von De Saint-Venant nach den von Boussinesq und Flamant (1886) im Literaturnachweis erwähnten Arbeiten

Differenz von Zu- und Ausfluss eines Kontrollvolumens der Länge dx gleich der Speicherung ist. Gegenüber der heutigen Schreibweise fehlt in Gl. (3) noch der Term, welcher seitliche Zu- und Ausflüsse in Rechnung stellt.

Neben der Massenbilanz leitete De Saint-Venant auch die dynamische Gleichung von eindimensionalen Strömungen ab. Basierend auf den Arbeiten von Chézy und Du Buat für den sogenannten Normalabfluss und insbesondere den Untersuchungen von Venturoli und Bidone kurz vor 1820 für die Stau- und Senkungskurven, konnte vorerst Bélanger (1828) die Gleichung für stationäre Kanalabflüsse herleiten. Dabei unterschied er zwischen stetig veränderlichen und abrupt veränderlichen Strömungen. Für die ersten leitete er die Gleichung der Stau- und Senkungskurven ab

$$(4)\quad \sin\alpha - \cos\alpha \frac{dh}{dx} = J_f + \frac{d}{dx}\left(\frac{Q^2}{2gA^2}\right).$$

In dieser Beziehung bedeutet α den Neigungswinkel der Kanalsohle, h die Wassertiefe, J_f das Reibungsgefälle und Q den Durchfluss.

Für die zweiten ergab sich das Verhältnis der konjugierten Wassertiefen von Wassersprüngen, welches zwar fälschlicherweise auf dem Energiesatz fusste. Eine auf dem Impulssatz basierende Korrektur-Gleichung entwickelte Bélanger 1838. Diese Beziehungen wurden von Bresse (1860) in eine endgültige Form gebracht. Sein Werk liest sich in bezug auf Kanalabflüsse fast wie ein Lehrbuch der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Die Erfolge von Bélanger und Bresse, mit dem Impulssatz Gleichungen von Kanalströmungen abzuleiten, führten De Saint-Venant zum allgemeinen Fall von instationären Abflüssen. Obwohl bereits Dupuit im Jahre 1848 die dynamische Gleichung für breite Rechteckprofile ableitete, verdanken wir De Saint-Venant die heute noch immer gebräuchliche Form

$$(5)\quad \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = J_s - J_f$$

mit g als Erdbeschleunigung. Es ist zu bemerken, dass Gl. (5) uniforme Geschwindigkeits- und hydrostatische Druckverteilung voraussetzt. Ist dies nicht der Fall, so gilt nach Boussinesq eine komplizierte Beziehung mit Ableitungen dritter Ordnung, die sich erst in jüngster Zeit mit numerischen Verfahren (Abbott, 1979) lösen lässt.

Zur Integration des Gleichungssystems (3, 5) wandte De Saint-Venant bereits die Methode der Charakteristiken an. Dabei werden die unabhängigen Variablen x und t durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $c = (gA/T)^{1/2}$ in und entgegen der Fliessrichtung ersetzt, also

$$(6)\quad \frac{dx}{dt} = V \pm c$$

Literatur

Abbott, M.B. (1966): Method of Characteristics. American Elsevier, New York

Abbott, M.B. (1979): Computational Hydraulics. Pitman, London

Bélanger, J.B. (1828): Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement permanent des eaux courantes. Carilian-Gœury, Paris

Boudin, E.J. (1861): De l'axe hydraulique des cours d'eau contenus dans un lit prismatique et des dispositifs réalisant, en pratique, ses formes diverses. Annales des Travaux Publiques de Belgique, Vol. 20, 397–555

Boussinesq, J.V. (1877): Essai sur la théorie des eaux courantes. Mémoires Présentées par Divers Savants, Paris, Vol. 23, 1–680; Vol. 24, 1–64

Boussinesq, J.V. und *Flamant, A.* (1886): Notice sur la vie et les travaux de M. De Saint-Venant. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 56, 2. Semester, 2. Serie, 557–595

Bresse, J.A. (1860): Cours de mécanique appliquée. Gauthier-Villars, Paris

Chaudhry M.H. (1987): Applied Hydraulic Transients. 2. Ed., Van Nostrand, Reinhold Company, New York

Coriolis, G.G. (1836): Sur l'établissement de la formule qui donne la figure des remous, et sur la correction qu'on doit y introduire pour tenir compte des différences de vitesse dans les divers points d'une même section de courant. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 6, 1. Semester, 314–335

D'Aubuisson, J.F. (1837): Observations faites en Allemagne sur les remous produits dans les rivières par des barrages. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 7, 1. Semester, 78–85

De Saint-Venant, B. (1851): Sur des formules nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes. Annales des Mines, Serie 4, Vol. 20, 288–353

De Saint-Venant, B. (1871): Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec applications aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leur lit. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Vol. 73, 147–154; 237–240

De Saint-Venant, B. (1887): Des diverses manières de poser les équations du mouvement varié des eaux courantes. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 57, 6. Série, 1. Semestre, Nr. 12, 148–228

Dupuit, A.J. (1848): Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux. Carilian-Gœury et Dalmont, Paris

Flamant, A. (1900): Hydraulique. Béranger, Paris

Forchheimer, P. (1914): Hydraulik. 2. Auflage, Teubner, Leipzig und Berlin

Jaeger, C. (1949): Technische Hydraulik. Birkhäuser, Basel

Massau, J. (1884): Mémoire sur l'intégration graphique et ses applications. Revue Universelle des Mines, Vol. 16, 2. Serie, 243–285; 579–650

Stoker, J.J. (1957): Water Waves. Interscience Publishers, Inc., New York

Vauthier, P. (1836): De la théorie du mouvement permanent des eaux courantes et de ses applications a la solution de plusieurs problèmes hydrauliques. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 6, 1. Semester, 241–313

Vauthier, P. (1836): Sur la correction que M. l'ingénieur en chef Coriolis propose de faire subir à la formule du mouvement permanent des eaux courantes. Annales des Ponts et Chaussées, Vol. 6, 2. Semester, 362–385

mit $T = A/B_s$ als hydraulische Wassertiefe, wobei B_s die Oberflächenbreite bezeichnet. Die gesuchten Grössen, das heisst die Geschwindigkeit V und die Wassertiefe h in Abhängigkeit der Lage x und der Zeit t, sind dann gekoppelt über die Beziehungen

$$(7) \quad \frac{d(V \pm 2c)}{g \cdot dt} = J_s - J_f.$$

Daraus folgt insbesondere die Invarianz des Ausdruckes $(V \pm 2c)$ von Abflüssen, bei denen die Reibungsverluste durch das Sohlengefälle kompensiert werden, also $J_s = J_f$ gesetzt werden darf. De Saint-Venant wandte diese Beziehung an auf eine Gezeitenwelle, die sich in einem Kanal ausbreitet.

Die Methode der Charakteristiken wurde systematisch erst von Massau (1884) entwickelt und dann durch Stoker (1957) und Abbott (1966) stark popularisiert. Heute besitzt sie nicht mehr denselben Stellenwert, da die Gleichungen von De Saint-Venant einfacher durch finite Differenzengleichungen ersetzt und dann numerisch gelöst werden (Chaudhry, 1987).

Das Lebensende

Von Boussinesq und Flamant (1886) werden daneben noch drei Arbeiten speziell diskutiert, welche erst nach dem Tode veröffentlicht wurden: Die erste von 1847 beschäftigt sich mit dem Flüssigkeitswiderstand. Darin geht De Saint-Venant vorerst der Geschichte dieses hydraulischen Basisproblemes nach, dann beschreibt er die Widerstandskräfte, ausgelöst durch Diskontinuitätsflächen des Fluids (also dessen «Unterteilung in Moleküle»). Die einzelnen Wegbahnen werden als wellig bezeichnet, was später von Boussinesq selbst wieder aufgegriffen wurde. Schliesslich gibt er Ausdrücke an, mit denen sich der Widerstand berechnen lässt. Die zweite Arbeit war betitelt mit «Über den Verlust eines Fluides an Orten, wo der Querschnitt sich abrupt erweitert», sich also an der Untersuchung von Borda orientiert, und eine dritte Basisstudie, betitelt mit «Über den Einfluss der Zentrifugalkräfte in der Berechnung von Wasserströmung und der Unterscheidung zwischen Bächen und Flüssen». In allen drei Arbeiten wird klar der Zweck hervorgehoben, praktische Probleme einer Lösung näherzubringen. Damit wird der Physiker De Saint-Venant gleichfalls auch Ingenieur.

Wie aus Bild 6 hervorgeht, hat De Saint-Venant hauptsächlich als Pensionierter publiziert. Beispielsweise im Alter von 86 Jahren übersetzte er die Elastizitätstheorie von Festkörpern nach Clebsch in Zusammenarbeit mit Flamant. Dieses Werk veranlasste ihn zu einer ausgedehnten Neuüberdenkung des Problemkreises, natürlich mit entsprechenden Bemerkungen zur Übersetzung selbst. Dadurch entstand schliesslich gegenüber dem Original ein Werk mit dreifachem Umfang.

Neben der direkten Forschungstätigkeit war De Saint-Venant wie erwähnt Mitglied der «Académie des Sciences» und damit Berichterstatter von Fachpublikationen. Um diesen Arbeitsaufwand zufriedenstellend bewältigen zu können, begann sein Arbeitstag ohne Ausnahme (wie Boussinesq und Flamant versichern) um 5 Uhr morgens und dauerte bis mindestens 18 Uhr. Erst dann widmete er sich seiner Familie: seiner Frau, geborener Rohault de Fleury, und seinen sechs Kindern. Lassen wir Boussinesq und Flamant erzählen: «Le savant devenait alors l'homme du monde, causeur agréable, spirituel, affable, prévenant, ayant beaucoup vu, beaucoup observé, ayant beaucoup a dire sur toutes sortes de sujets, mais laissant volontiers la parole a son interlocuteur, et prenant toujours intérêt à ce qu'il entendait.»

Auf dem Weg nach Paris erlitt der fast neunzigjährige De Saint-Venant Ende 1885 eine Erkältung. Obwohl er sich sofort auf den Heimweg machte, dort im Bett noch Korrekturlesungen vornahm, ereilte ihn der Tod am 6. Januar 1886. Damit war einer der Männer, die an die Macht der Vernunft glaubten, dahingegangen.

Adresse des Verfassers: *W. H. Hager*, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 8092 Zürich.

Permanente Einstabanker

Praktische Erfahrungen im Kanton Zürich

Im Kanton Zürich werden bei der Erstellung von Stützbauwerken an Staats- und Nationalstrassen seit 25 Jahren permanente Lockergesteins- und Felsanker eingesetzt. Ein grosser Teil dieser Objekte wird langfristig überwacht, und die Anker werden periodisch stichprobenweise auf ihren Zustand und ihre Tragfähigkeit geprüft.

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen des kantonalen Tiefbauamtes Zürich soll über den Einsatz und das Verhalten

VON BERNHARD A. KUHN, ZÜRICH

der Anker berichtet werden. Im Sinne der Risikobeurteilung dieser Bauelemente wäre es zu begrüssen, wenn weitere Bauherren ebenso wie Ingenieurbüros und Ankerfirmen über ihre Erfahrungen berichten würden.

Da der überwiegende Teil der hier erfassten Anker als Einstab-Zugglieder ausgebildet ist – aus Gründen, die später noch erläutert werden –, gelten die folgenden Ausführungen im wesentlichen für diesen Ankertyp.

Anwendung permanenter Verankerungen

Permanente Verankerungen bürden dem Eigentümer wegen der latenten Korrosionsgefahr auf Dauer Kontroll- und Überwachungspflichten auf. Deshalb werden solche Bauelemente vom Tiefbauamt des Kantons Zürich nur mit Zurückhaltung dort eingesetzt, wo andere Konstruktionen nicht oder nur mit unverhältnismässigem Mehraufwand zu realisieren wären.

Ausserdem werden die Anker wenn möglich so eingesetzt, dass das gesicherte Bauwerk bei einem Totalausfall aller Anker zwar eine verminderte Sicherheit aufweisen würde, aber nicht einstürzen könnte.

Wahl des Ankertyps

Von den über 4000 eingebauten permanenten Ankern sind etwa 85% als Einstabanker ausgebildet. Dem Einstabanker wird aus folgenden Gründen der Vorzug gegenüber einem Litzenanker gegeben: