

Zeitschrift: Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik
Herausgeber: Verein für wirtschaftshistorische Studien
Band: 58 (1993)

Artikel: Jakob Amsler-Laffon (1823-1912), Alfred Amsler (1857-1940) : Pioniere der Prüfung und Präzision
Autor: Amsler, Robert / Erismann, Theodor H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1091031>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

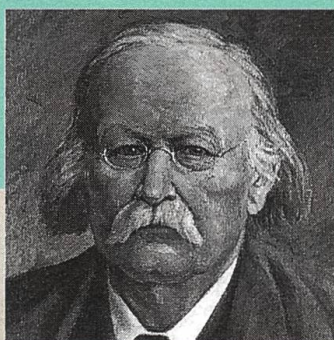
Download PDF: 24.04.2026

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

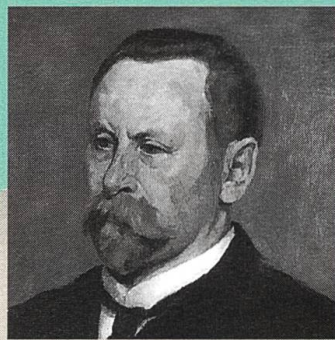
SCHWEIZER
Pioniere

DER WIRTSCHAFT
UND TECHNIK

Jakob Amsler-Laffon
1823-1912



Alfred Amsler
1857-1940



**Pioniere
der Prüfung und Präzision**

Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik

- 1 Philippe Suchard (vergriffen)
- 2 J. J. Sulzer-Neuffert, H. Nestlé,
R. Stehli, C. F. Bally, J. R. Geigy
- 3 Joh. Jak. Leu (vergriffen)
- 4 Alfred Escher
- 5 Daniel Jeanrichard
- 6 H. C. Escher, F.-L. Cailler, S. Volkart,
F. J. Bucher-Durrer (vergriffen)
- 7 G. P. Heberlein, J. C. Widmer,
D. Peter, P. E. Huber-Werdmüller, E. Sandoz
- 8 Prof. Dr. W. Wyssling, Dr. A. Wander,
H. Cornaz
- 9 J. J. Egg, D. Vonwiller (vergriffen)
- 10 H. Schmid, W. Henggeler,
J. Blumer-Egloff, R. Schwarzenbach,
A. Weidmann
- 11 J. Näf, G. Naville, L. Chevrolet, S. Blumer
- 12 M. Hipp, A. Bühler, E. v. Goumoens,
A. Klaesi
- 13 P. F. Ingold, A. Guyer-Zeller, R. Zurlinden
- 14 Dr. G. A. Hasler, G. Hasler (vergriffen)
- 15 F. J. Dietschy, I. Gröbli, Dr. G. Engi
- 16 Das Friedensabkommen in der schweiz.
Maschinen- und Metallindustrie
Dr. E. Dübi, Dr. K. Ilg (vergriffen)
- 17 P. T. Florentini, Dr. A. Gutzwiller,
A. Dätwyler (vergriffen)
- 18 A. Bischoff, C. Geigy, B. La Roche,
J. J. Speiser
- 19 P. Usteri, H. Zoelly, K. Bretscher
- 20 Caspar Honegger
- 21 C. Cramer-Frey, E. Sulzer-Ziegler,
K. F. Gegauf
- 22 Sprüngli und Lindt
- 23 Dr. A. Kern, Dr. G. Heberlein, O. Keller
- 24 F. Hoffmann-La Roche, Dr. H. E. Gruner
- 25 A. Ganz, J. J. Keller, J. Busch
- 26 Dr. S. Orelli-Rinderknecht,
Dr. E. Züblin-Spiller
- 27 J. F. Peyer im Hof, H. T. Bäschlin
- 28 A. Zellweger, Dr. H. Blumer
- 29 Prof. Dr. H. Müller-Thurgau
- 30 Dr. M. Schiesser, Dr. E. Haefely
- 31 Maurice Troillet
- 32 Drei Schmidheiny (vergriffen)
- 33 J. Kern, A. Oehler, A. Roth
- 34 Eduard Will
- 35 Friedrich Steinfels
- 36 Prof. Dr. Otto Jaag
- 37 Franz Carl Weber
- 38 Johann Ulrich Aebi
- 39 Eduard und Wilhelm Preiswerk
- 40 Johann Jakob und Salomon Sulzer
- 41 5 Schweizer Brückenbauer (vergriffen)
- 42 Gottlieb Duttweiler
- 43 Werner Oswald
- 44 Alfred Kern und Edouard Sandoz
- 45 Johann Georg Bodmer
- 46 6 Schweizer Flugpioniere (vergriffen)
- 47 J. Furrer, J. A. Welti-Furrer, C. A. Welti
- 48 Drei Generationen Saurer

Jakob Amsler-Laffon

1823–1912

Alfred Amsler

1857-1940

Pioniere der Prüfung und Präzision

von Dr. Robert Amsler, Schaffhausen,
und Prof. Dr. Theodor H. Erismann, Neuhausen

© Copyright 1993 by Verein für wirtschaftshistorische Studien.

Alle Rechte vorbehalten.

Herausgegeben vom Verein für wirtschaftshistorische Studien,

Weidächerstrasse 66, 8706 Meilen.

Herstellung: gsd glarus satz + druck AG, 8750 Glarus.

ISBN 3-909059-04-X

*Das Amsler-Wappen
zeigt zwei schwarze Am-
seln auf zwei schwarzen
Spitzen in Silber.*



Inhalt

Vorwort	9
----------------	----------

Biographischer Teil

(verfasst von Dr. Robert Amsler)

Jakob Amsler-Laffon (1823-1912)	11
--	-----------

Der «Bären» - Suststation auf dem Bözberg – Erinnerungen an den Vater – Kindheit und Jugend – Studienjahre – Von der Theologie zur Mathematik und Physik – Privatdozent und Gymnasiallehrer – Eine vielseitige Persönlichkeit – Liebe zur Musik – Ehemann und Familienvater – Verdiente Ehrungen

Alfred Amsler (1857–1940)	23
----------------------------------	-----------

Schul- und Studienzeit – Im väterlichen Betrieb – Ein grosser Musikliebhaber – Sportliche Aktivitäten – Dienst an der Öffentlichkeit – Vom Mitarbeiter zum Firmeninhaber – Eiserner Wille

Mathematisch-technischer Teil

(verfasst von Prof. Dr. Theodor H. Erismann)

Genie und Nachwelt	29
---------------------------	-----------

Schicksal des Bahnbrechers – Beispiele: Bruchmechanik, Ermüdung – Rechengerate – J. und A. Amsler: glückhaftes Zusammentreffen

Vater und Sohn	31
-----------------------	-----------

Urheberschaft der Erfindungen – Persönlicher Stil – Erinnerungen an Alfred Amsler

1854: Analogrechner im Reisszeugformat

– das Polarplanimeter	33
------------------------------	-----------

Rechenhilfen der Frühzeit – Zunahme des Bedarfs – Integralrechnung – Scheiben- und Kegelgetriebe – Polarplanimeter – Theorie: allgemeinste Form für Linear- und Polarplanimeter – Messung grosser Figuren – Fehlerkompensation – Weg zum weltweiten Erfolg

Ab 1856: Analogrechner zweiter Generation

– Momentenplanimeter und andere mathematische Instrumente	42
--	-----------

Voraussetzungen zur Innovation – Scheibenplanimeter – Momentenplanimeter und ihre Theorie – Stereographisches Planimeter – Zeit nach 1940: Baukastensystem, Ablösung durch digitale Computer

1886: Handarbeit im Mikrometerbereich

- der eingeschliffene Kolben** **48**
Prüfmaschinen: Bedarf – Benützung eingeschliffener Kolben – Werkstoffentwicklung – Prüfmaschine: Aufgabe und Teile – Bedeutung und Funktion des eingeschliffenen Kolbens – Quecksilbermanometer – Pendelmanometer: Funktion – Pendelmanometer: Einsatz einst und jetzt

Um 1910: «Real time on line»

- Dynamometerwagen** **56**
Zum Begriff «Computer» – Lokomotivprüfung im Betrieb – Theorie des Dynamometerwagens – Bedingungen für Mess- und Rechengerate – Kugelgetriebe für Integration und Differentiation – Entwicklungen nach 1950 – Messfahrzeuge für andere Zwecke

Um 1920: Regeltechnik und Phasenmodulation

- hydraulische Antriebselemente** **64**
Prüfgeräte: Anforderungen an Antriebe – Druck- und Stromregler als Vorläufer der Servohydraulik – Ermüdungsantriebe: hydraulische Pulsatoren – Amplituden- und Phasenmodulation – Energiebedarf

Schlusswort

73

Begrenztheit der Studie – Konzentration auf das Wesentliche – Schlüsselrolle der Kreativität

Die Firmengeschichte

75

(verfasst von Dr. Robert Amsler)

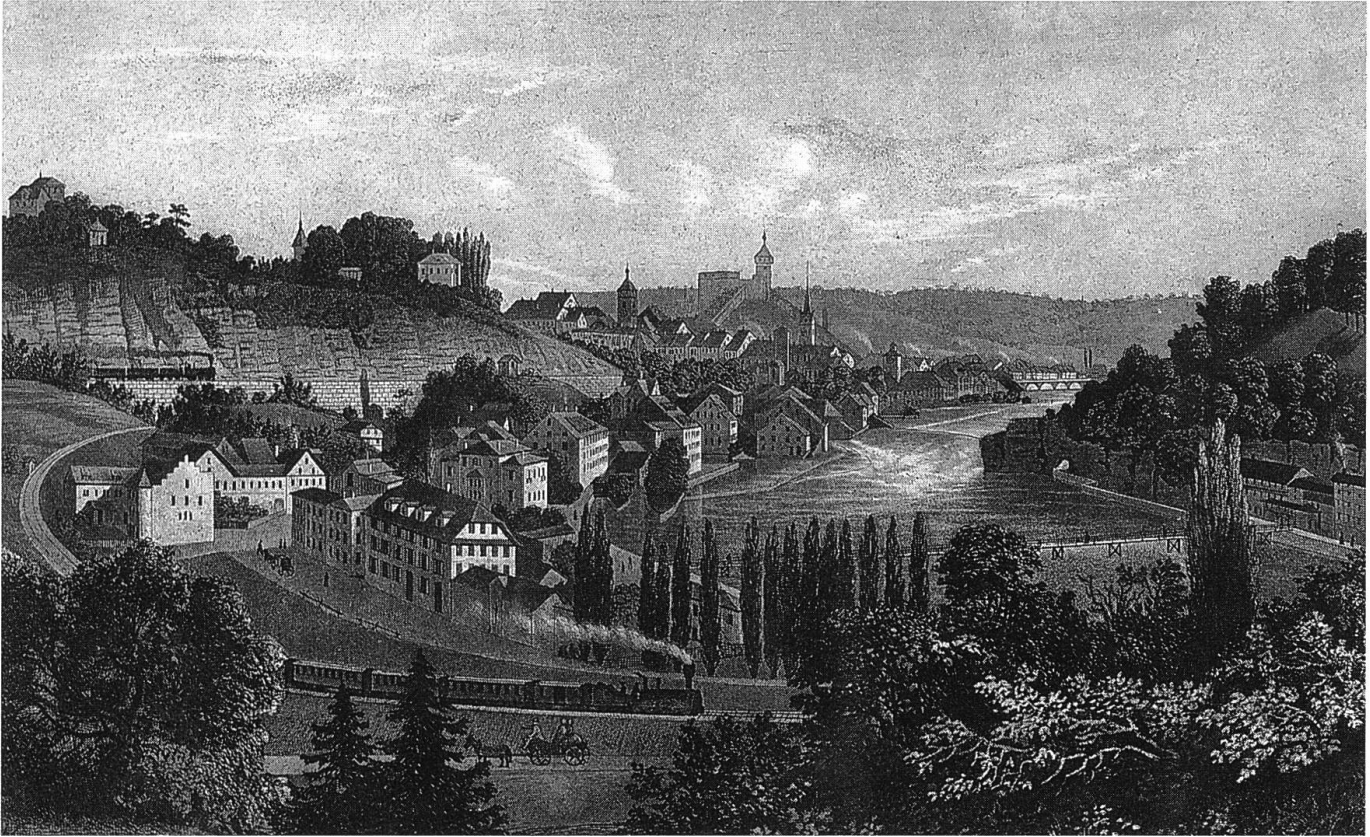
Einrichtung einer Werkstätte – Eintritt des Sohnes Alfred und neue Entwicklungen – Neue Fabrikanlage im Ebnat – Weiterentwicklung und Erweiterung – Eine neue Generation – Nach dem Zweiten Weltkrieg

Literatur

85

Abbildungsnachweis

88



*Die Stadt Schaffhausen
auf einem Stahlstich um
1860*

Vorwort

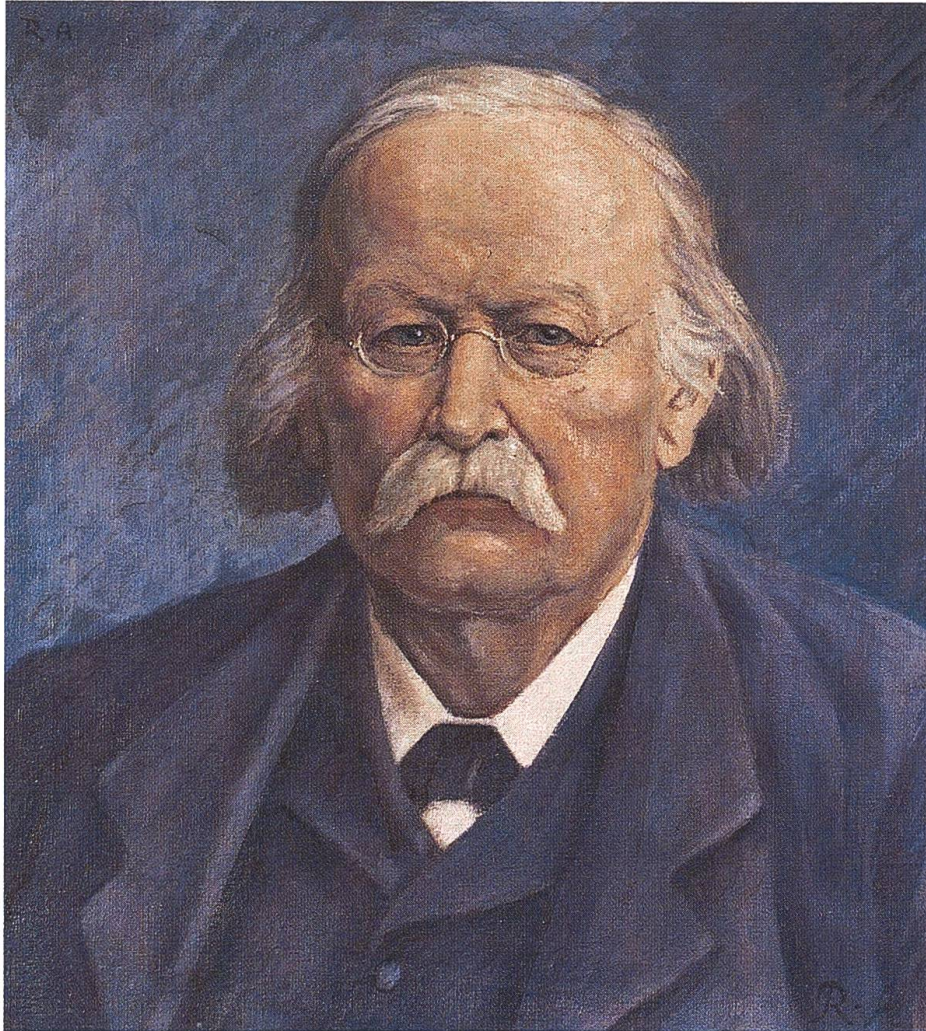
In der Schweiz wirkten verschiedene hervorragende Persönlichkeiten auf den Gebieten der Wirtschaft und Technik, an die heute keine grossen Unternehmen mehr erinnern. Trotzdem haben sie Wertvolles geleistet zum Aufbau der schweizerischen Wirtschaft und zum heutigen hohen Stand der Technik. Zu ihnen gehören die in diesem Band vorgestellten Mathematiker und Konstrukteure Jakob und Alfred Amsler aus Schaffhausen, ohne deren Erfindungen die heutige Technik nicht mehr auskommen kann. Dass sich der Bekanntheitsgrad von Jakob und Alfred Amsler ausser in Fachkreisen auf den Raum Schaffhausen beschränkt, liegt weniger in ihrem bescheidenen Auftreten als vielmehr in der stark regionalen Gliederung unseres Landes begründet. Mit diesem Band aber sollen die lokalen Grenzen übersprungen und die Leistungen der beiden Pioniere auch in anderen Teilen der Schweiz in Erinnerung gerufen werden.

Schon seit Jahren besteht im Museum zu Allerheiligen in Schaffhausen ein Amsler-Zimmer mit den wichtigsten Erfindungen von Jakob und Alfred Amsler. Dies gab auch die Anregung zu dieser Schrift durch den Museumsdirektor Dr. Gérard Seiterle, dem hier für seine Initiative und das Herstellen der notwendigen Kontakte gedankt sei. Unser Dank geht aber auch an die beiden Autoren Prof. Dr. Theodor H. Erismann und Dr. Robert Amsler – und nicht zuletzt an die ganze Familie Amsler, die das Werk spontan unterstützte, nicht nur in finanzieller Hinsicht, sondern auch

durch Zurverfügungstellung der verschiedensten Dokumente und Illustrationen. Danken möchten wir schliesslich dem Stadtarchiv Schaffhausen, das zu einem guten Teil zum Gelingen dieser Schrift beigetragen hat.

Wenn nun der Leser im vorliegenden Band blättert, wird ihm die Dreiteilung – Biographischer Teil, Mathematisch-technischer Teil und Firmengeschichte – auffallen, wie sie sonst in den Bänden unserer Reihe nicht üblich ist. Diese Aufteilung drängte sich in diesem Fall aber auf, weil der mathematisch-technische Teil mit Würdigung der verschiedenen Erfindungen als Einheit erscheinen soll, dem der biographische Teil vorangestellt und die Firmengeschichte angeschlossen wird.

Fritz Hauswirth,
Geschäftsführer des Vereins für
wirtschaftshistorische Studien

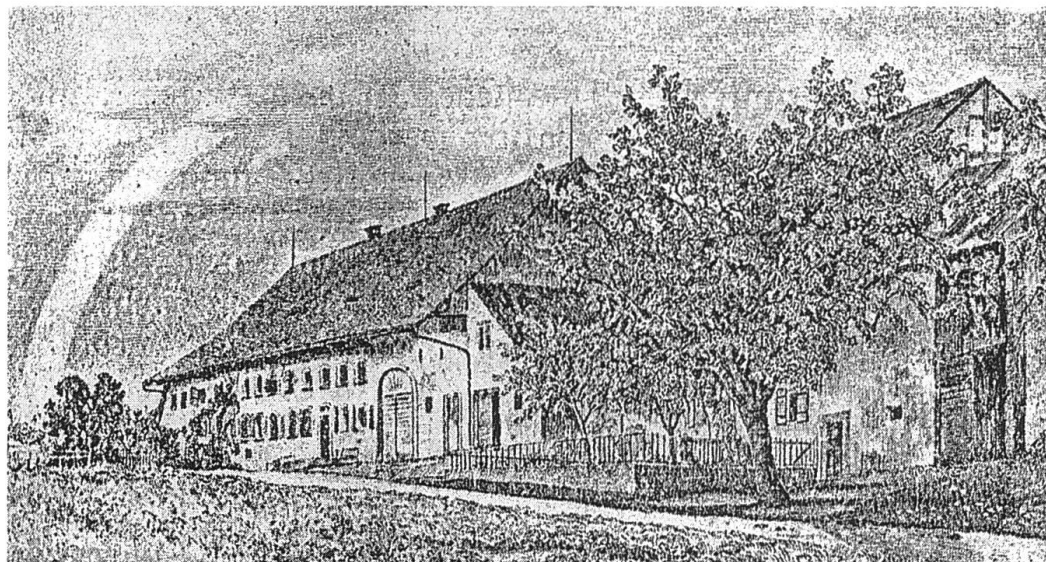


Jakob Amsler-Laffon (1823–1912)

Biographischer Teil

Jakob Amsler-Laffon (1823–1912)

Der Gasthof «zum Bären» von 1780 auf dem Bözberg, das Geburtshaus von Jakob Amsler-Laffon, auf einer Federzeichnung



0Jakob Amsler-Laffon wurde am 11. November 1823 auf dem Stalden bei Schinznach Dorf AG geboren. Die Familie Amsler hatte schon seit einigen Jahrzehnten den auf der Passhöhe des Bözbergs um 1780 von seinem Grossvater erbauten Gasthof «zum Bären» besessen und betrieben. Bevor die durchgehende Eisenbahnlinie Basel–Zürich in Betrieb genommen wurde, diente die Strasse über den Bözberg als Hauptverbindung zwi-

schen beiden Städten und war demnach für damalige Verhältnisse gut ausgebaut, damit der von Jahr zu Jahr zunehmende Personen- und Güterverkehr bewältigt werden konnte. Vor allem die bis zehn Tonnen schweren Baumwollwagen, die 12- bis 14spännig geführt wurden, beanspruchten die Strasse sehr. Dazu kamen die zweimal täglich betriebenen Postkutschenkurse von Zürich über Baden – Brugg – Bözberg – Frick – Stein AG – Rhein-

Der Gasthof «zum Bären» in den 1970er Jahren



felden nach Basel und zurück, die für einen Weg zehneinhalb Stunden brauchten und vier- bis sechsspännig geführt wurden. Auch der Privatverkehr war beträchtlich.

Der «Bären» – Suststation auf dem Bözberg

In Umiken, Effingen und Bözen, den Dörfern beidseits des Bözbergs, wurden weit über hundert Vorspannpferde gehalten, die jeweils auf der Passhöhe ausgespannt und gefüttert wurden. Die Fuhrleute wurden an Ort und Stelle entlohnt, und zusammen mit den Postkutschenpassagieren aus aller Welt gepflegten sie sich im «Bären».

Da sich der Gasthof nicht in einem Dorf befand, mussten die Wirtsleute nicht nur eine eigene Metzgerei führen, sondern auch selbst backen. Landwirtschaftliche Maschinen und Geräte wurden hergestellt oder in Ordnung gebracht sowie Kleider und Mobilien angefertigt; sogar eine Drehbank war vorhanden. Jakob Amsler arbei-

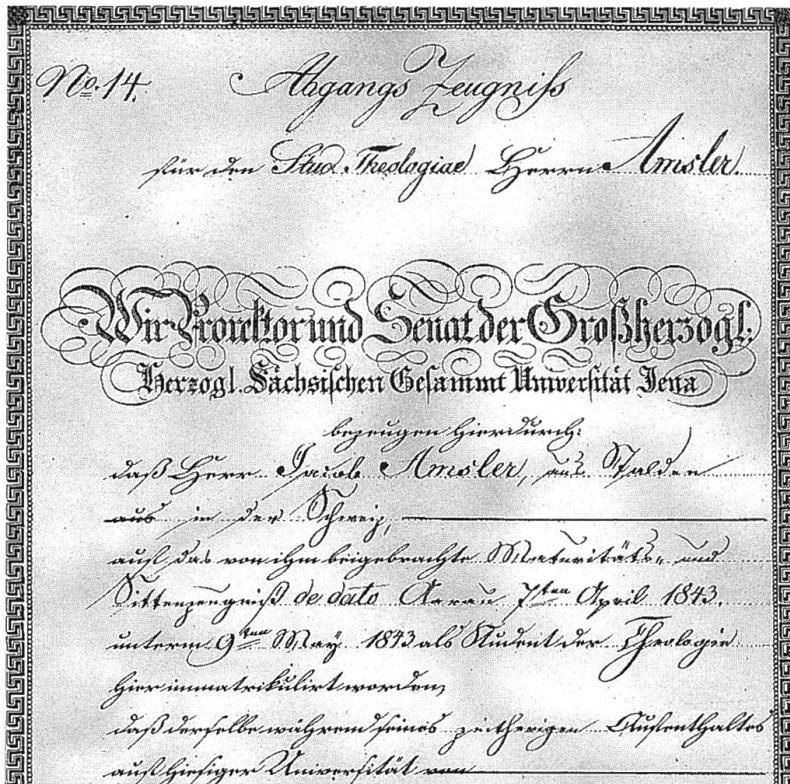
tete mit seinen Geschwistern von Jugend an überall mit. «Die Handfertigkeit, die ich mir erworben hatte, befähigte mich, bei Professor Franz Neumann in Königsberg in seinem Laboratorium bei seinen physikalischen Versuchen auszuhelfen», hielt Jakob Amsler viele Jahre später in seinen autobiographischen Notizen fest.

Erinnerungen an den Vater

Schon Jakob Amsler-Amsler (1779–1869), Jakob Amslers Vater und späterer «Bären»-Wirt, besuchte die Stadtschule in Lenzburg, nachdem er in der Dorfschule auf dem Bözberg nur lesen und den Katechismus auswendig gelernt sowie für die Kunst des Schreibens beim Schulmeister Privatstunden genommen hatte. Nach dem Abschluss der Schulzeit wurde er für einige Jahre nach La Chaux-de-Fonds zu einem Metzger geschickt, um Französisch zu lernen, was er allerdings nur ungern tat, wie Sohn Jakob vermutete, da er «lieber eine höhere Bildung erworben hätte». Jakob Amslers Mut-



Der Heimathschein der Gemeinde Schinznach von 1839 (Ausschnitt)



Abgangszeugnis der
Universität Jena, wo
Jakob Amsler Theologie
studiert hatte
(Ausschnitt)

ter war eine Tochter des Bezirksarztes Jakob Amsler in Schinznach. Sie hatte 13 Geschwister, von denen fünf bereits im Kindesalter starben. Einer ihrer Brüder war der bekannte Kupferstecher Samuel Amsler (1791–1849), der als Professor an der Akademie der Künste in München wirkte.

Kindheit und Jugend

Bereits als Vierjähriger ging der kleine Jakob bei Lehrer Brändli im benachbarten Dorf Ursprung zur Schule. Nach seinen Worten soll der Schulmeister, den er sehr schätzte, bei «sehr geringer Besoldung mit seiner zahlreichen Familie in sehr beschränkten Verhältnissen gelebt haben»: Ausser einer geräumigen Schulstube stand dem Lehrer nur ein winziges Zimmer zur Verfügung, in dem er mit seiner Familie hauste.

Vom Herbst 1835 an besuchte Jakob Amsler die Realschule in Lenzburg, wo er nach einigen Tagen trotz seiner «dörflichen Schulung als Erster lociert (eingestuft) wurde». So trat der begabte Jüngling im folgenden Früh-

jahr in die Bezirksschule (Progymnasium) ein, und zwar gleich in die zweite Klasse, allerdings unter der Bedingung, dass er das versäumte Latein in Privatstunden nachzuholen habe. 1839 folgte das Gymnasium in Aarau, wo Amsler im gleichen Haus wie der spätere Bundesrat Emil Welti (1825–1899) wohnte, mit dem er oft die Freizeit verbrachte und «viel Unfug verübte». Sonst ist über Amslers Aarauer Gymnasialjahre nicht viel bekannt, ausser dass er nach seinen eigenen Worten nicht sonderlich fleissig gewesen sei.

Das Umfeld, in dem Jakob Amsler seine Kindheit und Jugendjahre verbrachte, gab ihm eine gute Starthilfe für seine spätere Laufbahn. Die Familie Amsler war aktiv, angesehen, gut-situiert und liess sich offensichtlich die Ausbildung ihrer Kinder etwas kosten. Wohl lebten die Amslers auf dem Bözberg etwas abgeschieden; der tägliche Kontakt mit Durchreisenden aus aller Welt verschaffte der Familie aber einen weiten Horizont.

Studienjahre

Nach dem Abschluss des Gymnasiums immatrikulierte sich Jakob Amsler im Frühjahr 1843 als Student der Theologie an der Universität Jena in Thüringen, wohin er über Strassburg und Frankfurt gereist war. Weder aus seinen Aufzeichnungen über die Zeit in Jena noch über die späteren Studienjahre in Königsberg ist ersichtlich, weshalb sich Amsler an beiden Universitäten als Theologiestudent eingeschrieben hatte. Ob er überhaupt jemals theologische Vorlesungen besuchte, ist fraglich. Demgegenüber erwähnte er, dass in einem heissen Sommer in Königsberg, als die Vorlesungen wegen der Hitze eingestellt werden mussten, sogar am Ostseestrand, wohin er sich mit seinen Freunden und einigen Professoren geflüchtet hatte,

Gespräche über physikalische und mathematische Belange geführt worden seien und «die zum Verständnis nötigen Figuren in den Sand gezeichnet wurden». Möglicherweise war die scheinbare Aufnahme des Theologiestudiums auf Wunsch von Amslers Eltern erfolgt, hätte doch diese Studienrichtung einer alten, noch aus der Zeit des Ancien régime stammenden Tradition der Bürgerschaft von Brugg und Umgebung entsprochen, wo schon durch die Berner Herren eine Lateinschule errichtet worden war und namhafte Stipendien an die aus diesem Institut hervorgegangenen Theologiestudenten ausgerichtet wurden.

Von der Theologie zur Mathematik und Physik

Die Universität Königsberg galt um die Mitte des 19. Jahrhunderts als ein Zentrum der mathematischen Wissenschaften. Hauptlehrer Jakob Amslers war dort Franz Neumann (1798–1895), Begründer der mathematischen Physik, der ein begeisterter Dozent gewesen sein soll. Zur gleichen Zeit wie Amsler, und mit diesem freundschaftlich verbunden, studierten bei Neumann Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), der spätere Professor in Breslau, Heidelberg und Berlin, bekannt durch die nach ihm benannten Kirchhoffschen Regeln über die Gesetze der Stromverzweigung, sowie Siegfried Heinrich Aronhold (1819–1884), später Professor an der Bau- und Gewerbeakademie in Berlin und Begründer der Invariantentheorie. In den Neumannschen Seminarien befasste sich Jakob Amsler unter anderem mit Untersuchungen über Kugelfunktionen.

Privatdozent und Gymnasiallehrer

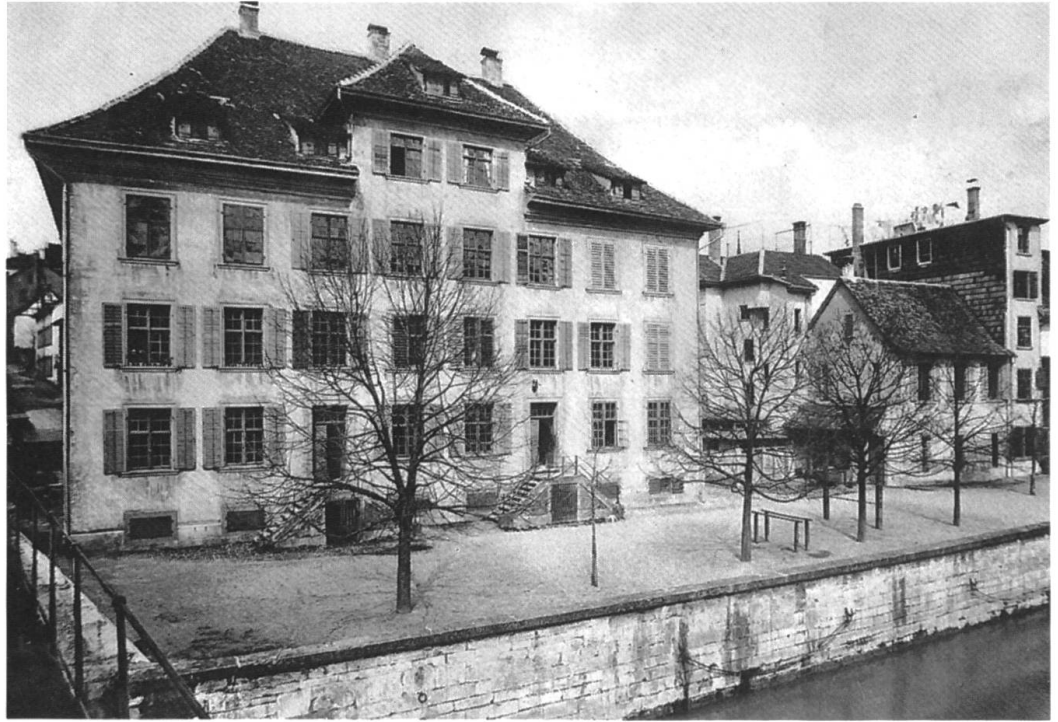
1848, also ein Jahr nach dem Sonderbundskrieg und im Jahr des In-

krafttretens der neuen Bundesverfassung, kehrte Jakob Amsler in die Schweiz zurück und verbrachte den Winter 1848/49 auf dem heimischen Stalden mit Arbeiten im mathematisch-physikalischen Bereich der Potential- und Kugelfunktionen, wobei ihn Professor Albert Masson in Zürich mit den benötigten Unterlagen versah. Im Frühjahr 1849 zog Amsler nach Genf, wo er am dortigen Observatorium unter Professor Plantamour arbeitete. Ein Jahr später habilitierte sich Jakob Amsler als Privatdozent an der Universität Zürich und folgte bereits im Herbst 1851 einem Ruf ans

*Jakob Amsler-Laffon
im Alter von etwa
dreissig Jahren*



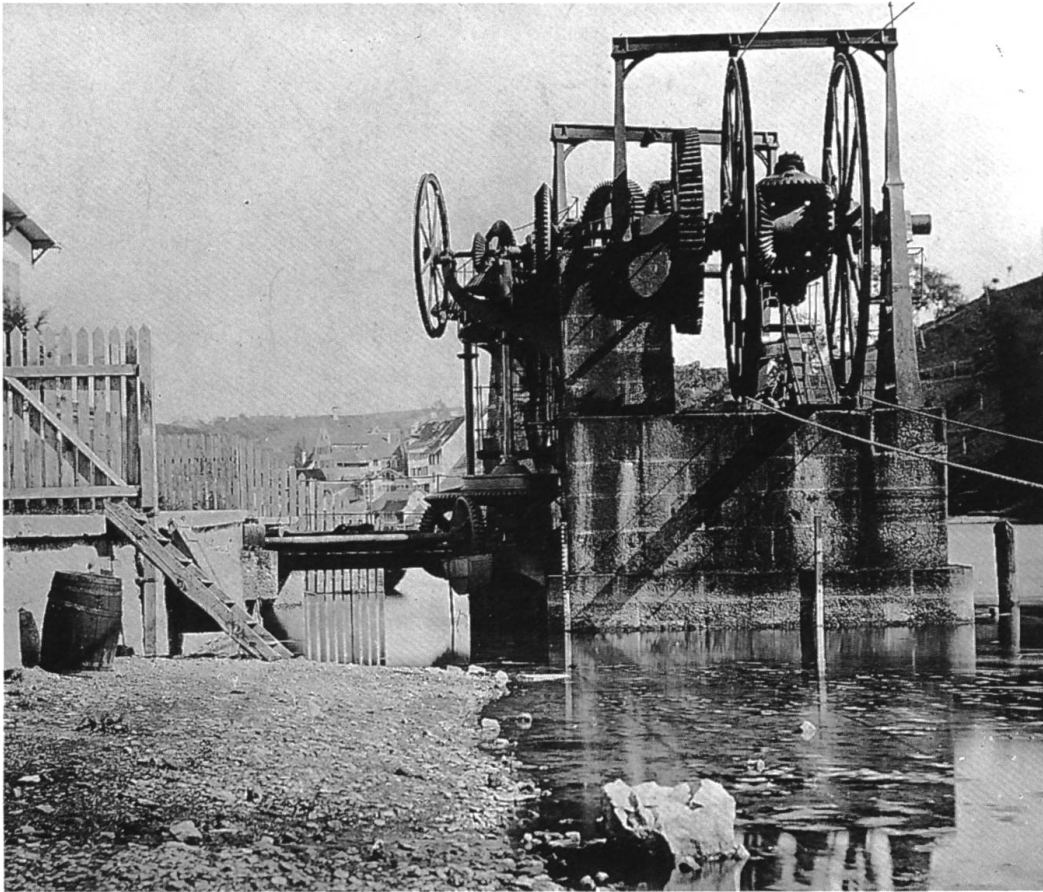
*Jakob Amsler-Laffon
lehrte Mathematik am
Gymnasium in Schaff-
hausen von 1851 bis
1858. Das Gebäude, in
dem sich von 1791 bis
1902 das Gymnasium
befand, steht heute
noch.*



*Jakob Amsler-Laffon im
Alter von etwa vierzig
Jahren*



Gymnasium in Schaffhausen, worüber er später schrieb: «Ich wäre lieber in Zürich geblieben, allein dort hatte ich als Einkommen nur die Honorare und schämte mich, immer noch auf Rechnung meiner Eltern zu leben.» Neben seiner hauptberuflichen Tätigkeit als Lehrer für Mathematik und Physik am Gymnasium führte Amsler noch während eines Jahres die Vorlesungen in Zürich weiter, gab dann aber seine akademische Tätigkeit auf, da noch keine Bahnverbindung von Schaffhausen nach Zürich bestand und das Hin- und Herreisen deshalb nicht nur beschwerlich, sondern auch zeitraubend war. Am Schaffhauser Gymnasium muss Amslers Unterricht für mathematisch interessierte Schüler der oberen Klassen äusserst anregend gewesen sein, behandelte er doch mit ihnen – teilweise unter grossen Abweichungen vom Lehrplan – verschiedene Gebiete der damaligen modernen Mathematik bis zur Infinitesimalrechnung. Nach seinem Ausscheiden aus dem Lehrkörper des Gymnasiums auf Ende des Jahres 1858 erteilte er noch während Jahren aushilfsweise und unentgeltlich Mathematikunterricht an den obersten Klassen.



Jakob Amsler-Laffon war von 1869 bis 1897 Direktionsmitglied der Wasserwerk-Gesellschaft Schaffhausen. Die Wasserkraft des Rheins wurde von dieser Gesellschaft genutzt und mit einer Transmissionsanlage in die damaligen Fabriketablisements übertragen.

Jakob Amsler-Laffon im Alter von etwa sechzig Jahren

Eine vielseitige Persönlichkeit

Der Schaffhauser Öffentlichkeit diente Amsler ausserdem in verschiedenen Ämtern, so als Mitglied des Grossen Rates von 1867 bis 1870 und des Grossen Stadtrates von 1868 bis 1888 (wobei ihm Sachfragen näher lagen als die politische Auseinandersetzung), ferner als Mitglied der Direktion des Wasserwerks, das 1866 den Betrieb aufnahm und die Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheins mit einer Leistung von etwa 500 PS ermöglichte. Die von den Turbinen am linken Rheinufer erzeugte Energie wurde mit Hilfe von Seiltransmissionen auf das rechte Ufer übertragen und durch Wellentransmissionen zu den verschiedenen Betrieben weitergeführt. (Amslers späterer eigener Betrieb war ebenfalls an dieses Kraft-



J. Amsler-Laffon



Musik war in der Familie von Jakob Amsler-Laffon sehr wichtig. Auf der Zeichnung von Sohn Richard um 1875 sieht man links das Ehepaar mit drei Kindern, rechts stehend Sohn Alfred als Geigenspieler.

übertragungssystem angeschlossen, von welchem ein Modell in der Industrieabteilung des Museums zu Allerheiligen in Schaffhausen ausgestellt ist.)

Liebe zur Musik

Seiner Wesensart gemäss machte Jakob Amsler über sich selbst keine grossen Worte. Die Musik muss ihm sehr wichtig und vertraut gewesen sein, und ein Eintrag in seinen autobiographischen Notizen, wonach er als Student in Berlin einmal während einer halben Nacht auf der Violine zum Tanz aufgespielt habe, lässt darauf schliessen, dass er ein nicht unbegabter Geiger gewesen sein muss. Aus diesem Grunde dürfte ihm die Wahl in die Kommission für eine neue Orgel in der Kirche St. Johann in Schaffhausen eine besondere Genugtuung bereitet haben.

Ehemann und Familienvater

Im Juli 1854 verheiratete sich Jakob Amsler mit Elise Laffon von Schaffhausen, geboren 1830, der Tochter des Apothekers Johann Conrad Laffon, Abkömmling einer Hugenottenfamilie und 1843 Gründer des Naturhistorischen Museums in Schaffhausen. Die beiden Eheleute hatten sich im Sommer 1853 kennengelernt, und nach einer Abendunterhaltung in der Kaufleutstube fragte Amsler seine Zukünftige, ob er bei ihren Eltern um ihre Hand anhalten dürfe, «was sie etwas zögernd zugestand.» Nach einigen abendlichen Treffen mit Elise Laffon im Hause ihrer Schwester, die mit Dr. med. Franz von Mandach verheiratet war, fand die Verlobung am 16. Januar 1854 im Hause Laffon statt, worüber Jakob Amsler mit folgenden schlichten Worten berichtet: «Ein Roman wurde nicht gespielt; den ersten Kuss erhielt ich von Elisen in Gegenwart

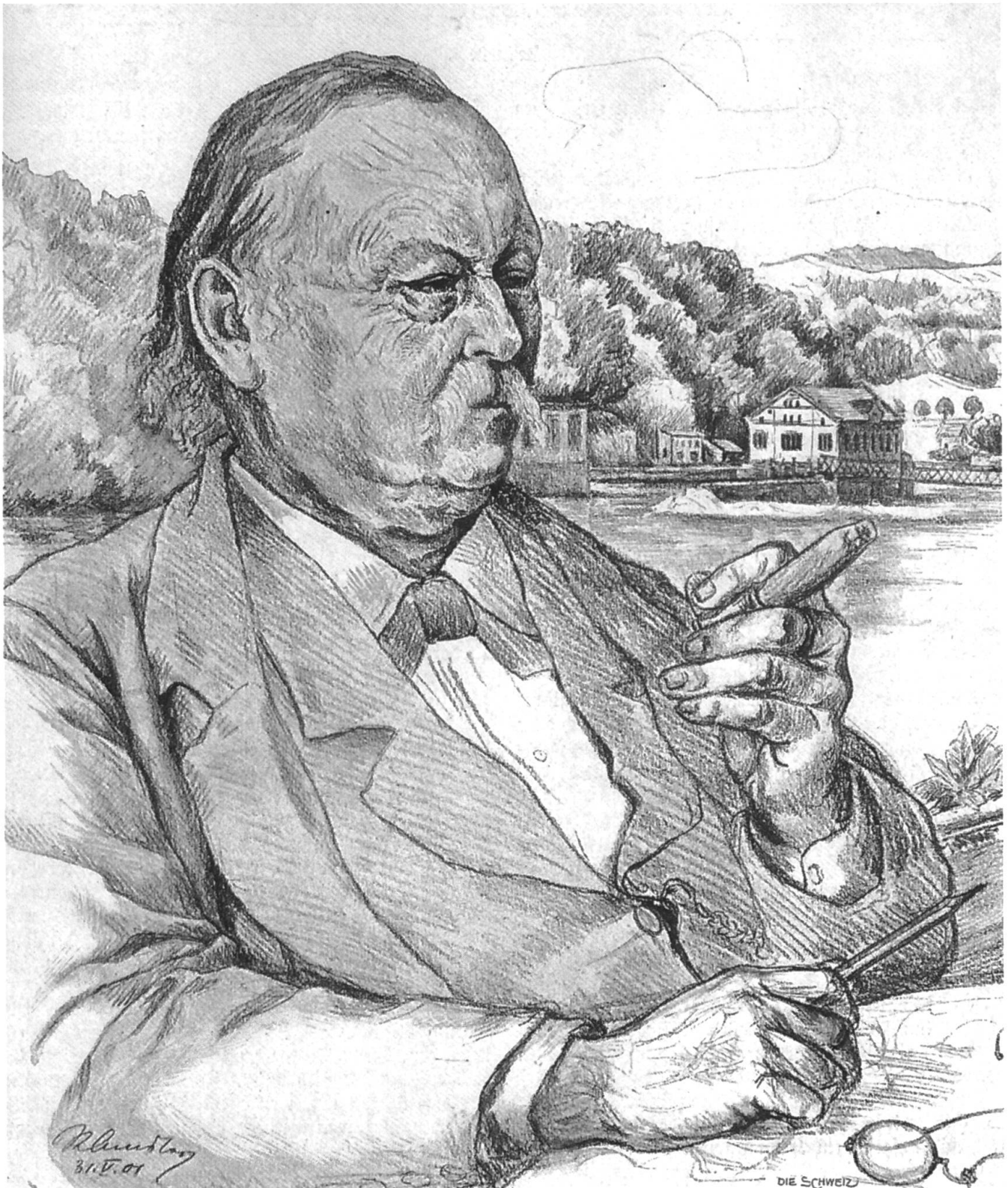
ihrer Eltern, als ich das Jawort holte, und von da an duzten wir uns.» Die Hochzeit wurde in bescheidenem Rahmen in Wagenhausen bei Stein am Rhein gefeiert. Zum Hochzeitsessen trafen sich die Gäste in Steckborn am Untersee, und die Hochzeitsreise führte das Paar über Konstanz und Augsburg nach München. Es war eine glückliche Ehe, der zwei Töchter und drei Söhne entsprossen. Die letzten gemeinsamen Jahre wurden allerdings überschattet durch die Erblindung von Elise Amsler-Laffon und die zunehmende Schwerhörigkeit und Beein-



Jakob Amsler-Laffon an seinem achtzigsten Geburtstag im Kreise seiner Kinder und Enkel. Ganz rechts Sohn Alfred (1857–1940), daneben Sohn Albert (1863–1918), links ausser Sohn Richard, Kunstmaler (1859–1934)

Im Juli 1854 verheiratete sich Jakob Amsler mit Elise Laffon (1830–1899) von Schaffhausen.





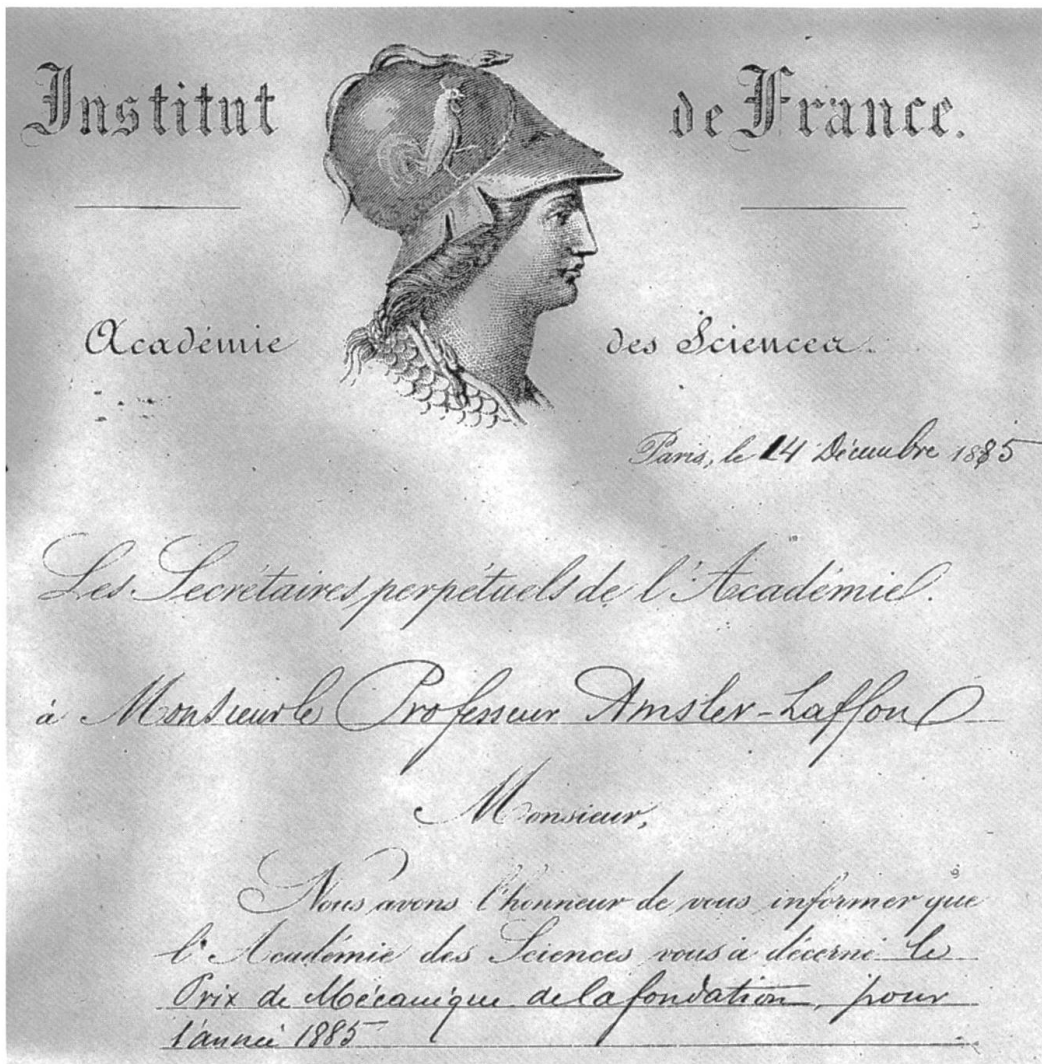
*Jakob Amsler-Laffon,
gezeichnet von seinem
Sohn Richard am
31. Mai 1901*

trächtigung der Sehkraft von Jakob Amsler. Elise, die 1899 in ihrem 69. Altersjahr starb, ging ihrem Mann um 13 Jahre im Tode voraus.

Verdiente Ehrungen

In seinem reich erfüllten Leben durfte Jakob Amsler viele Würdigungen seines Schaffens erfahren. So wurde ihm schon 1867 das Ehrenbür-

gerrecht der Stadt Schaffhausen verliehen. Anlässlich der Wiener Weltausstellung erhielt er 1873 ein Ehrendiplom und den Franz-Josephs-Orden. 1881 war Amsler an der Elektrischen Ausstellung in Paris Mitglied der Jury, ebenso an der Schweizerischen Landesausstellung 1883 in Zürich und an der Weltausstellung in Paris 1889. 1885 verlieh ihm die Académie des



1885 verlieh die Académie des Sciences in Paris Jakob Amstler-Laffon den Prix de Mécanique.

Sciences in Paris den Prix de Mécanique sowie 1889 den Prix Monthyon und ernannte ihn 1892 zum korrespondierenden Mitglied. 1894 ernannte ihn seine ehemalige Alma Mater, die Universität Königsberg, aus Anlass ihres 350jährigen Bestehens zum Ehrendoktor. Sicher haben Jakob Amstler-Laffon alle diese Ehrungen gefreut, an seiner Bescheidenheit und Liebenswürdigkeit, nicht zuletzt gegenüber Kindern und Jugendlichen, änderten sie nichts.



Jakob Amstler-Laffon
im Alter von etwa
achtzig Jahren



**Wir Präsident u. Mitglieder
des Kleinen Stadtraths der Stadt
Schaffhausen**

beurkunden hiemit, dass die Bürgerversammlung durch einmüthigen Beschluss vom 23. Sept. Dem

**Herrn Professor Jakob Amster-Laffon
von Schinznach**

*in Anerkennung der während seines mehrlährigen hiesigen Auft.
halts in vielfacher Beziehung namentlich in neuester Zeit
im Gebiet der Waffentechnik sich erworbenen Verdienste
das Ehrenbürgerrecht hiesiger Stadtgemeinde im Sinne von
S. 79 des Gemeindsgesetzes vom 29. Januar 1861 mit allen denjenigen
Rechten ertheilt hat, welche die diesfalls bestehenden Gesetze mit sich
bringen.*

*Zur Beurkundung dieser Ehrenbürgerrechtsertheilung ist, nach
dem auch der h. Grosse Rath am 8. dieses Monats aus gleichen Be-
weggründen dem Herrn Professor Amster das Ehrenbürgerrecht des
Kantons verliehen hat, gegenwärtige Bürgerrechtsurkunde ausge-
fertigt und demselben unter besten Segenswünschen eingehändigt word.
en.*

Schaffhausen, den 9. Jan. 1868.

Im Namen des Stadtraths:

Der Stadtraths Präsident:

G. Dürschli

Der Stadtschreiber:

Stamm





Alfred Amsler (1857–1940)

Alfred Amsler (1857–1940)

Alfred Amsler wurde als erster Sohn von Jakob und Elise Amsler-Laffon am 3. Juli 1857 in Schaffhausen geboren. Abgesehen davon, dass über die Kindheit und Jugendzeit Amslers nicht viel überliefert ist, können wir uns bei der Schilderung dieses Lebensabschnittes kürzer fassen als bei seinem Vater Jakob Amsler-Laffon. Galt es bei diesem, die persönlich-familiären Hintergründe der Entwicklung vom Sohn eines Landwirts und Wirts zum Hochschuldozenten, Erfinder und Industriellen zu schildern, war die berufliche Laufbahn Alfred Amslers familiär eher vorgezeichnet. Es muss eine glückliche und harmonische Jugendzeit gewesen sein, die er zusammen mit zwei Schwestern und zwei Brüdern in Schaffhausen zuerst im Haus zum Rosengarten, dann im Haus zur Sommerlust und schliesslich an der Rheinstrasse verbrachte, wo sich der väterliche Betrieb zu einer beachtlichen Grösse entwickelt hatte. Amslers liebster Freund war sein Vetter Dr. med. Franz von Mandach (1855–1939), eine lebenslange Freundschaft verband ihn auch mit Enrico Wüscher-Becchi (1855–1932), einem Archäologen und Lokalhistoriker.



*Alfred Amsler
in jungen Jahren*

Schul- und Studienzeit

Nach vorausgegangenen Privatstunden begann Alfred Amsler den Schulunterricht gleich mit dem Eintritt in die zweite Primarklasse. Auf die Realschule und das Gymnasium folgten eine Lehre im Betrieb seines

*Alfred Amsler
verbrachte einen Teil
seiner Jugend im Haus
zum Rosengarten in
Schaffhausen.*



Vaters und Studien mathematisch-physikalischer Richtung an den Universitäten Basel und Berlin sowie an der Technischen Hochschule in Dresden. Schon 1880 doktorierte Amsler in Basel mit einer Dissertation mit dem Thema «Über den Flächeninhalt und das Volumen durch Bewegung erzeugter Kurven und Flächen und über mechanische Integrationen», zu der er durch die Erfindungen und Studien seines Vaters angeregt worden war. Seine erste Stelle nach dem Studienabschluss führte ihn nach Paris zur Firma Sautter Lemonnier; von jenem Aufenthalt dürften nicht nur Amslers hervorragende Französischkenntnisse, sondern auch seine Sympathie für Frankreich allgemein hergerührt haben. Die Ernennung zum Ritter der französischen Ehrenlegion in späteren Jahren war für ihn eine grosse Genugtuung. Im Anschluss an die Pariser Zeit arbeitete Alfred Amsler im Konstruktionsbüro der schottischen Schiffbaufirma Denny Brothers und wurde Mitglied der «Institution of Naval Architects». Noch im Alter, als sein Augenlicht beinahe erloschen war, liess er sich oft aus Werken der englischen Literatur in der Originalsprache vorlesen, mit Vorliebe Texte von Joseph Conrad, den er besonders schätzte.

Im väterlichen Betrieb

1885 trat Alfred Amsler als Mitarbeiter in die Firma seines Vaters in Schaffhausen ein, und am 1. Dezember 1888 verheiratete er sich mit Frida Rauschenbach (1864–1946). Das Ehepaar, dem im Laufe der Jahre vier Töchter und zwei Söhne geschenkt wurden, wohnte zunächst im Haus zur Post an der Schwertstrasse im Zentrum der Munotstadt, dann im Haus zum Garten am Emmersberg und bezog schliesslich den nach ihren Ideen erbauten Landsitz «Rheinbühl» an der



Frida und Alfred Amsler-Rauschenbach im Jahr ihrer Heirat 1888

Rheinhalde, ein grosses und gastliches Haus, in dem sich nicht nur die wachsende Familie wohlfühlte, sondern wo auch zahlreiche Freunde, nicht zuletzt aus Künstlerkreisen, ein- und ausgingen. Die beiden Eheleute ergänzten sich mit ihren künstlerischen Interessen aufs beste.

Ein grosser Musikliebhaber

Wie sein Vater war auch Alfred Amsler ein begabter Geiger und spielte nicht nur bei sich zu Hause, sondern auch in Konzerten des Schaffhauser Musik-Collegiums mit, solange es ihm Gehör und Augenlicht erlaubten. Noch im hohen Alter fehlte er

*Villa «Rheinbühl» an
der Rheinhaldestrasse
in Schaffhausen, erstellt
1899/1900 nach Plänen
von Architekt Jacob
Stamm*



*Blick ins Innere des
«Rheinbühls»*



*Frida und Alfred Amsler
mit allen sechs Kindern
um 1910*

an keinem Abonnementskonzert im Imthurneum, dem Schaffhauser Stadttheater, wo er, in der ersten Reihe sitzend, mit Hilfe eines Hörrohrs der Musik lauschte. Unvergessen sind die Empfänge im «Rheinbühl» nach Konzerten oder Theateraufführungen, zu denen immer auch die Künstler eingeladen wurden. Frida Amsler-Rauschenbach ihrerseits neigte eher zu den bildenden Künsten und erwarb mit sicherem Gefühl manch bedeutendes Gemälde.

Sportliche Aktivitäten

In seinen jungen und mittleren Jahren trieb Alfred Amsler aktiv Sport, zu einer Zeit also, als die Erkenntnis der Nützlichkeit körperlicher Betätigung noch keineswegs zum Allgemeingut geworden war. So gehörte er viele Jahre dem Männerturnverein Schaffhausen an. In England hatte er den Rudersport kennengelernt und führte diesen zusammen mit seinem Freund David Stokar in Schaffhausen ein. Als Oberleutnant der Artillerie war er zudem ein guter Reiter. In jüngeren Jahren ging er als Mitglied des Schweizerischen Alpenclubs (SAC) öfter zu Berge.

Dienst an der Öffentlichkeit

Vom Militär abgesehen wirkte Alfred Amsler in seiner Heimatstadt als Mitglied des Grossen Stadtrates und während vieler Jahre in der Aufsichtskommission der städtischen Werke, auf landesweiter Ebene als Mitglied der Eidgenössischen Kommission für Mass und Gewicht. In enger Beziehung zu seiner Studienrichtung und seinem Werdegang stand das grosse Interesse, welches Amsler den Aktivitäten der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen während seines ganzen Lebens entgegenbrachte. Diese Sympathie fand verschiedentlich ihren Niederschlag in Form klei-



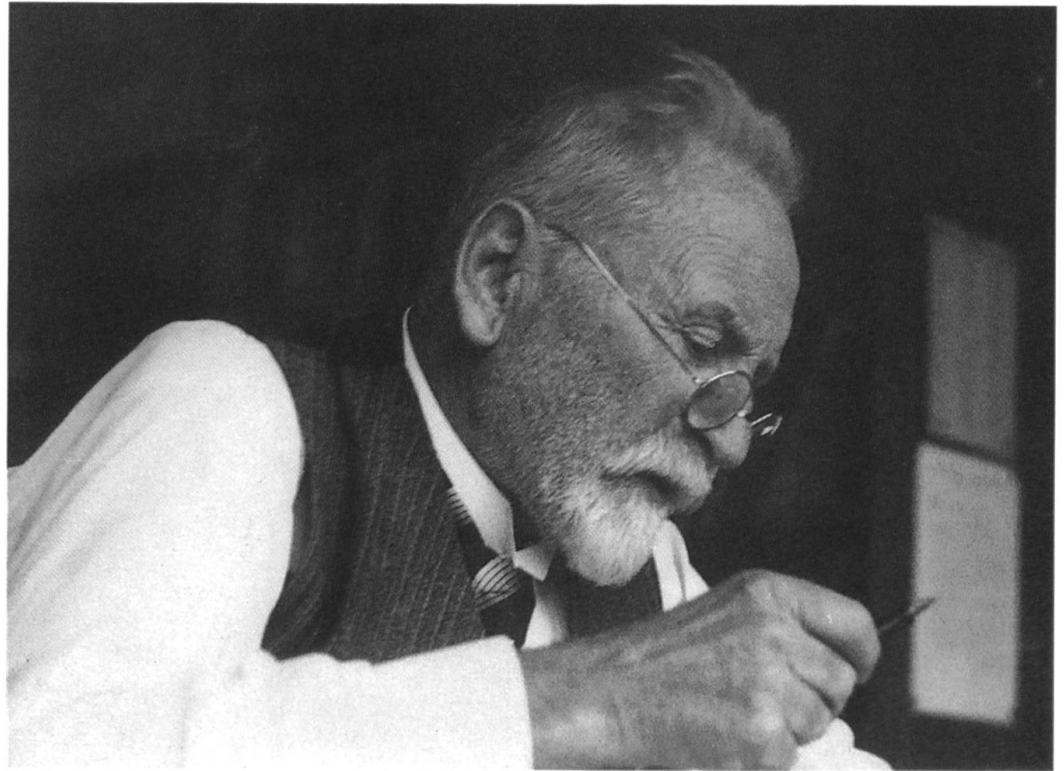
nerer und grösserer finanzieller Beihilfen. 1930 wurde Amsler in Anerkennung «der Förderung, die er der Gesellschaft seit vielen Jahren durch Rat und Tat hat zuteil werden lassen» zum Ehrenmitglied ernannt, nachdem er bereits 1921 Ehrenpräsident der Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Schaffhausen gewesen war.

Alfred Amsler mit seinen vier Töchtern und Dr. Bernhard Peyer beim Tennisspiel um 1910

Vom Mitarbeiter zum Firmeninhaber

Das enge Zusammenwirken von Vater Jakob Amsler-Laffon und Sohn Alfred Amsler in beruflicher Hinsicht ist im mathematisch-technischen Teil dieser Schrift festgehalten, so dass sich der Verfasser dieses Kapitels auf einige ergänzende Bemerkungen beschränken kann. Alfred Amsler stellte hohe Anforderungen in erster Linie an sich selbst, aber auch an alle in seiner Unternehmung Beschäftigten und an seine gesamte Umgebung. Nach dem Hinschied von Jakob Amsler-Laffon übernahm er zusammen mit seinem Bruder Albert die Leitung der Firma, und als dieser im Jahre 1918 erst 55jährig starb, zeichnete Alfred Amsler als alleiniger Inhaber. Der Firmenname wurde dementsprechend von

Alfred Amsler noch im
Alter aktiv



1919 verlieh die ETH
Zürich Alfred Amsler
die Ehrendoktorwürde.

J. Amsler-Laffon & Sohn in Alfred J. Amsler & Co. umgewandelt. Bei aller Strenge war Alfred Amsler äusserst tolerant und gütig, was nicht nur seine Mitarbeiter, sondern auch seine Familienangehörigen und Freunde immer wieder dankbar erfahren durften.

Eiserner Wille

Die ihm eigene Willensstärke und Beharrlichkeit sollten schon bald auf die Probe gestellt werden: 1919, also nur ein Jahr nachdem er die Firma als Alleininhaber übernommen hatte und im Jahr, in dem er von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich zum Doktor der Technischen Wissenschaften ehrenhalber ernannt wurde, stellten sich bei ihm ein Augenleiden und bald darauf auch Schwerhörigkeit ein. Beides zwang ihn zum Rückzug aus dem öffentlichen Leben, da er Verhandlungen nicht mehr zu folgen vermochte. Gleichzeitig aber nahm er mit der ihm eigenen Energie und Stetigkeit den Kampf gegen die drohende Isolation auf und hielt diesen in bewundernswerter Weise bis zu seinem Lebensende durch. Trotz stark reduziertem



DIE EIDGENÖSSISCHE
TECHNISCHE HOCHSCHULE
IN ZÜRICH

VERLEIHT DURCH DIESE URKUNDE

HERRN

DR ALFRED AMSLER

IN SCHAFFHAUSEN

DIE WÜRDE EINES

DOKTORS
DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
EHRENHALBER

IN ANERKENNUNG SEINER VER-
DIENSTE AUF DEM GEBIETE DER
WISSENSCHAFTLICHEN MESS-
INSTRUMENTE FÜR HYDROMET-
RIE UND MATERIALPRÜFUNG

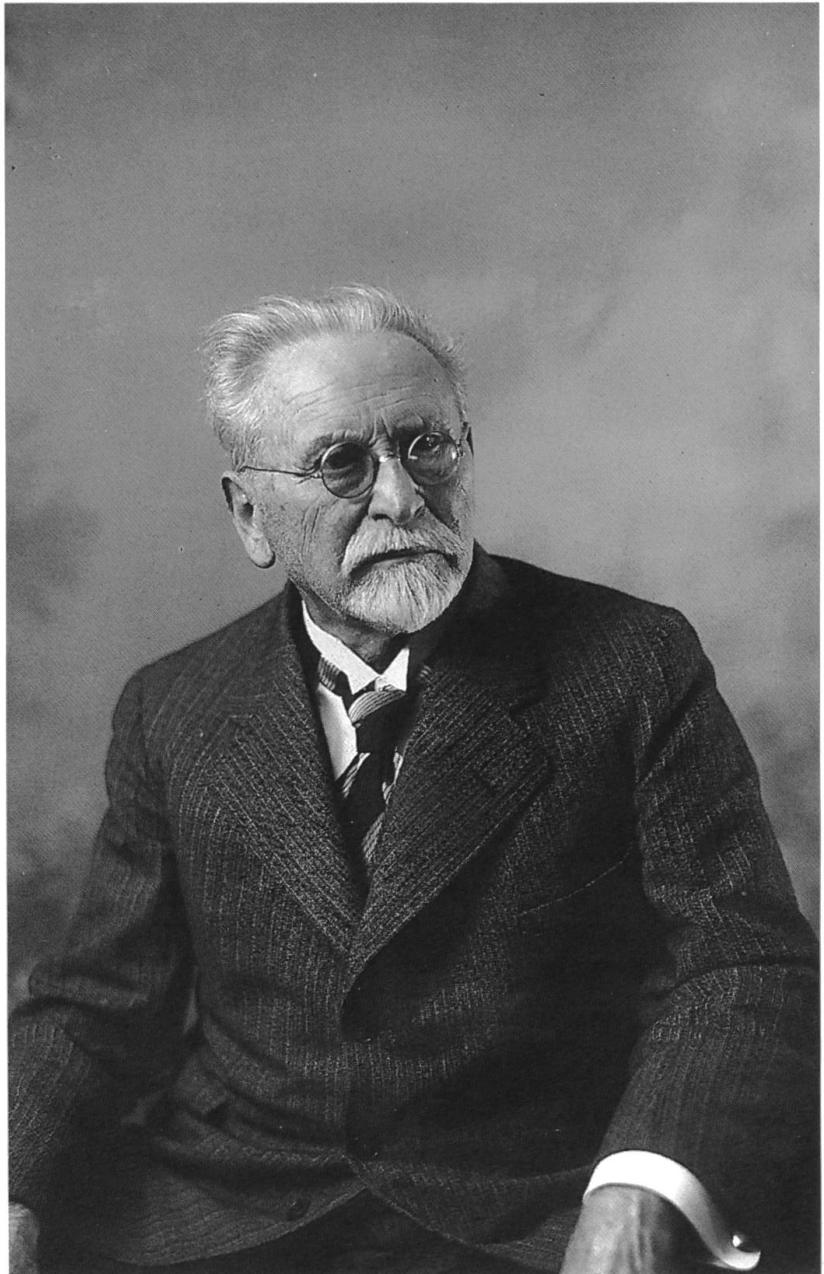
ZÜRICH DEN 18 DEZEMBER 1919
IM NAMEN DES PROFESSORENKOLLEGIUMS DER EIDGENÖSSI-
SCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

DER REKTOR
GEZ. WYSSLING

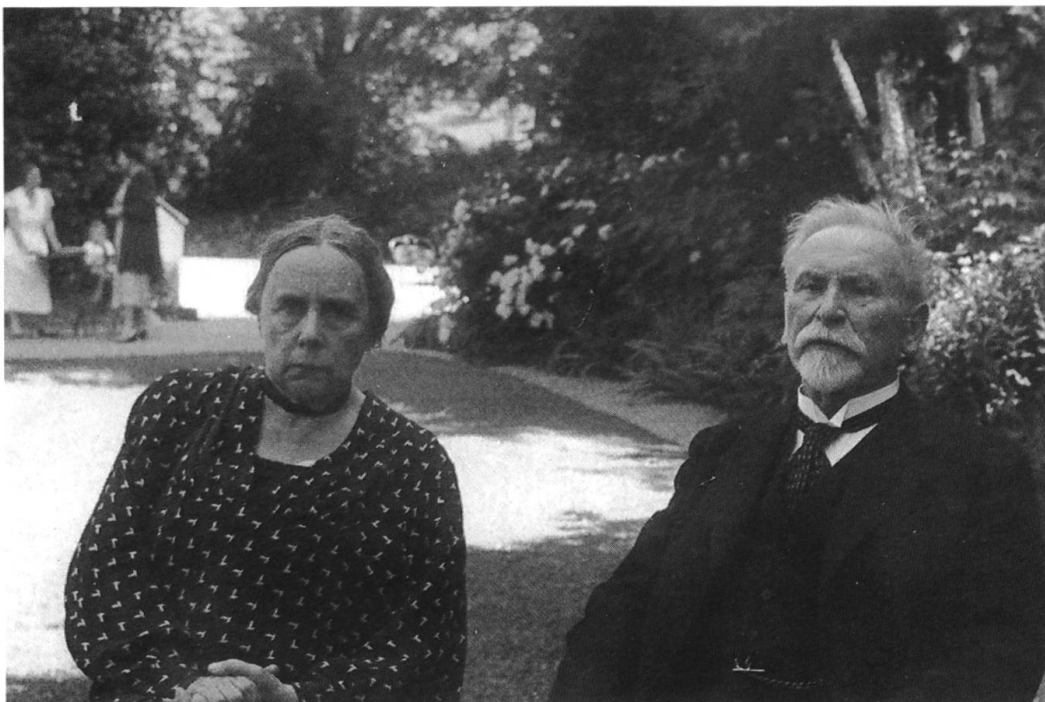


DER VORSTAND
DER ABTEILUNG FÜR MASCHINEN-
WESEN UND ELEKTROTECHNIK
GEZ. GROSSMANN

Seh- und Hörvermögen blieb er in regem Kontakt mit der Umwelt. Der Ausbruch des Zweiten Weltkriegs, den er schon lange vorausgeahnt hatte, brach den sonst so ausgeprägten Lebenswillen Alfred Amslers. Er ging nur noch selten in seine Firma und verlor zusehends die Freude an einer Welt, die ihm in sinnloser Zerstörung und im Chaos zu versinken schien. Nach einem kurzen Unwohlsein starb Alfred Amsler am Abend des 2. April 1940.



Alfred Amsler mit etwa achtzig Jahren



Das Ehepaar Frida und Alfred Amsler Ende der 1930er Jahre

Mathematisch-technischer Teil

«Nun läuft aber alle analysis finitorum et infinitorum im Grunde doch auf
Rechnerei zurück.»

Arthur Schopenhauer
Psychologische Bemerkungen

Genie und Nachwelt

Die Betrachtung eines Phänomens aus historischer Distanz gilt gemeinhin als gerechter im Vergleich mit dem Eindruck, den soeben Geschehenes hinterlässt. Das ist fast eine Binsenweisheit, deren Gültigkeit allerdings stark davon abhängt, ob zwischen Phänomen und Beurteilung Ereignisse eintreten, die einer fachlich und historisch vertieften Würdigung förderlich sind. Dass auch das Gegenteil keineswegs ausgeschlossen ist, zeigt das immer wieder zu beobachtende Auftreten verkannter Genies, die nicht selten endgültig in Vergessenheit geraten, wenn nicht Ereignisse der erwähnten Art der Nachwelt die erforderlichen Anreize zu geben vermögen.

Handelt es sich um bahnbrechende Leistungen in Wissenschaft oder Technik, so ist an sich eine gute Chance für eine angemessene Beachtung gegeben. Denn ein Bahnbrecher ist ja einer, der neue Dinge verwirklicht oder bisher verborgene Zusammenhänge erkennt, die in späterer Zeit in mehr oder weniger ähnlicher Form Allgemeingut werden. So ist es nicht unwahrscheinlich, dass bei zunehmender Aktualität einer bahnbrechenden Leistung nicht nur praktisches, sondern auch historisches Interesse erwacht. Das Schicksal – und sei es auch nur durch mangelnde Kenntnis

früherer Arbeiten wirksam – spielt aber immer wieder sein unvorhersehbares Spiel. Zwei Fälle aus dem in der vorliegenden Studie angesprochenen Gebiet der Materialfestigkeit mögen diesen Sachverhalt illustrieren:

Griffith (1920) schuf aufgrund von Untersuchungen an Glas die Basis der heutigen Bruchmechanik, eines Verfahrens zur Bestimmung der Festigkeit von Materialien beim Vorliegen geometrischer Unvollkommenheiten (idealisiert in der Form scharfer Risse). Diese der Zeit weit vorausseilende Leistung blieb so gut wie unbeachtet, bis Irwin (1957) die gleichen Gedankengänge auf die allgemeine Berechnung von Metallteilen ausdehnte und ihnen damit zu einem nachhaltigen Durchbruch verhalf. Er unterliess es dabei nicht, die ihm bewusst gewordene Bedeutung seines Vorgängers ins richtige Licht zu rücken. Seither werden in der Literatur regelmässig beide Namen erwähnt, wenn die Anfänge einer Methode beschrieben werden, ohne die das heute erreichte Mass verantwortbarer Materialausnutzung auf verschiedenen Gebieten, besonders im Maschinenbau, nicht denkbar wäre.

Weniger glücklich war Palmgren (1924), der, mit dem Verhalten von Kugellagern unter Beanspruchung mit schwingender Kraft (Ermüdung) beschäftigt, eine Methode entwickelte, um aus einigen Versuchen mit kon-

stanten Kraftamplituden die Lebensdauer bei beliebig schwankenden zu berechnen. Auch dieses wichtige Ergebnis fand lange Zeit nur in beschränktem Masse Beachtung. Erst Miner (1945) erdachte den gleichen Algorithmus neu, offenbar zur richtigen Zeit, um im aufstrebenden Flugzeugbau ein weites Anwendungsfeld zu erschliessen, und zwar unter dem bis heute fast ausnahmslos verwendeten Namen «Miner-Regel». Es mag als Ironie des Schicksals gewertet werden, dass die korrektere Bezeichnung «Palmgren-Miner-Regel» erst zu einem Zeitpunkt aufzutauchen begann, als die Schwächen des (heute nur noch mit Vorbehalten akzeptierten) Verfahrens der Fachwelt allmählich bewusst wurden.

Nicht selten ist das Vergessen auf den Stand von Wissenschaft und/oder Technik zurückzuführen, der eine sinnvolle Anwendung erst lange Zeit nach der das Grundprinzip erfassenden schöpferischen Leistung gestattet. Wer kennt heute beispielsweise den Namen Jost Bürgi (auch Byrgi, Byrgius, 1552-1632)? Dabei handelt es sich um den Entdecker der logarithmischen Zahlendarstellung und damit den Schöpfer der Grundlage für den Rechenschieber, das Gerät also, das bis zum Erscheinen des technisch-wissenschaftlichen Taschenrechners den Löwenanteil ingenieurmässigen Rechnens zu leisten hatte. Und Pascal wäre wohl kaum weltberühmt geworden, hätte er nicht neben der Erfindung einer (zu seiner Zeit weder kostengünstig herstellbaren noch dringend benötigten) mechanischen Rechenmaschine auch Grundlegendes auf anderen Gebieten geleistet.

Ein Glücksfall für das «Überleben» eines Erfinders im historischen Bewusstsein späterer Generationen ist es, wenn ihm über den Grundgedanken hinaus auch dessen brauchbare An-

wendung gelingt und wenn nach dem Erfindungsgegenstand zugleich ein praktischer Bedarf bei der Lösung aktueller Probleme besteht. Damit wird ein weiterer Glücksfall möglich, indem besagter Erfindungsgegenstand, den Namen des Erfinders tragend, während langer Zeit im allgemeinen Gebrauch stehen kann. Und besonders glücklich ist schliesslich eine Erfindung, an der in der Folgezeit Parallelen zu viel später erkannten Innovationsmöglichkeiten entdeckt werden, womit erst das volle Mass der vorausschauenden Schaffenskraft des betreffenden Erfinders ins Bewusstsein der Nachwelt gehoben wird.

Die in der Folge besprochenen Erfindungen dürfen in den soeben erwähnten Belangen als vom Schicksal bevorzugt betrachtet werden: Jakob und Alfred Amsler schufen grundlegend Neues auf verschiedenen Gebieten, auf denen ein Bedarf nach brauchbaren Lösungen bestand; Jakob gründete ein Unternehmen, das seinen Namen in alle Welt trug und dessen Erfolg während langer Zeit von den Erfindungen des Vaters wie des Sohnes geprägt war; und verschiedene Grundgedanken beider erweisen sich bei Betrachtung aus heutiger Sicht als bemerkenswert modern, nehmen Leistungen vorweg, die in vollem Umfang erst zu einem weit späteren Zeitpunkt allgemeinen Eingang in die Technik gefunden haben.

Gerade dem letztgenannten Aspekt gilt das besondere Augenmerk des Verfassers. Gewiss sind auch unter den in der Zwischenzeit veralteten Schöpfungen Jakobs wie Alfreds hervorragende Neuerungen zu finden, die gebührend dargestellt zu werden verdienen. Ihr Verständnis bedarf aber eines Eindringens in die bei ihrer Entstehung gegebene Situation. Konzeptionen aber, die bei Offenlegung der Grundideen ein gutes Jahrhundert

nach ihrem Entstehen noch als verwandt mit technisch Aktuellem empfunden werden können, darf man mit gutem Gewissen als genial einstufen. Zur Illustration dieses Sachverhaltes soll in der Folge einer Pionierkonstruktion gelegentlich deren Nachfolgerin aus neuerer Zeit gegenübergestellt werden, die in verschiedenen Fällen immer noch das gleiche Grundprinzip erkennen lässt.

Vater und Sohn

Mit Recht weist Dubois (1944) auf die Tatsache hin, dass es in manchen Fällen schwierig oder unmöglich ist, *Jakob oder Alfred Amsler als Urheber* einer Erfindung zu bezeichnen. In der Tat arbeiteten die beiden während langer Jahre (etwa von 1885 bis 1905) sehr eng zusammen und waren nicht geneigt, sich den Kopf darüber zu zerbrechen (oder gar schriftlich festzuhalten), wer von beiden für ein in kongenialer Arbeit vollbrachtes Werk den grundlegenden Gedanken zuerst gefasst hatte.

Aus technischer Sicht ist eine solche Unterscheidung zwar nicht von massgebender Bedeutung. Vom historischen Standpunkt ist es aber zu begrüssen, dass der Urheber beinahe jeder der hier vorgestellten Neuerungen eindeutig oder doch mit grosser Wahrscheinlichkeit namhaft gemacht werden kann. Dementsprechend wird er im Text auch genannt.

Es sind sogar Rückschlüsse auf den *persönlichen Stil* beider möglich, der bis zu einem gewissen Grad aus ihren Arbeiten erkennbar ist: Jakob, aus der Wissenschaft kommend und nur durch eine geniale Erfindung zur Gründung eines zunächst kleinen Unternehmens veranlasst, stand wohl dem feinme-

Auch durch die Form der Darbietung sollen die zukunftssträchtigen Ideen der beiden Industriepioniere ins richtige Licht gerückt werden. Dazu soll gelegentlich – beispielsweise in den Überschriften der Abschnitte – Altes in moderner Terminologie ausgedrückt werden, um so den gedanklichen Brückenschlag über viele Jahrzehnte anschaulich werden zu lassen.

chanischen Integriergerät näher als sein Sohn, der seiner Veranlagung nach mehr die Züge des Maschineningenieurs und Fabrikanten besass. Allerdings dürfen derartige Nuancen gewiss nicht hochgespielt werden, denn ohne Zweifel war Jakob zu maschinenbaulichem Denken und zu unternehmerischer Tatkraft gleichermaßen hervorragend befähigt wie Alfred zur naturwissenschaftlich und mathematisch korrekten Fassung technischer Probleme.

Es ist hier an sich nicht der Ort, die menschlichen Eigenschaften der beiden, sofern sie nicht unmittelbar mit ihrer Erfinder- und Ingenieur Tätigkeit zusammenhängen, eingehend zu schildern. Immerhin mögen einige kurze Erinnerungen an die *Persönlichkeit Alfreds* den aus seinem Tun sich ergebenden Eindruck abrunden.

Als der Verfasser ihn 1939, also wenige Monate vor seinem Tode, kennenlernte, war Alfred Amsler sehr schwerhörig und beinahe blind. Auch hatte sein Sohn Werner ihn schon Jahre zuvor in der Leitung des Unternehmens abgelöst. Trotz der starken Behinderung in der Kommunikation mit seiner Umwelt zeigte er sich an allem, was mit Wissenschaft und Tech-

nik zusammenhing, ja an allem, was den Geist zu scharfem Denken anzuregen vermochte, in hohem Masse interessiert. Dieses Interesse reichte – soweit der Verfasser aus mehreren mühseligen Gesprächen zu entnehmen vermochte – von der Denksportaufgabe bis zur Frage nach einer optimalen Sicherung des eigenen Hauses vor Luftangriffen. Aus seinen Bemerkungen spürte selbst der unerfahrene junge Mann, der ihm gegenüber sass, die Gewohnheit heraus, selbständig zu denken und sich nur auf das eigene Urteil zu verlassen, wobei sich gelegentlich eine originelle Idee einstellte, die man dem Einundachtzigjährigen kaum zugebraut hätte. Dass zugleich ein Zug zum Eigensinn, ja zur Halsstarrigkeit zu beobachten war, sei nicht verschwiegen: Das Alter und die jahrzehntelang erlebte Situation der Überlegenheit gegenüber der Umgebung waren auch an diesem Geist nicht ohne Spur vorübergegangen.

Wohl noch interessanter waren die Erinnerungen, die man von ehemaligen Mitarbeitern – gleichgültig, ob Handlanger oder Prokurist – zu hören bekam. Niemand, der persönlich mit ihm zusammengewirkt hatte, drückte etwas anderes als eine achtungsvolle Meinung aus. Offenbar hatte Alfred Amsler es verstanden, einem Arbeiter ein Trinkgeld (in jener Zeit grosser sozialer Unterschiede keineswegs eine Beleidigung) auf eine Art in die Hand zu drücken, die geeignet war, dem so Ausgezeichneten das Gefühl des Geehrtseins und patriarchalischer Solidarität mit der Firma und deren Inhaber zu vermitteln. Der Verfasser hält es für mehr als nur wahrscheinlich, dass diese Fähigkeit, bei aller autokratischen Machtvollkommenheit einen Zugang zum Mitarbeiter zu finden, einen wesentlichen Anteil am Erfolg des Unternehmens ausmachte. In der Tat war bei vielen älteren Arbeitern und

Mitgliedern des technischen Stabes eine *Verehrung* für «Doktor Alfred» zu spüren, die wesentlich über die übliche positive Einstellung zu einem guten Chef hinausging.

Es gab allerdings auch Fälle, in denen diese Verehrung für einen Dahingegangenen Dimensionen annahm, die dem Fortschritt abträglich werden konnten. Der Leiter einer technischen Abteilung beispielsweise, dem es an Mut zum unvermeidlichen Risiko einer Neuerung gebrach, pflegte diesbezügliche Vorschläge mit der stereotypen Wendung zu quittieren: «Doktor Alfred hat gesagt...» Es folgte eine der letzten Autorität in den Mund gelegte Erklärung für die Nichtdurchführbarkeit der zur Diskussion gestellten Idee. Ein junger Ingenieur gestand dem Verfasser einmal, eine derartige Taktik zum Blockieren von Neuerungen beginne bei ihm einen unterschweligen Hass gegen den Träger besagter Autorität zu wecken, obwohl dieser wohl in manchen Fällen gegen die Unterstellung angeblich von ihm geäusselter Lehrmeinungen energisch protestiert hätte... Selten wurde dem Verfasser die latente Gefahr drastischer vor Augen geführt, die das Einrostn in den wirklichen oder vermeintlichen, in jedem Fall aber zeitgebundenen Erfolgsrezepten eines «grand old man» bei weniger klarsichtigen Nachfolgern bewirken kann.

Wie dem auch sei, es besteht kein Zweifel daran, dass Alfred Amsler es während langer Zeit verstanden hat, sein Unternehmen an der Spitze einer weltweiten Konkurrenz zu halten und dass die hohe Achtung, die er bei seinen Mitarbeitern genoss, nicht von ungefähr kam.

1854: Analogrechner im Reisszeugformat – das Polarplanimeter

Hilfsmittel für die Erleichterung und Beschleunigung von Rechenarbeiten hat es schon in sehr früher Zeit gegeben. Der *Abakus* zum Beispiel, der noch heute in Russland und in einigen fernöstlichen Ländern anzutreffen ist, war in Ägypten und China vor Jahrtausenden bekannt. Im Prinzip als digitales Addier- und Subtrahiergerät erfunden, konnte er bei vertretbarem Mehraufwand an Zeit auch für die beiden anderen Grundoperationen eingesetzt werden und beherrschte das Feld in verschiedenen Varianten (vorab als Zählrahmen) souverän, sofern man sich nicht mit Papier und Bleistift begnügte. Zwar blieben Versuche zu höherer Rationalisierung nicht aus. Vergleicht man aber etwa den Aufwand für den Bau einer Rechenmaschine nach Pascal mit demjenigen für einen Abakus und zieht die Rechengeschwindigkeiten beider sowie den Arbeitslohn für einen Rechenknecht zwischen 1700 und 1850 in Erwägung, so begreift man die Schwierigkeiten, die damals der technischen Innovation schon aus rein wirtschaftlichen Gründen im Wege standen. Wer je die verblüffende Behendigkeit einer russischen Kassiererin beim Hin-und-Herschneppen der Kügelchen auf den Stäben des Zählrahmens beobachten konnte, wird diese Feststellung bestätigen.

Ein akuter *Bedarf nach leistungsfähigen Rechengeräten* entstand im Zuge der allgemeinen naturwissenschaftlich-technischen Entwicklung in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts. Man hatte immer bessere Vermessungsgeräte, die eine immer genauere Bestimmung des Umrisses eines Grundstücks erlaubten; wie

aber sollte man ohne erheblichen Arbeitsaufwand dessen Flächeninhalt als Basis für seinen Wert ermitteln? Man lernte, den Druckverlauf im Zylinder einer Dampfmaschine mit einiger Präzision zu bestimmen und in einem Druck-Volumen-Diagramm («Indikatordiagramm») darzustellen; wie aber sollte man die im Laufe einer Umdrehung abgegebene mechanische Arbeit rationell in Erfahrung bringen, die für die Leistung der Maschine massgebend war? Kurzum, es entstand ein Bedürfnis nach Geräten, die, ausgehend von der zeichnerischen Darstellung einer ebenen Figur, auf einfache Weise deren *Flächeninhalt* ermitteln sollten.

Die mathematischen Grundlagen für solche Integrationen lagen schon seit der bemerkenswerten Zwillingserfindung von Leibniz und Newton bereit, und in der Zwischenzeit waren zahlreiche Integrationsformeln für mehr oder weniger regelmässige Flächen verschiedener Form bekanntgeworden. Nur taten weder Grundstücke noch Indikatordiagramme noch andere technisch-wirtschaftlich interessante Flächengebilde einem allzu häufig den Gefallen, sich diesen Formeln anzupassen, sondern hatten in der Mehrzahl der Fälle unregelmässige Umrisse. So blieb nichts anderes übrig, als mühselig in kleinen Schritten – beispielsweise durch Rasterung – vorzugehen, was selbst bei den damaligen Lohnverhältnissen kostenmässig ins Gewicht fallen konnte und daher häufig unterlassen wurde.

Das Bestehen eines echten Bedarfes wird unter anderem belegt durch die verschiedenen *Versuche, geeignete Rechengeräte zu entwickeln*. Es han-

delte sich dabei vorab um stufenlose Reibradgetriebe mit einem Übersetzungsverhältnis, das in einem Koordinatensystem xy dem Integranden y mit genügender Genauigkeit proportional zu sein hatte. Das Prinzip sei an der ältesten dem Verfasser bekannten Ausführung, dem 1925 entstandenen *Scheibenintegrator* nach Gonella (Galle, 1912) dargelegt (Fig. 1). Die Integration $J = \int y \cdot dx$ werde in infinitesimal kleine Schritte

$$dJ = y \cdot dx \quad (1)$$

zerlegt: Eine sehr schmale Rolle mit dem Radius r sei annähernd reibungsfrei drehbar um eine Achse gelagert, die die Achse einer ebenfalls drehbar gelagerten Scheibe unter einem rechten Winkel schneide. Die Rolle werde gegen die Scheibe gedrückt und berühre diese in einem Abstand R von deren Achse. Dieser Abstand sei proportional zum Integranden y . Nun führe die Scheibe eine infinitesimal kleine Drehung aus, deren Winkel $d\beta$ dem Differential dx des Argumentes x proportional sei. Dann wird sich die Rolle um einen Winkel $d\delta$ drehen, der offenbar durch

$$d\delta = (R/r) \cdot d\beta \quad (2)$$

gegeben ist. Angesichts der Proportionalitäten zwischen $d\beta$ und dx sowie zwischen R und y ist somit $d\delta$ proportional zu dJ . Mit anderen Worten: Der Drehwinkel δ der Rolle ist ein Mass für das Integral J .

Zwei Jahre nach Gonella wandelte Oppikofer (Galle, 1912) die Scheibe in einen Kegel ab, bei welchem die mathematischen Beziehungen natürlich analog sind (die Scheibe kann ja als Kegel mit 180° Öffnungswinkel angesehen werden).

Die beschriebenen Integratoren wurden in der Folge zwar gelegentlich

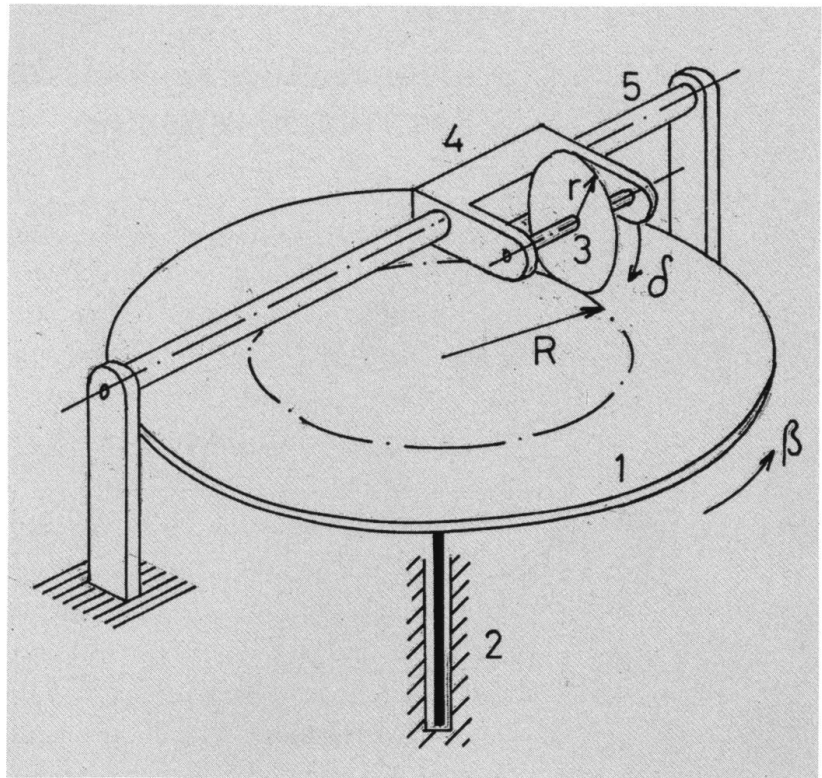


Fig. 1 Schema des Scheibenintegrators nach Gonella. 1 = proportional zu x angetriebene Scheibe; 2 = Lagerung der Scheibe; 3 = Integrierrolle; 4 = proportional zu y bewegter Schlitten mit Lagerung der Rolle; 5 = Führung des Schlittens. r = Radius der Rolle; R = durch die Stellung des Schlittens bestimmter Laufradius der Rolle auf der Scheibe; β = Drehwinkel der Scheibe; δ = Drehwinkel der Rolle.

für diesen oder jenen Zweck mit Erfolg eingesetzt, beispielsweise *Kegelintegratoren* um 1850 in der von K. Wetli (Stampfer, 1850) modifizierte Form als Flächenmesser (Planimeter). Dennoch blieb ein eigentlicher Durchbruch für die Planimetrierung aus. Sehr wahrscheinlich waren wirtschaftliche Gründe dafür verantwortlich: Um eine genügende Genauigkeit zu erhalten, mussten verschiedene Bedingungen erfüllt sein: Die Geometrie (spielfreie und exakte Übertragung der Eingangswerte x und y von der Zeichnung auf den Integriermechanismus) musste sehr präzise stimmen, und die Rolle durfte weder nennenswerte Lagerreibung noch nennenswertes Spiel noch nennenswerte Breite der

Berührungsfläche mit der Scheibe haben. All dies war mit den damaligen technischen Mitteln kaum oder doch nur mit hohem Aufwand zu verwirklichen, so dass – in Analogie zur Rechenmaschine nach Pascal – die Einsparung an Arbeit nur in seltenen Fällen die Herstellungskosten des Gerätes wettmachen konnte. Zudem musste es sich notwendigerweise um sperrige Apparate handeln, deren Einsatz nicht ohne einen gewissen Aufwand (etwa einen für das Gerät reservierten Tisch) rationell gestaltet werden konnte.

Es ist im übrigen kein Zufall, dass die vollkommensten Ausführungen des Scheibenintegrators erst zwischen 1930 und 1955 im Rahmen grosser Rechenanlagen entstanden, als fortgeschrittenere, nach dem Zweiten Weltkrieg zum Teil schon elektronische Technologien die weitgehende Ausschaltung von Fehlerquellen ermöglichten (Bush, 1931; Bush et al., 1945; Hoffmann, 1956), angesichts der unaufhaltsamen Entwicklung rein elektronischer Rechengерäte allerdings eine zeitlich beschränkte Blüte.

Um 1850 bestand also eine Nachfrage nach einem einfachen, relativ billigen und trotzdem genauen und zuverlässigen Integriergerät. Und dieses Gerät musste, da es gezeichnete Flächen zu messen hatte und natürlich noch keine Analog-Digital-Wandler existierten, ein Analogrechner sein. Mit seinem *Polarplanimeter* fand Jakob Amsler für dieses Problem eine Lösung, deren Eleganz mit rein mechanischen Mitteln seither nie mehr auch nur annähernd erreicht, geschweige denn übertroffen wurde.

Der beste Weg, diese Eleganz zu veranschaulichen, bestünde wohl in der Gegenüberstellung einer Abbildung des Gerätes (Fig. 2) und der Ableitung seines Funktionsprinzips in einer an die massgebende Publikation des Erfinders angelehnten Form (J. Amsler, 1856; Galle, 1912; Dubois, 1944, Willers, 1951). Man sähe aus dem Gegensatz zwischen recht aufwendigen mathematischen Darlegungen und der verblüffenden Einfachheit der technischen Verwirklichung die für Jakob Amsler charakteristische stupende Fähigkeit, aus einer komplex erscheinenden Situation das entscheidende Einfache herauszuspüren. In der Tat konnte sich die Funktionstüchtigkeit der Grundidee nur einem Geist offenbaren, der in der Lage war, in Polarkoordinaten mit ebensolcher Leicht-

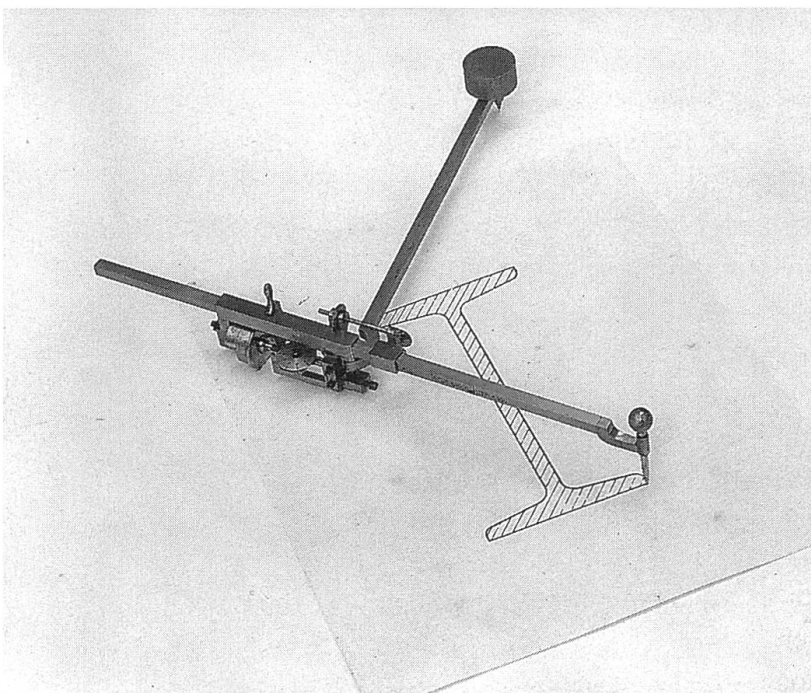
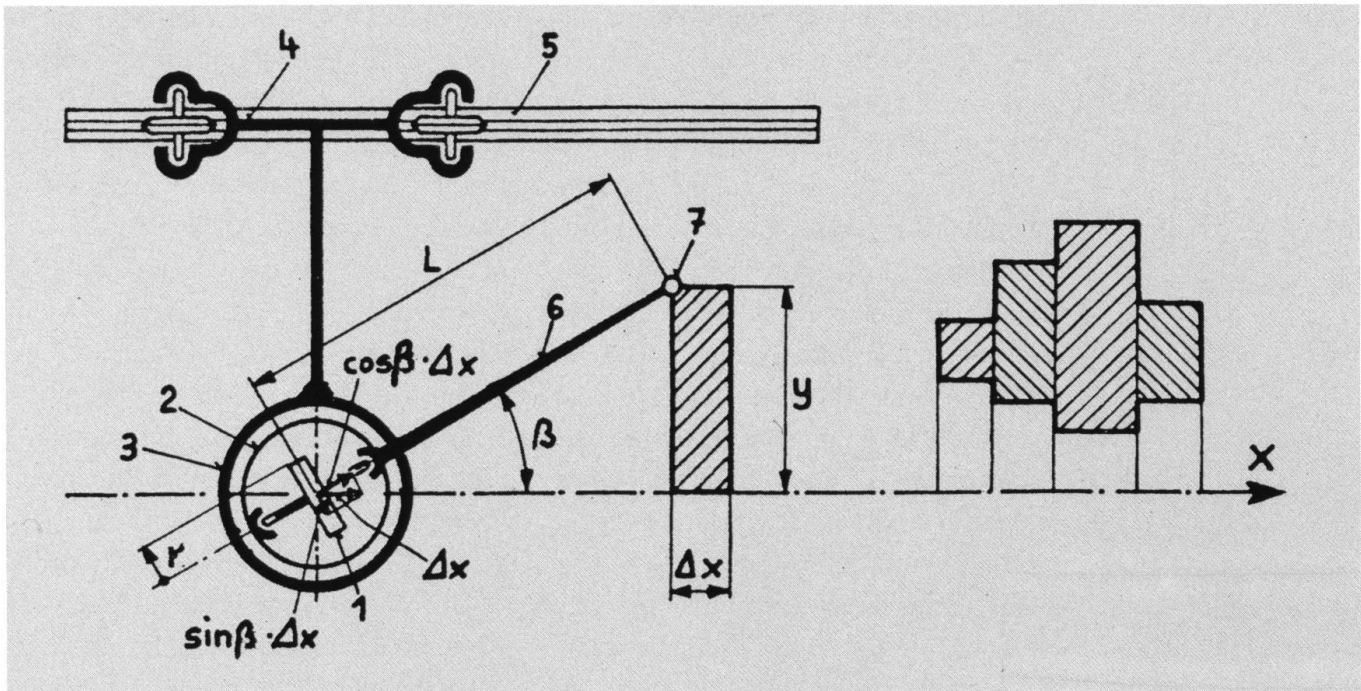


Fig. 2 Eines der ersten Amsler-Polarplanimeter in Arbeitsstellung. Hinten Pol mit Zirkelspitze zur Fixierung sowie angeschlossenen Polarm. Vorne rechts Fahrstift am (in der Länge verstellbaren) Fahrarm. Links Integrierwerk: Rolle mit Teilung und Nonius zur Feinablesung des Drehwinkels sowie Scheibe (mit verdecktem Schneckenantrieb) zur Anzeige der ganzen Rollendrehungen. Man beachte die Einfachheit im Vergleich mit dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Scheibenintegrator.



tigkeit zu denken wie in den weit anschaulicheren kartesischen. Mag sein, dass Amsler als Mathematiker und Astronom besonders gute theoretische Voraussetzungen mitbrachte, aber schliesslich gab es damals schon viele Fachleute mit ebenso gutem Rüstzeug, und trotzdem fand nur einer das «Ei des Kolumbus».

Wenn in der Folge eine von der ursprünglichen abweichende Ableitung vorgelegt und damit auf die soeben angesprochene Demonstration der Eleganz verzichtet wird, so hat dies zwei Gründe: Zum einen soll dem Leser der einfachste mögliche Zugang zum Funktionsprinzip des Planimeters gezeigt werden; zum zweiten wird ein höherer Grad von Verallgemeinerung erreicht, der wahrscheinlich dem Erfinder nicht bekannt war. Im Kernpunkt dieser neuen *Planimetertheorie* steht eine Zerlegung des Gedankenganges in zwei leicht nachvollziehbare Teile, deren erster zwar einen Spezialfall betrifft, der aber im zweiten problemlos zur angestrebten extremen Verallgemeinerung ausgeweitet werden kann. Die nachstehenden Ausführungen folgen zum Teil wörtlich der ersten Publikation zu diesem Thema (Erismann, 1962):

Fig. 3 Schema des Linearplanimeters. 1 = Integrierrolle (Radius r); 2 = innerer Lagerring (fest am Fahrarm 6); 3 = äusserer Lagerring (fest am Wagen 4); 4 = Wagen; 5 = Führungslinie; 6 = Fahrarm (Länge L); 7 = Fahrmarke; x, y = Koordinaten. Rechts aus Rechtecken zusammengesetzte Figur.

Die Basis des Planimeters ist die sogenannte Integrierrolle, die auf ihrer ebenen Unterlage (meist der zu planimetrierenden Zeichnung) eine teils rollende, teils gleitende Bewegung ausführt, im Idealfall mit reibungsfreier Lagerung.

Der *erste Teil* betrifft den *Spezialfall des Linearplanimeters* (Fig. 3), bei dem der Berührungspunkt Rolle/Unterlage durch einen Wagen auf einer geraden Grundlinie geführt wird und die Rolle samt ihren Lagerungen um eine vertikale Achse durch den erwähnten Berührungspunkt schwenkbar angeordnet ist. In der Verlängerung der Rollenachse ist der sogenannte Fahrarm angebracht, an dessen Ende eine Fahrmarke (Stift oder Lupe mit Fadenkreuz oder Visierkreis) das Umfahren der zu messenden Figur ermöglicht. Folgt die Fahrmarke während einer kurzen Wegstrecke Δx

einer Parallelen zur Grundlinie im Abstand y , so schliesst der Fahrarm mit der Grundlinie einen Winkel

$$\beta = \arcsin(y/L) \quad (3)$$

ein, wenn L die wirksame Länge des Fahrarms ist. Die Verschiebung Δx der Rolle auf der Unterlage zerfällt dann in eine (keine Drehung bewirkende) Axialkomponente $\Delta x \cdot \cos\beta$ und eine (für die Drehung massgebende) Tangentialkomponente $\Delta x \cdot \sin\beta = \Delta x \cdot y/L$. Bei einem Rollenradius r ergibt sich damit der kleine Drehwinkel

$$\Delta\vartheta = \Delta x \cdot y / (L \cdot r) \quad (4)$$

für die Rolle. Da L und r Apparatekonstanten sind, ist also $\Delta\vartheta$ proportional der Rechtecksfläche mit der Breite Δx und der Höhe y . Umfährt man diese Rechtecksfläche vollständig, so erhält man den gleichen Rollwinkel $\Delta\vartheta$, da sich die beiden Rollwinkel beim Auf- und Abwärtsfahren entlang den vertikalen Kanten kompensieren und das Befahren der Grundlinie ($y = 0$ und $\beta = 0$) keinen Rollwinkel liefert. Reiht man mehrere verschieden hohe Rechtecke dieser Art aneinander, so braucht man nicht jedes einzelne davon vollständig zu umfahren, sondern kann der stufenförmigen Aussenkontur der entstehenden Gesamtfigur folgen, um deren Flächeninhalt zu ermitteln. In

der Tat werden sich in jedem Fall alle einmal auf- und einmal abwärts befahrenen vertikalen Teilstücke der Kontur kompensieren. Und da die Gleichung (4) natürlich auch für die Bewegung in negativer Richtung ($-\Delta x$) und für negative Werte von y richtig bleibt, muss die Figur keineswegs auf der Grundlinie aufgebaut sein.

Durch Grenzübergang kann man nun offenbar von endlichen Strecken Δx zu infinitesimal kleinen dx übergehen, womit der Beweis erbracht ist, dass das Linearplanimeter tatsächlich den Flächeninhalt jeder geschlossenen ebenen Figur geeigneter Grösse zu bestimmen vermag.

Der zweite Teil dient dem Beweis, dass die *Schwenkachse des Fahrarms nicht auf einer Geraden* geführt zu werden braucht. In Fig. 4 ist beispielsweise eine geknickte Führungskurve mit zwei geraden Ästen angenommen. Die dargestellte Figur wird zunächst in zwei Abschnitten planimetriert: Bei Umfahrung des ersten Abschnittes folgt die Schwenkachse ausschliesslich dem ersten, bei Umfahrung des zweiten Abschnittes ausschliesslich dem zweiten Ast der Führungskurve. Damit die beiden umfahrenen Abschnitte insgesamt die ganze zu planimetrierende Figur ergeben, muss die Fahrmarke offenbar bei beiden Umfahrungen dem gleichen Kreisbogen um die Knickstelle der Führungskurve zweimal folgen, und zwar bei der ersten Umfahrung in der einen, bei der zweiten in der anderen Richtung. Da die Rollwinkel aus diesen beiden Kreisbewegungen sich gegenseitig

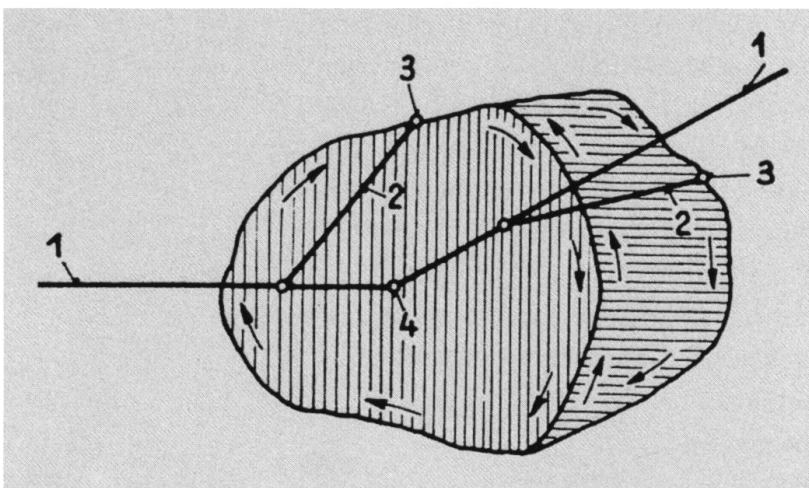


Fig. 4 Geknickte Führung der Fahrarm-Schwenkachse bei einem Linearplanimeter. 1 = Führungsgerade mit Knick; 2 = Fahrarm in zwei Stellungen; 3 = Fahrmarke; 4 = Knickpunkt. Die erste in Pfeilrichtung umfahrene Fläche ist durch senkrechte, die zweite durch waagrechte Schraffur markiert.

kompensieren, können sie offenbar weggelassen werden, ohne das Resultat zu verändern. So bleibt dieses auch richtig, wenn die Gesamtfigur trotz geknickter Führung der Schwenkachse in einem Zug umfahren wird.

Da für mehrere Knicke die gleichen Überlegungen gelten wie für einen einzigen, ist damit die theoretische Funktionsfähigkeit eines «Polygonplanimeters» nachgewiesen, bei dem die Schwenkachse des Fahrarms auf einem beliebigen Polygonzug geführt ist. Zu beachten ist lediglich die Bedingung, dass bei Hin- und Rückbewegung nicht etwa zwei Äste einer in x mehrdeutigen Kurve befahren werden. Nun bedarf es nur noch eines zweiten Grenzüberganges zu infinitesimal kurzen Polygongeraden, um die Funktionsfähigkeit jedes Planimeters nachzuweisen, dessen Fahrarm-Schwenkachse auf einer in Funktion von x eindeutig gegebenen Kurve geführt wird. Das Polarplanimeter mit Führung der Schwenkachse auf einer Kreisbahn erweist sich so als – allerdings praktisch besonders wichtiger – Spezialfall eines weitaus *allgemeineren Konzeptes*.

Die erwähnte praktische Bedeutung des Polarplanimeters ist bedingt durch die konkurrenzlos einfache Führung der Schwenkachse. Dazu genügt eine Art Zirkel, bestehend aus einem feststehenden Pol ausserhalb der planimetrierten Figur und einem um diesen schwenkbaren Polarm, der die Lagerung der Schwenkachse trägt (Fig. 2).

Nebenbei sei noch erwähnt, dass das Verbot einer Führung der Schwenkachse auf einer in x mehrdeutigen Kurve schon von Jakob Amsler mit Recht für die *Messung grosser Figuren* mit dem Polarplanimeter durchbrochen wurde: Es lässt sich nämlich zeigen, dass auch eine Flächenmessung mit innerhalb der Figur liegendem Pol, also nach Beschreiben eines vollen Kreises durch den Polarm, ein

richtiges Resultat ergibt, wenn man zu der als Rollwinkel angezeigten Fläche diejenige des «Nullkreises» addiert, bei dessen Umfahrung die Integrierrolle ständig stillsteht und somit auch keinen Rollwinkel liefert. Wie Fig. 5 zeigt, ist dies der Fall, wenn – ungeachtet der konstruktiv bedingten geometrischen Konfiguration – die vertikale Achse durch den Pol in der Ebene der Integrierrolle liegt. Der Abstand zwischen Pol und Fahrmarke ist dann der Radius des Nullkreises. In der Abbildung ist die Umfahrung einer Figur derart dargestellt, dass die Richtigkeit der obigen Behauptungen ohne weitere Erläuterungen einleuchtet. Dabei wird erneut von einer zweckmässigen Unterteilung der zu messenden Gesamtfigur ausgegangen.

Gewiss war die Erfindung des Polarplanimeters eine hervorragende Leistung. Sie war offensichtlich der unabdingbare *erste Schritt zur technischen Verwirklichung* des Gerätes, aber bei weitem nicht hinreichend für eine solche. Und weitere Schritte setzten beim Träger der Idee völlig andere Qualitäten voraus als der erste. Es erwies sich, dass Jakob Amsler auch diese besass.

Der *zweite Schritt* war geeignet, die Verwirklichung der Grundidee zu vereinfachen. Er lag noch auf der Ebene der mathematischen Voraussetzungen. Er sei hier nur am Rande erwähnt, da die erforderlichen Nachweise ziemlich trivialer Natur sind. Es handelte sich um die Feststellung, dass der *Auflagepunkt der Integrierrolle nicht in der Schwenkachse* zu liegen braucht. Die einzige zu erfüllende Bedingung besteht in der parallelen Anordnung der Rollachse und des Fahrarmes. Damit war dem Konstrukteur eines Planimeters eine erheblich verbesserte Freizügigkeit bei der Gestaltung des Gerätes gegeben.

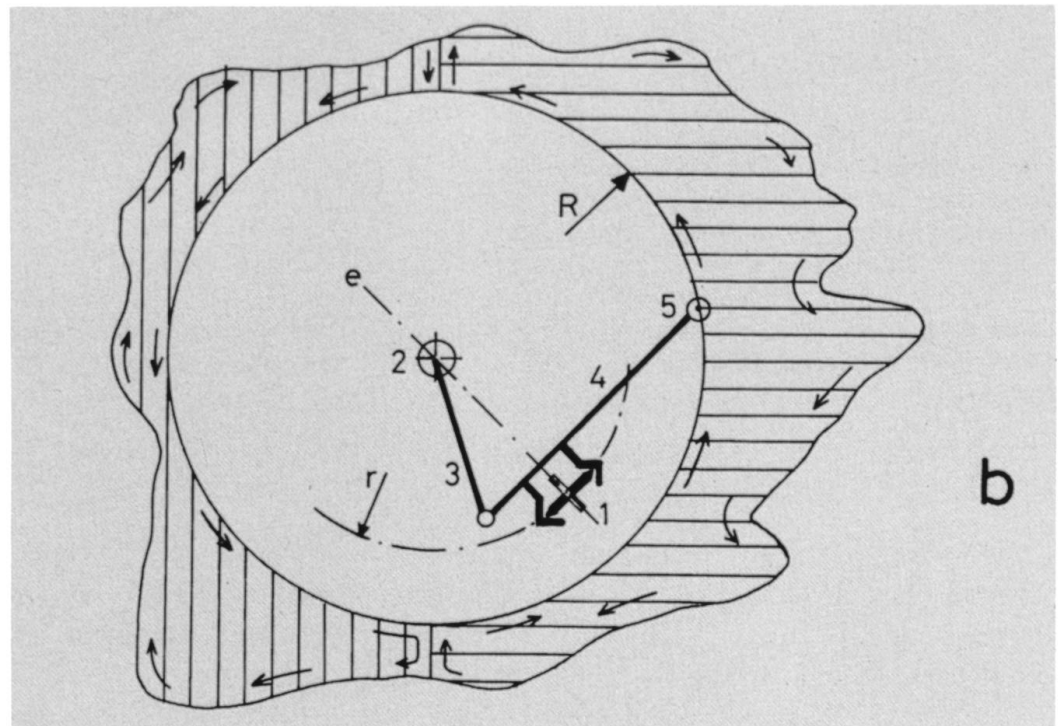
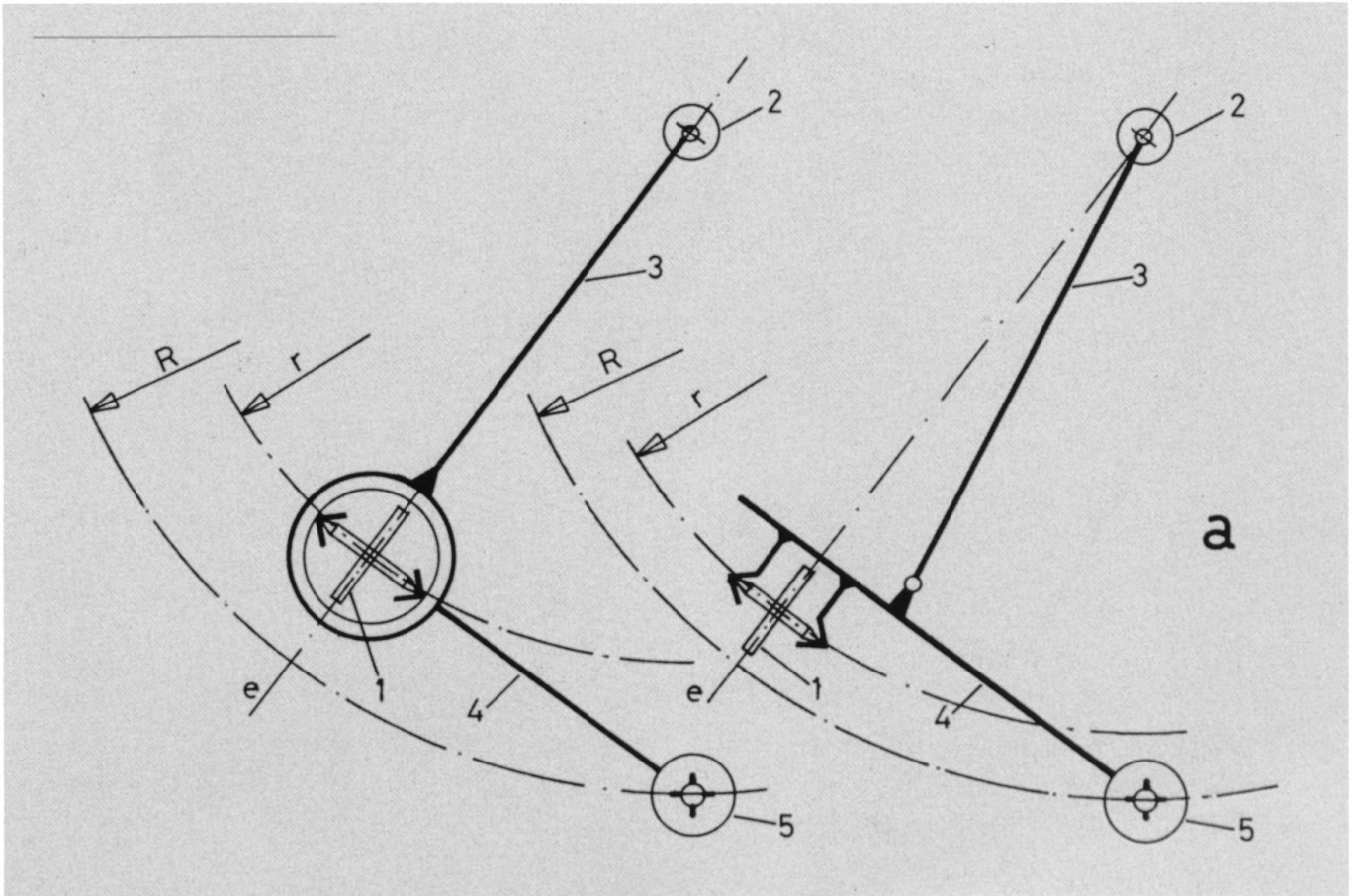


Fig. 5 Messung grosser Figuren. 1 = Integrierrolle; 2 = Pol; 3 = Polarm; 4 = Fahrarm; 5 = Fahrmarke. e = Ebene der Integrierrolle, durch den Pol gehend; r = Radius, auf dem die Integrierrolle ohne Drehung gleitet; R = Radius des Nullkreises. a: Zwei Polarplanimeter mit verschiedener Geometrie (links analog zu Fig. 2, rechts zu Fig. 9), aber gleichem Nullkreisradius. b: Aufteilung einer Figur: Umfahrung jeder der beiden schraffierten Teilfi-

guren ergibt deren Fläche; Umfahrung der Gesamtfigur liefert die gesamte schraffierte Fläche, da die bei geteilter Umfahrung hin und zurück befahrenen Trennungslinien weggelassen werden dürfen und das Befahren des Nullkreises keinen Drehwinkel der Rolle ergibt. Somit ist die Fläche der Gesamtfigur gleich der Summe aus der planimetrisch ermittelten Fläche und der Fläche des Nullkreises.

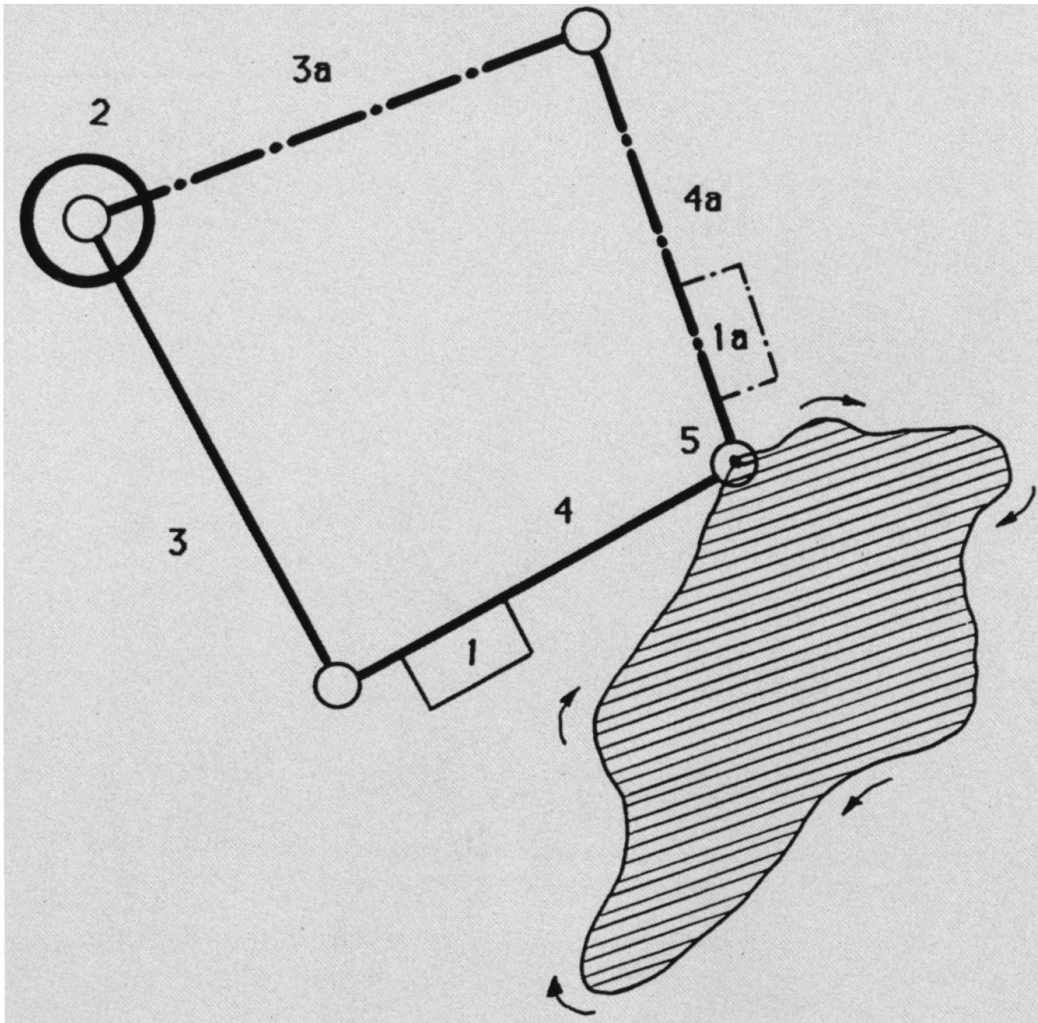


Fig. 6 Kompensationsplanimeter. Zweimalige Umfahrung einer Figur mit unveränderter Lage des Pols gestattet die Unterdrückung kleiner fabrikatorisch bedingter Fehler der Geometrie. 1 = Integrierwerk; 2 = Pol; 3 = Polarm; 4 = Fahrarm; 5 = Fahrmarke. Zweite Umfahrung durch Strichpunktlinien und Buchstaben «a» markiert.

Nebenbei sei noch vermerkt, dass selbst kleine Ungenauigkeiten der besagten Parallelität ausgeschaltet werden können, wenn man sich die Mühe nimmt, eine zweite Umfahrung der Figur ohne Verschiebung des Pols vorzunehmen und dabei den Winkel zwischen Pol- und Fahrarm gegenüber der ersten Umfahrung spiegelbildlich «umzuklappen» (Fig. 6). Es zeigt sich nämlich, dass dann der Mittelwert der beiden Messungen bis auf Fehler zweiter Ordnung das richtige Resultat ergibt. Angesichts dieser Fehlerkom-

pensation bezeichnet man Planimeter, die für eine solche Arbeitsweise den nötigen Schwenkwinkel besitzen, als *Kompensationsplanimeter*.

Mit dem *dritten Schritt* musste die Theorie verlassen und der *Bau eines brauchbaren Apparates* unternommen werden. Hier waren mehrere Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen, die nur mit konstruktivem Talent und zum Teil auch nur mit Erfindungsgabe zu verwirklichen waren: Die Parallelität von Rollachse und Fahrarm musste auch bei verstellbarer Fahrarmlänge

(einem Mittel zur Anpassung an die Grösse der planimetrierten Figur durch Änderung der Länge L in Fig. 3) sichergestellt sein. Die Rollenlagerung musste spiel- und reibungsarm gestaltet werden, wofür damals (da es noch keine Miniatur-Wälzlager gab) Spitzenlagerungen mit gehärteten Kontaktflächen gewählt wurden. Die Rolle musste auf dem Papier der Unterlage in Achsrichtung optimal gleiten, in Tangentialrichtung aber ein möglichst grosses Drehmoment abgeben, was durch einen ziemlich groben, aber sehr gleichmässigen achsparallelen Spezialschliff der Rollenperipherie erreicht wurde, der – gewissermassen als Spitzverzahnung mit extrem feinem Modul – mikroskopisch fein in die Oberfläche der Unterlage eingedrückt wurde.

Damit war die Grundlage geschaffen für den entscheidenden *vierten Schritt*, den Übergang zu einer *rationalen Fabrikation*. Hierfür bedurfte es nicht nur eines ausgereiften Prototyps und des erforderlichen Anfangskapitals, sondern auch der Fähigkeit, Mitarbeiter zu führen und das Unternehmerrisiko zu tragen. Auch diese Eigenschaften besass Jakob Amsler, verbunden mit der unerlässlichen Umsicht, die ihn veranlasste, in kleinem Massstab anzufangen. Der Überlieferung gemäss eröffnete er seine Werkstatt an der Schaffhauser Vorstadt mit zwei Arbeitern, einem Lahmen und einem Buckligen...

Der *Erfolg* liess nicht lange auf sich warten. In wenigen Jahren entwickelte sich das Unternehmen beträchtlich, und die Bezeichnung «Amsler-Planimeter» wurde dank rasch einsetzenden Verkäufen in zahlreiche Länder weltweit zu einem festen Begriff. Sicher trugen Weiterentwicklungen der Grundidee einiges zu diesem Erfolg bei. Seine Basis blieb aber ohne Zweifel während geraumer Zeit das einfa-

che, preisgünstige Flächenmessgerät, für welches ein lange anhaltender, grosse Stückzahlen umfassender Bedarf bestand.

Auf die Endzeit des Planimeters, die in das ausgehende zwanzigste Jahrhundert fällt, sei vorerst nicht eingegangen. Es erweist sich nämlich als zweckmässig, dies erst im nachfolgenden Abschnitt zu tun, da das Schicksal der aus dem Planimeter entwickelten komplexeren Geräte ein ähnliches war, so dass mit einer gemeinsamen Behandlung ein breiterer und zugleich tieferer Einblick in die Zusammenhänge gegeben werden kann.

Nur eine Bemerkung sei noch gestattet: Das Planimeter war nach heutigen Begriffen ein *Einzweck-Analogrechengerät*. Sein mehr als hundertjähriger Erfolg in einer Zeit rascher Entwicklung hatte zwei Ursachen: Erstens löste es zwar nur eine, aber eine in zahllosen Zusammenhängen wiederkehrende Aufgabe, die mit den Mitteln der Vor-Computer-Zeit nicht rationeller behandelt werden konnte. Zweitens war die Genauigkeit für den praktischen Einsatz in der Regel genügend. Vergleiche mit den meisten elektronischen Analog-Integratoren brauchte dieses Gerät nicht zu fürchten.

Ab 1856:

Analogrechner zweiter Generation

– Momentenplanimeter und andere mathematische Instrumente

Es wird in der Rechner-Branche des ausgehenden zwanzigsten Jahrhunderts als selbstverständlich angesehen, dass ein Unternehmen, welches mit dem rapiden Innovationstempo nicht Schritt zu halten vermag, am Markt binnen kurzer Zeit in Schwierigkeiten gerät. Zwar waren die Zeitkonstanten von Neuentwicklungen vor hundertfünfzig bis hundert Jahren deutlich länger, es galt aber doch schon die Regel, dass eingerostete Erfolgsrezepte auf die Dauer keine Basis für das Gedeihen einer Firma boten. Neues musste auch damals zum Bewährten hinzukommen. Und in jenen Pionierzeiten der Technik hatte der kreative Ingenieur mindestens ebenso gute Möglichkeiten für echte Neuschöpfungen wie sein Nachfahre, der, vor einer ungeheuren Menge des Bekannten stehend, seine Innovationskräfte manchmal sogar auf Dinge richten muss, die, obwohl als neue Generation einer Produktfamilie angepriesen, eher der Mode als wirklichem Fortschritt dienen.

Das Polarplanimeter war ein Erfolg. Es war genau, zeitsparend, relativ billig und unproblematisch im Gebrauch, und es beanspruchte, wenn ausser Betrieb, so gut wie keinen Raum. Aber die Technik schritt beständig voran, und das Erscheinen eines brauchbaren Flächenmessers weckte selbst ein Interesse an ähnlichen Rationalisierungsmöglichkeiten für bis dahin nicht ins Auge gefasste Aufgaben.

Hier ist es nicht möglich, mehr als nur einige der in diesem Zuge entstandenen Geräte der zweiten Generation zu beschreiben, und es muss auf eine eingehendere Publikation verwiesen

werden (Dubois, 1944). Immerhin seien einige Beispiele summarisch erwähnt und – im Sinne der Überlegungen am Beginn dieser Studie – diejenigen im Detail dargelegt, in denen sich die erfinderische Potenz ihres Schöpfers am deutlichsten zu erkennen gibt (und die zugleich auch wohl die grösste praktische Bedeutung erlangt haben).

Das normale Polarplanimeter war zwar genau genug für viele Zwecke, für einige (insbesondere für die Bestimmung der Flächen genau vermessener Grundstücke) bestand aber ein Bedarf für erhöhte Präzision. Jakob Amsler fand bald heraus, dass der bereits erwähnte Scheibenantrieb der Rolle nach Gonella nicht an ein kartesisches Koordinatensystem gebunden war. So entstand das *Scheiben-Polarplanimeter* (Fig. 7). Und im Blick auf die hier vorgelegte Planimetertheorie ist es offensichtlich, dass anstelle der Führung des Fahrarmes durch einen Polarm ohne weiteres eine solche durch ein Lineal möglich ist, womit das *Linearplanimeter* entstand, das vor allem der Auswertung von Diagrammen auf langen Papierstreifen zu dienen hatte, bei hohen Genauigkeitsansprüchen wiederum mit Scheibenantrieb.

Besonders reizvoll waren aber die Geräte, bei denen Jakob Amsler seine mathematische Begabung zum Tragen bringen konnte. Namentlich interessierte er sich für Integrationen, deren Integranden in einem nichtlinearen Massstab dargestellt waren, so dass eine Integration der Form $J = \int f(y) \cdot dx$ erforderlich wurde, in welcher $f(y)$ eine eindeutige und stetige Funktion

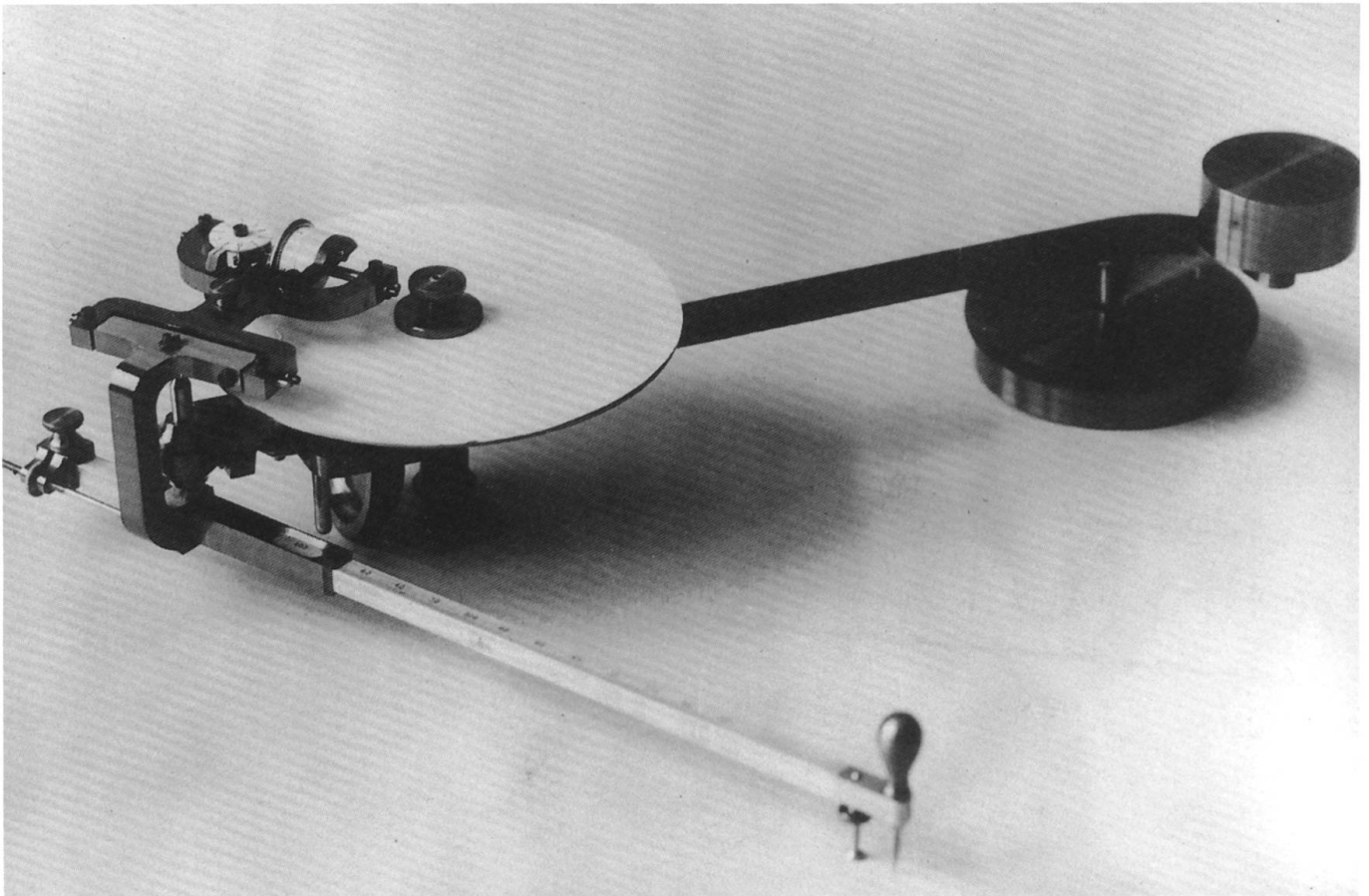


Fig. 7 Scheibenpolarplanimeter für hohe Genauigkeit. Antrieb der Scheibe durch das darunter angeordnete Reibrad und Zahnradübersetzung (andere Modelle wurden mit Hilfe einer Verzahnung an einer sehr grossen Polscheibe angetrieben). Das Gesamtkonzept kann als «auf Polarkoordinaten transformierter Scheibenintegrator» (Fig. 1) aufgefasst werden.

von y zu bedeuten hatte. Vor allem die Familie der Integrale

$$\int f(y) \cdot dx = \int y^n \cdot dx \quad (5)$$

war naturgemäss von hohem Interesse. Bei $n = 2$ ist das Integral proportional dem statischen Moment einer ebenen Figur, bei $n = 3$ deren Flächenträgheitsmoment und bei $n = 4$ dem Rotations-Trägheitsmoment des durch Drehung der Figur um die x -Achse entstehenden Raumkörpers. So können zahlreiche wissenschaftlich und technisch wichtige Daten bestimmt werden, beispielsweise die Lage des

Schwerpunktes einer ebenen Figur, die Festigkeit und Steifheit eines Biegeträgers sowie die kinetische Energie eines Schwungrades. Geräte zur Bestimmung der entsprechenden Integrale heissen *Momentenplanimeter*. In der damals von Amsler eingeführten Terminologie wurden sie allerdings etwas unpräzise als «Integratoren» bezeichnet.

Es ist charakteristisch für Jakob Amsler, dass er sich nicht auf die naheliegende Lösung einliess, die Funktion $f(y)$ durch eine Leitkurve einzuführen, deren Herstellung auch – speziell mit den damals verfügbaren

technischen Mitteln – recht aufwendig gewesen wäre. Vielmehr dachte er an die Zusammenhänge der Trigonometrie und stiess auf die Beziehungen zur Bestimmung der trigonometrischen Funktionen doppelter, drei- und vierfacher Winkel. Daraus lassen sich – da konstante Integranden bei geschlossener Integration belanglos sind – durch triviale Umformung die Gleichungen

$$2 \cdot \int \sin^2 \beta \cdot dx = \int [1 - \cos(2 \cdot \beta)] \cdot dx = -\int \cos(2 \cdot \beta) \cdot dx, \quad (6)$$

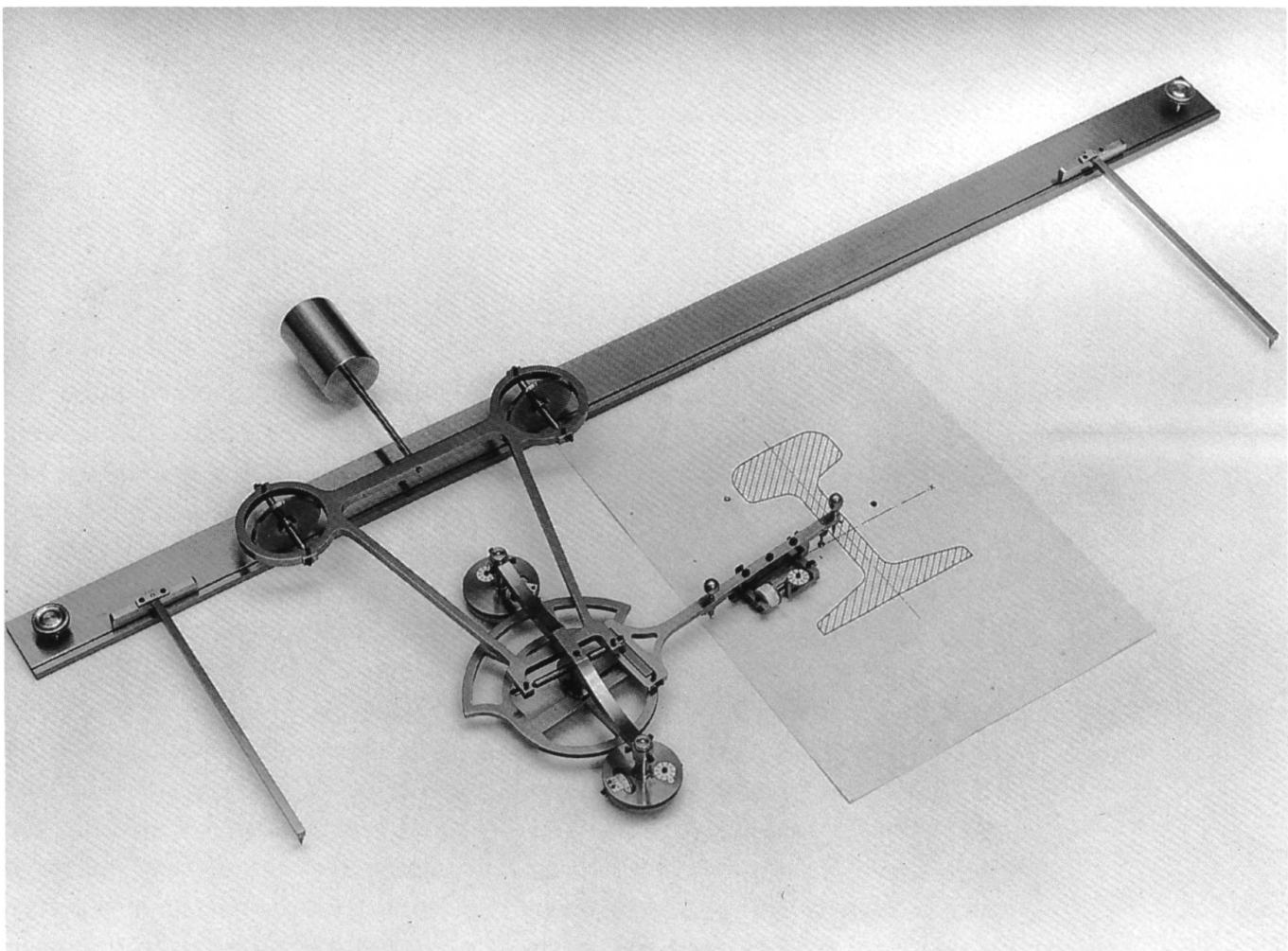
$$4 \cdot \int \sin^3 \beta \cdot dx = \int [3 \cdot \sin \beta - \sin(3 \cdot \beta)] \cdot dx = 3 \cdot \int \sin \beta \cdot dx - \int \sin(3 \cdot \beta) \cdot dx, \quad (7)$$

$$8 \cdot \int \sin^4 \beta \cdot dx = \int [3 - 4 \cdot \cos(2 \cdot \beta) + \cos(4 \cdot \beta)] \cdot dx = -4 \cdot \int \cos(2 \cdot \beta) \cdot dx + \int \cos(4 \cdot \beta) \cdot dx \quad (8)$$

ableiten, die auf ihren letzten Zeilen ausschliesslich Integrale der Sinus-

und Cosinusfunktionen von β , $2 \cdot \beta$, $3 \cdot \beta$ und $4 \cdot \beta$ enthalten. Unter Berücksichtigung der Funktionsweise einer Planimeterrolle bedeutet dies im Klartext: Die Integration des Flächeninhaltes sowie von (6) bis (8) lässt sich mit insgesamt vier Planimeterrollen bewerkstelligen, deren Schwenkachsen auf zur x-Achse parallelen Geraden geführt werden. Eine dieser Rollen kann direkt am Fahrarm angeschlossen sein, die übrigen erhalten durch Zahnräder um die Faktoren 2, 3 und 4

Fig. 8 Momentenplanimeter mit drei Integrierwerken zur Bestimmung der Fläche, des statischen Momentes und des Trägheitsmomentes ebener Figuren. Geräte der dargestellten Art wurden während beinahe hundert Jahren fast unverändert gebaut.



vergrösserte Schwenkwinkel. Damit ergibt sich die wiederum erstaunlich einfache Anordnung gemäss Fig. 8. Dass – im Gegensatz zur oben ange-deuteten (und später von anderen Kon-strukturen verwirklichten) Aus-führung mit Leitkurven – für die Aus-wertung der Momente dritter und vier-ter Ordnung die Resultate von je zwei Rollen, nach Multiplikation mit den richtigen Koeffizienten, voneinander zu subtrahieren sind, bedeutet einen unwesentlichen Mehraufwand: Die Zeit für die sorgfältige Umfahrung einer Figur ist weit grösser als diejenige für die Rechnung, und die Zahl der abzulesenden Rollen ist nicht grösser als bei Verwendung von Leitkurven.

Gewiss war hier die erfinderische Leistung weniger einmalig als beim Planimeter. Schliesslich sind die Grundlagen der Beziehungen (6) bis (8) in jeder einschlägigen Formel-sammlung zu finden. Andererseits musste aber das Streben nach mög-lichst einfachen technischen Lösun-gen gleichzeitig mit einem souveränen Überblick über das eventuell in Frage kommende mathematische Rüstzeug verfügbar sein, um diese Geräte zu schaffen, die, sehr bald nach dem Polarplanimeter entstanden und 1856 mit diesem zusammen publiziert, ebenfalls während mehr als eines Jahr-hunderts erfolgreich im Einsatz stan-den.

Zwei Dinge an der späteren Ent-wicklung waren bemerkenswert. Zum einen zeigte sich eine offensichtliche Freude daran, schwierige Probleme immer wieder auf neue (und häufig virtuose) Art anzugehen. Diese Freude führte neben sehr valablen Resultaten manchmal zu Lösungen, die sich nicht in finanziellen Erfolgen niederschla-gen konnten. Drei Konstruktionen Al-fred Amslers, vor Übernahme der vollen Verantwortung für das Unter-nehmen entstanden, mögen den Sach-

verhalt illustrieren (Dubois, 1944): Ein *stereographisches Planimeter* zur «entzerrten» Flächenmessung an Kar-ten in stereographischer (also nicht flächentreuer) Projektion musste schon des geringen Bedarfes wegen als Markterfolg ausscheiden. Und die Versuche, *Momentenplanimeter mit indirektem Antrieb* über Scheiben (nach Art des Scheibenplanimeters) oder Kugelkalotten zu verwirklichen, waren wegen ihrer Kompliziertheit ge-genüber den bereits bestehenden Typen nicht konkurrenzfähig. Bei der Betrachtung dieser Geräte beschleicht den Kenner unwillkürlich die Vermu-tung, hier könnte die erwähnte Freude an der Problemlösung als solcher eher ausschlaggebend gewesen sein als handfestere Argumente (wie etwa die Hoffnung auf bessere Genauigkeit bei den Momentenplanimetern).

Zum anderen muss nach der Entste-hung der erwähnten zweiten Genera-tion von Geräten eine deutliche Sta-gnation in der Entwicklung festgestellt werden, die etwa die erste Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts umfasste. Die *dritte Generation* von mathemati-schen Instrumenten war also nicht mehr ein Werk der hier gewürdigten Pioniere. Das Verständnis für die Um-stände der erwähnten Stagnation wäre aber ohne summarische Darlegung dieser späten Entwicklung ein unvoll-ständiges.

Es handelte sich zunächst um die Schaffung eines einheitlichen Inte-grier- und Zählwerks mit bequemer Ablesung der ganzen wie der angebro-chenen Umdrehungen. Dieses wurde in grossen Stückzahlen hergestellt und zur Basis eines eigentlichen *Bauka-stens* gemacht, der – zum Teil mit ent-sprechenden Zusatzgeräten – neben den oben beschriebenen eine grosse Zahl weiterer Anwendungen umfasste. Hier zwei Beispiele: ein Zusatz zur Auswertung von Radialdiagrammen

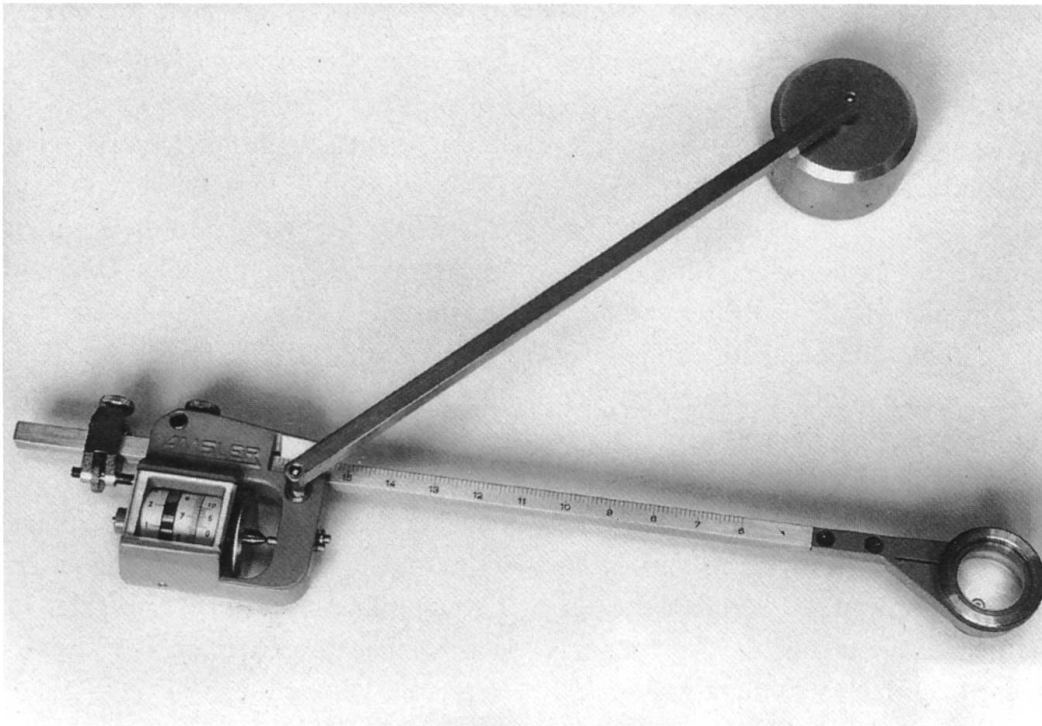


Fig. 9 Polarplanimeter aus den fünfziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts. Die technischen Einzelheiten sind gegenüber der Ausführung von Fig. 2 stark verfeinert, das Funktionsprinzip ist unverändert.

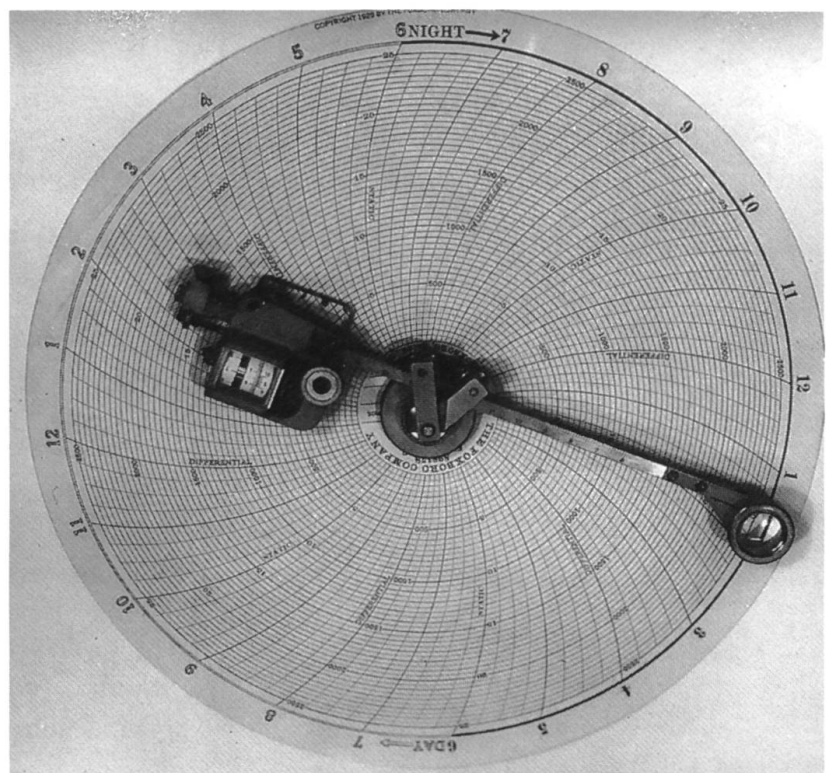
mit Teilen des Polarplanimeters (Fig. 10) sowie ein Spezialfahrarm (Fig. 11) für den Einsatz eines Momentenplanimeters zur Integration der strömungstechnisch wichtigen gebrochenen Potenzen $n = 1/2$ und $n = 3/2$ gemäss Gleichung (5). Für diese Zwecke (wie auch verschiedene andere) waren früher kostspielige spezielle Apparate erforderlich (Dubois, 1942/43). Ein besonderes mathematisches Kuriosum war die Integration nichtlinear dargestellter Funktionen, sofern $f(y)$ mit genügender Genauigkeit durch

$$f(y) = A + B \cdot y + C \cdot y^2 + D \cdot y^3 \quad (9)$$

angenähert werden konnte. Innerhalb angemessener Bereiche von y wurde dieses Rezept mit Erfolg für logarithmische Darstellungen und sogar für das Moment vierter Ordnung ($n = 4$) angewendet, was eine Ausführung mit vier Rollen überflüssig machte. Einzelheiten sind in der Literatur zu finden (Erismann, 1962; 1963).

Diese Innovationen führten um 1960 zu einer Blüte, die allerdings angesichts der rasanten Entwicklung digitaler Computer nicht von langer Dauer sein konnte: Daten werden

Fig. 10 Beispiel für das im Text erwähnte Baukastensystem: Integrierwerk und Fahrarm des Planimeters gemäss Fig. 9 im Einsatz als Radialplanimeter für Kreisdiagramme.



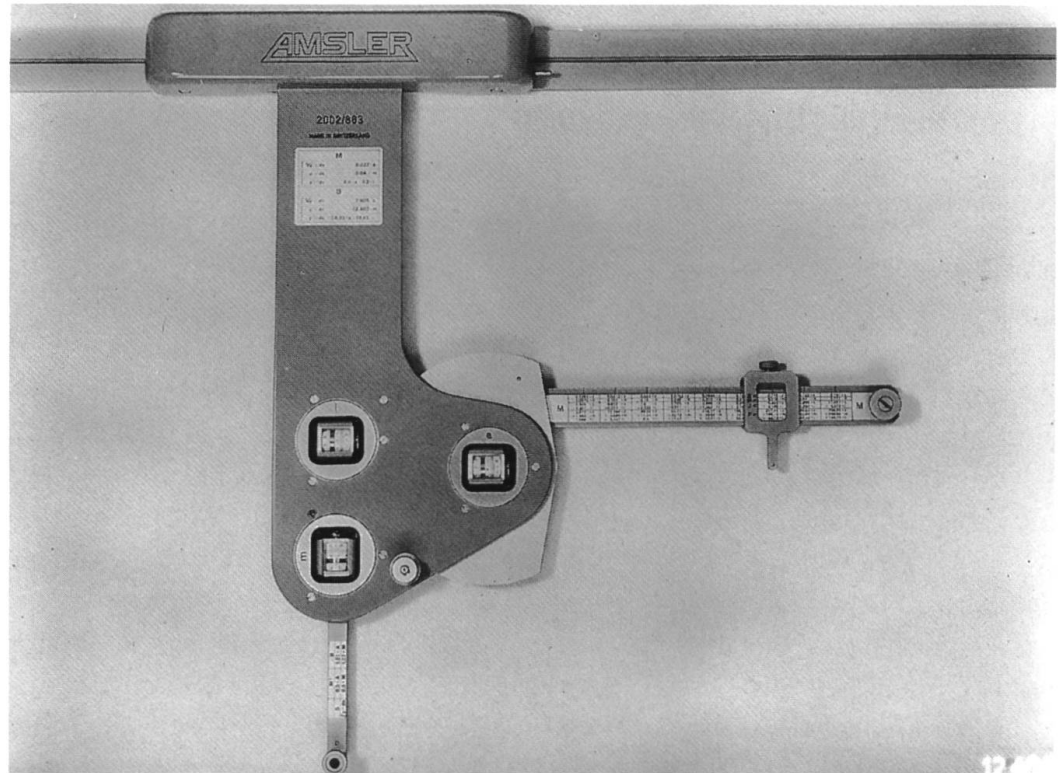


Fig. 11 Dreirollen-Momentenplanimeter aus den sechziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts. Die Tafel auf dem Ausleger enthält Formeln für die Bestimmung des Momentes vierter Ordnung. Der als Baukasten-Zusatz konzipierte zweite Fahrarm ganz vorne gestattet die Integration gebrochener Potenzen. Man beachte die vom Planimeter (Fig. 9) abgeleitete einheitliche Ausführung der Integrierwerke.

heute nur noch im Interesse der Anschaulichkeit in Kurvenform registriert, sonst aber auf Datenträgern gespeichert, wo sie zur rechnerischen Auswertung jederzeit verfügbar sind. Und selbst dort, wo die manuelle Umfahrung zeichnerisch dargestellter Figuren unerlässlich geblieben ist, können Geräte eingesetzt werden, die eine rasche Übertragung auf einen digitalen Träger erlauben. Es erscheint als Ironie des Schicksals, dass das vom Erfinder des Planimeters gegründete Unternehmen zu den ersten zählte, die solche Apparate in planimeterartig handlicher Form entwickelte (unter dem Namen «Digimeter» durch die damalige Tochterfirma Coradi vertrieben) und so dazu beitrug, ihre angestammten Produkte durch zeitgerechte zu ersetzen (Elsinger, 1980).

Es drängt sich nach diesem Exkurs in spätere Zeiten die Frage auf, weshalb die dritte Generation mathematischer Instrumente nicht einige Jahrzehnte früher entstand. An der erforderlichen Kreativität fehlte es dem jüngeren Amsler gewiss nicht. Wahrscheinlich lag die Ursache in der damaligen Marktlage und in der charakteristischen Struktur einer Pionierfirma: Das gesamte – noch ohne spezielle Massnahmen gut überblickbare – Unternehmen war um eine alles beherrschende Persönlichkeit herum gewachsen, von der innovative Anstösse fast ausnahmslos ausgingen, deren Arbeitskapazität aber ihre natürlichen Grenzen hatte. Die mathematischen Instrumente hatten seit dem Hinzu kommen der Prüfmaschinen und Messwagen ihre bis dahin dominierende Stellung für die Firma verloren, verkauften sich aber trotz allmählichem Aufkommen von Konkurrenten (Coradi, Ott) ohne grosse Mühe gewissermassen von selbst. Kein Wunder also, wenn Alfred Amsler seine Kräfte auf die Produkte konzentrierte, die sein Unternehmen zur Hauptsache trugen.

1886: Handarbeit im Mikrometerbereich – der eingeschliffene Kolben

Neben der Tätigkeit in seinem Betrieb liess Jakob Amsler seine ehemaligen Kollegen vom Lehrkörper der Universität Zürich nicht aus den Augen. Gespräche mit ihnen – später auch mit Professoren der Eidgenössischen Technischen Hochschule – müssen ihm nicht selten Anregungen zu selbständigem Weiterdenken vermittelt haben. Ein Kontakt dieser Art erwies sich als entscheidend für sein eigenes Schicksal wie für das einer rasch wachsenden Branche. Hier sei mit unbedeutenden Anpassungen wörtlich wiedergegeben, was über dieses denkwürdige Ereignis im Buch des Verfassers über Prüfmaschinen und Prüfanlagen (Erismann, 1992) festgehalten ist, welchem auch einige Abbildungen der vorliegenden Studie entnommen sind.

«Man schrieb das Jahr 1886, der Beton stand eben im Begriff, seinen Siegeszug um die Welt anzutreten, und der *Bedarf an leistungsfähigen Prüfmaschinen* stieg rapid. Diese Situation schilderte Ludwig von Tetmajer (berühmt durch die nach ihm benannte 1887 veröffentlichte Knickformel und damals erster Direktor der «Prüfanstalt für Baumaterialien am Schweizerischen Polytechnikum», der späteren EMPA) einem Bekannten, welcher ausgerechnet tags zuvor gehört hatte, dem Franzosen Amagat sei es gelungen, einen Kolben so präzise in einen Zylinder einzuschleifen, dass dieser sich zwar mit minimalem Widerstand bewegen liess, zugleich aber bei Verwendung eines Öls angemessener Viskosität selbst unter hohem Druck fast vollständig dicht hielt. Dies war der Beginn eines zweiten Siegeszuges: Jener Gesprächspartner, der innerhalb so

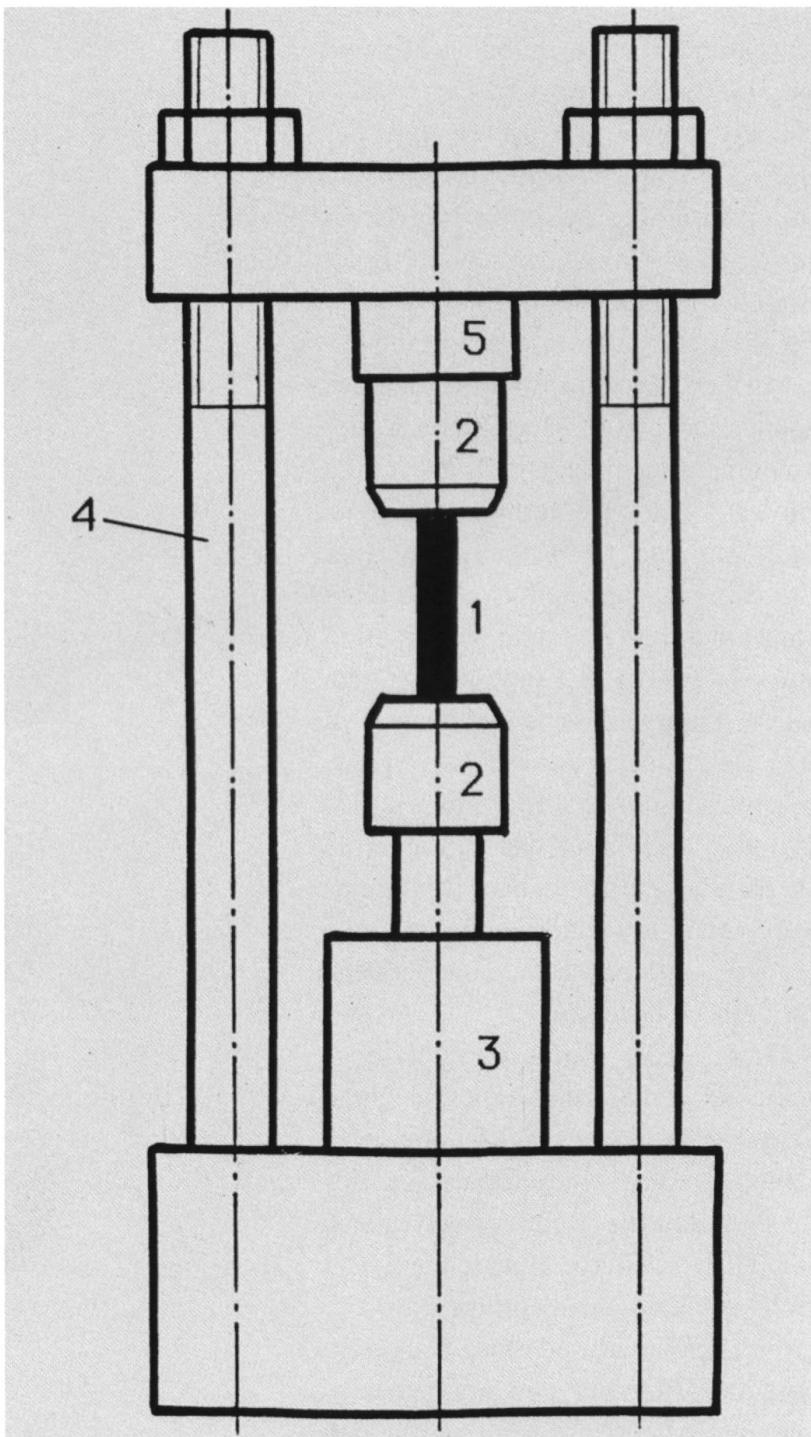
kurzer Zeit zwei wesentliche Informationen erhalten hatte, war J. Amsler, damals weltbekannt als Erfinder und Hersteller des Polarplanimeters. Er erkannte sofort die Bedeutung des eingeschliffenen Kolbens für den Einsatz im Prüfwesen und wandte unverweilt diese Erfindung zum Bau neuer Prüfmaschinen von bis dahin unbekannter Qualität und Vielseitigkeit an.»

Um die Bedeutung des ungemein glückhaften Zusammentreffens zu würdigen, muss man sich einerseits das Umfeld vergegenwärtigen, in dem es sich abspielte, andererseits den damals erreichten Stand der Prüftechnik.

Zum *Umfeld*: Die rasch wachsende Bedeutung des Betons ist im obigen Zitat bereits erwähnt. Es handelte sich aber keineswegs um den einzigen Baustoff, der damals die althergebrachten (Steine, Holz und Ziegel) erfolgreich zu konkurrenzieren begann. Der Stahl, bis dahin als Nagel, Schraube, Beschlag und Schloss in wichtiger Funktion, aber nur geringer Menge benötigt, begann als eigenständig tragendes Element wie auch als Armierung des auf Zug wenig widerstandsfähigen Betons immer mehr zum Massengut zu werden. Die beiden *neuen Baustoffe* brachten keinen praktischen Erfahrungsschatz von Jahrtausenden mit, ihre Eigenschaften mussten erst mit genügender Genauigkeit ermittelt werden. Das gab dem Prüfwesen in jener Zeit einen ungemein hohen Stellenwert. Beim Beton kam noch hinzu, dass seine Festigkeit beträchtlichen Streuungen unterworfen ist, eine aussagefähige Prüfung also die Untersuchung mehrerer Proben voraussetzt; beim Stahl ist dieses Problem weniger schwerwiegend, dafür entstanden

schon früh je nach Legierung, Kohlenstoffgehalt, Wärmebehandlung und Kaltverformung sehr verschiedenartige Qualitäten, ein Grund mehr für ausgiebige Prüftätigkeit.

Zur *Prüftechnik*: Eine Prüfmaschine hat die Aufgabe, Proben in kontrollierter Weise unter Überwindung ihrer Reaktionskräfte mechanisch zu verformen, allenfalls bis zur Zerstörung (Erismann, 1992). Sie muss daher in der Regel mindestens aus folgenden Teilen bestehen (Fig. 12):



– *Krafteinleitungen* (Druckplatten, Einspannvorrichtungen usw.) zur Übertragung der Verformungen und Kräfte von der Maschine auf die Probe;

– *Antrieb* samt *Steuerung* und *Energieversorgung* zur kontrollierten Bewegung mindestens einer Krafteinleitung als Voraussetzung für die Verformung der Probe und die daraus sich ergebende Entstehung der Prüfkräfte;

– *Reaktionsstruktur* (meist als Rahmen ausgebildet) zur Aufnahme der zwischen den Krafteinleitungen wirkenden Reaktionskräfte der Probe;

– *Messgeräte* zum programmgemässen Betrieb der Steuerung und zur Feststellung der Resultate;

– *Peripheriegeräte* zur Eingabe des Prüfprogramms (vom Blatt Papier mit einer Liste von Sollwerten bis zum Computer) und zur Ausgabe der Resultate (vom abgelesenen Zifferblatt über die Registrierung bis zur Speicherung auf einem Datenträger).

Die eigentliche Leistung Amslers lag im Erkennen des Fortschrittes, den der eingeschliffene Kolben für *Antrieb und Messung* versprach. Es gab damals schon Prüfmaschinen mit hydraulischem Antrieb, deren vollkommenste wohl von Werder stammten (Erismann, 1992). Die Kolben dieser Maschinen trugen Dichtungen (meist Lederstulpen, sogenannte «Liderungen»), deren Reibung der Bewegung einen erheblichen Widerstand entge-

Fig. 12 Im Kraftfluss liegende Teile einer Prüfmaschine. 1 = Probe (im Beispiel: Stab); 2 = Krafteinleitungen (Einspannköpfe); 3 = Antrieb (hydraulischer Zylinder); 4 = Reaktionsstruktur (Rahmen aus zwei Säulen und zwei Traversen); 5 = Kraftmessgerät (Kraftmessdose). Bei reibungsarmem hydraulischem Antrieb fällt das konstruktiv eigenständige Kraftmessgerät weg, da der Öldruck im Zylinder als Mass der Prüfkraft verwendbar ist.

gensetzte. Der hydraulische Druck konnte also nicht als Mass für die ausgeübte Kraft dienen. In Ermangelung besserer Messmittel verwendete man daher Gewichtssteine, die über sehr ungleiche Waagebalken auf den Kraftfluss des Systems wirkten. Die angestrebte Kraft wurde erzeugt, indem man die Waagschale mit den entsprechenden Steinen belastete und dann solange Öl in die Zylinderkammer pumpte (übrigens von Hand, der Antrieb war «biohydraulisch»...), bis eine Libelle am Waagebalken das Gleichgewicht der Kräfte anzeigte. Das Vorgehen wurde schrittweise wiederholt. Die Ansteuerung der Messpunkte war auch nach heutigen Begriffen sehr genau, doch konnte bei plötzlichem (sprödem) Bruch die Kraft nicht eindeutig erfasst werden, was im kritischen Bereich kleine Schritte erzwang. Zudem war das Verfahren an sich schwerfällig, so dass eine elegantere Methode als entscheidende Leistungssteigerung empfunden werden musste.

Der *Erfolg* zeigte, dass es sich hier um einen eigentlichen Durchbruch handelte: Noch heute, mehr als hundert Jahre nach ihrer Einführung, stehen nicht wenige Maschinen mit eingeschliffenen Kolben im Betrieb, und bis nach der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts (als neue Messmethoden sich auf dem Markt zu behaupten begannen) galten sie als Inbegriff unschlagbarer Präzision.

Um der historischen Korrektheit willen muss dieser Würdigung einer bahnbrechenden Leistung einschränkend beigelegt werden, dass Jakob Amsler – so weit dies bekannt ist – rein empirisch vorging und sich keine Gedanken über die *physikalischen Mechanismen* machte, die das Einschleifen zu einem derart erfolgsträchtigen Verfahren werden liessen. Dass das Glück dabei auf seiner Seite gestanden

hatte, bekamen nicht nur seine Konkurrenten zu spüren, die (wie einer von ihnen dem Verfasser freimütig bekannte) meist ein wesentlich grösseres Spiel zwischen Kolben und Zylinder tolerieren und damit weit grössere Pumpenleistung und regeltechnisch schwierigere Verhältnisse in Kauf nehmen mussten. Auch die Nachfolger im eigenen Betrieb erlebten einige unangenehme Überraschungen, als die aufwendige Handarbeit des Einschleifens durch genauere Bearbeitung ersetzt werden sollte. Es zeigte sich, dass einzelne der so hergestellten Maschinen nicht so reibungsarm waren, wie man es erwartete. Des Rätsels Lösung wurde erst zu Beginn der sechziger Jahre entdeckt, als die lokale Druckverteilung im etwa 10 Mikrometer (0.01 mm) messenden Spalt zwischen Kolben und Zylinderwand näher untersucht wurde. Man fand dabei heraus, dass ein Engerwerden des Spaltes um einige Mikrometer in der Richtung abnehmenden Druckes eine durchaus plausible zentrierende Wirkung auf den Kolben ausübte (Fig. 13). Nun mussten die Kolben der alten Maschinen, die vor dem Einschleifen mit sehr sattem Sitz gefertigt worden waren, naturgemäss am Ende um einige Mikrometer konisch geschmirgelt werden, um das Einführen in den Zylinder und damit das Einschleifen überhaupt zu ermöglichen. Der Konus wurde beim Einschleifen in die Länge gezogen und bewirkte eine Tendenz zur Selbstzentrierung.

Diese späte Entdeckung ermöglichte dann aufgrund einer genauen Vermessung der Zylinder- und Kolbentopographie eine Voraussage des zu erwartenden Reibungsverhaltens. Sie führte auch zur Entwicklung von «schwebenden» Kolbenringen, welche gedrängte Bauart, tadellose Dichtung, minimale Reibung und praktisch inexistente Abnutzung zu verwirklichen

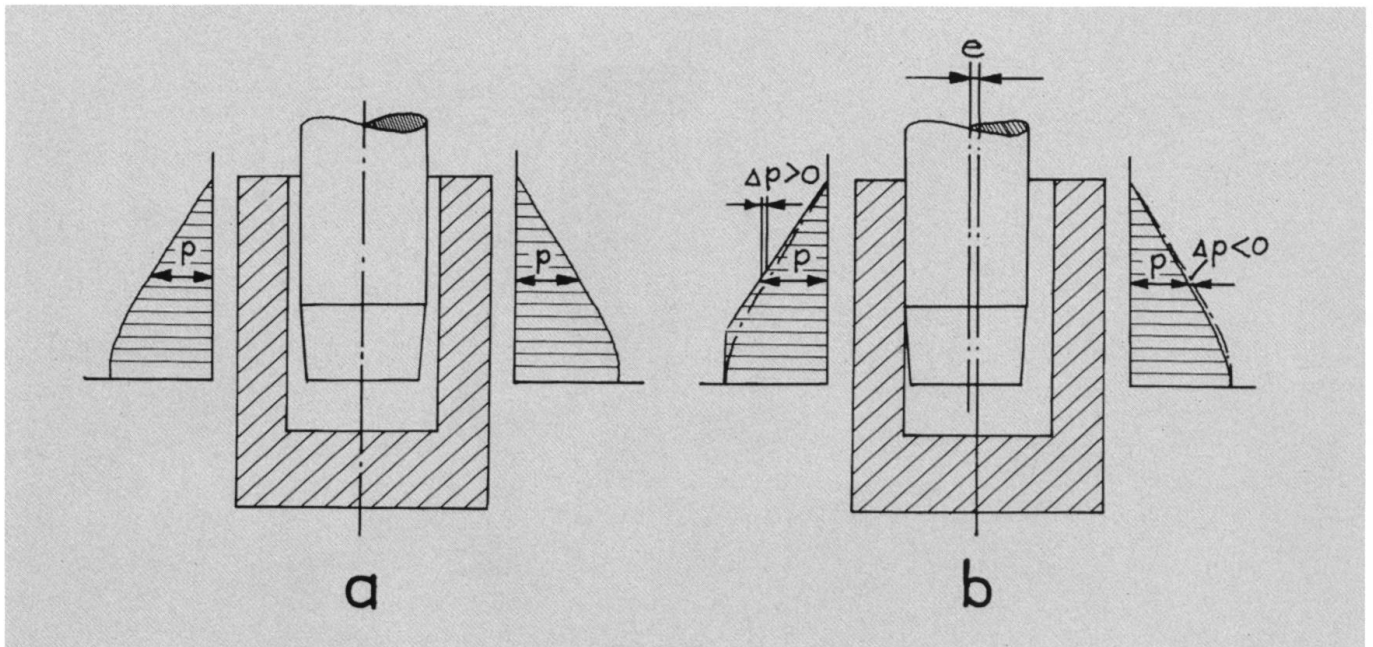


Fig. 13 Mechanismus der Selbstzentrierung beim eingeschliffenen Kolben. Die massgebenden Parameter sind um gut zwei Zehnerpotenzen übertrieben dargestellt: Das Kolbenspiel beträgt 0.01 bis 0.02 mm (so dass das Öl nur langsam durchsickern kann), der Konus des Kolbenendes wenige Mikrometer. a: symmetrische Verteilung des Druckes p im Spalt bei konzentrischer Lage des Kolbens (diese Verteilung ist im Teilbild b zum Vergleich strichpunktiert eingetragen); b: um

einen kleinen Betrag e exzentrische Lage des Kolbens fast bis zum Anliegen an der Zylinderwand: Links konzentriert sich der Druckabfall gänzlich auf den zylindrischen Teil des Kolbens, und es ergibt sich ein etwas höherer Druck (Differenz Δp); rechts nähert sich die Druckverteilung einer Geraden, weil der Spalt über seine Länge fast konstant wird, und es entsteht ein kleines Druckdefizit. Insgesamt ergibt sich eine Zentrierkraft.

gestatten. Die beiden letztgenannten Vorzüge sind heute bei Grossmaschinen von Interesse (stärkster ausgeführter Typ: 30 MN = 3000 Tonnen Maximalkraft; Erismann, 1989; 1992), deren Wartung mit Demontage der Kolben sehr aufwendig ist und deren Kraftmessung via Öldruck weit billiger zu stehen kommt und weniger Raum beansprucht als beim Einsatz anderer Mittel. Vor hundert Jahren gab es diese anderen Mittel kaum, und Wartungsfreundlichkeit war allezeit ein wichtiges Qualitätsmerkmal, vor allem für die häufigen Exporte nach Ländern mit bescheidener technischer Infrastruktur.

Jakob Amsler hatte mit den Informationen von Amagat und Tetmajer sowie mit der herstellungsbedingten Form der Kolben in dreifacher Hinsicht Glück gehabt. Sein kreativer Beitrag zum Entstehen einer neuen Generation von Prüfmaschinen erschöpfte sich aber nicht etwa im bereits erwähnten schnellen Erkennen einer besonders günstigen Konfiguration. Vielmehr *beeinflusste er alle Teile der Prüfmaschinen* massgebend, und sein Sohn tat es womöglich in noch höherem Mass. Es würde ein umfangreiches Buch füllen, wollte man alle diese Neuerungen auch nur einigermaßen vollständig beschreiben. Im-



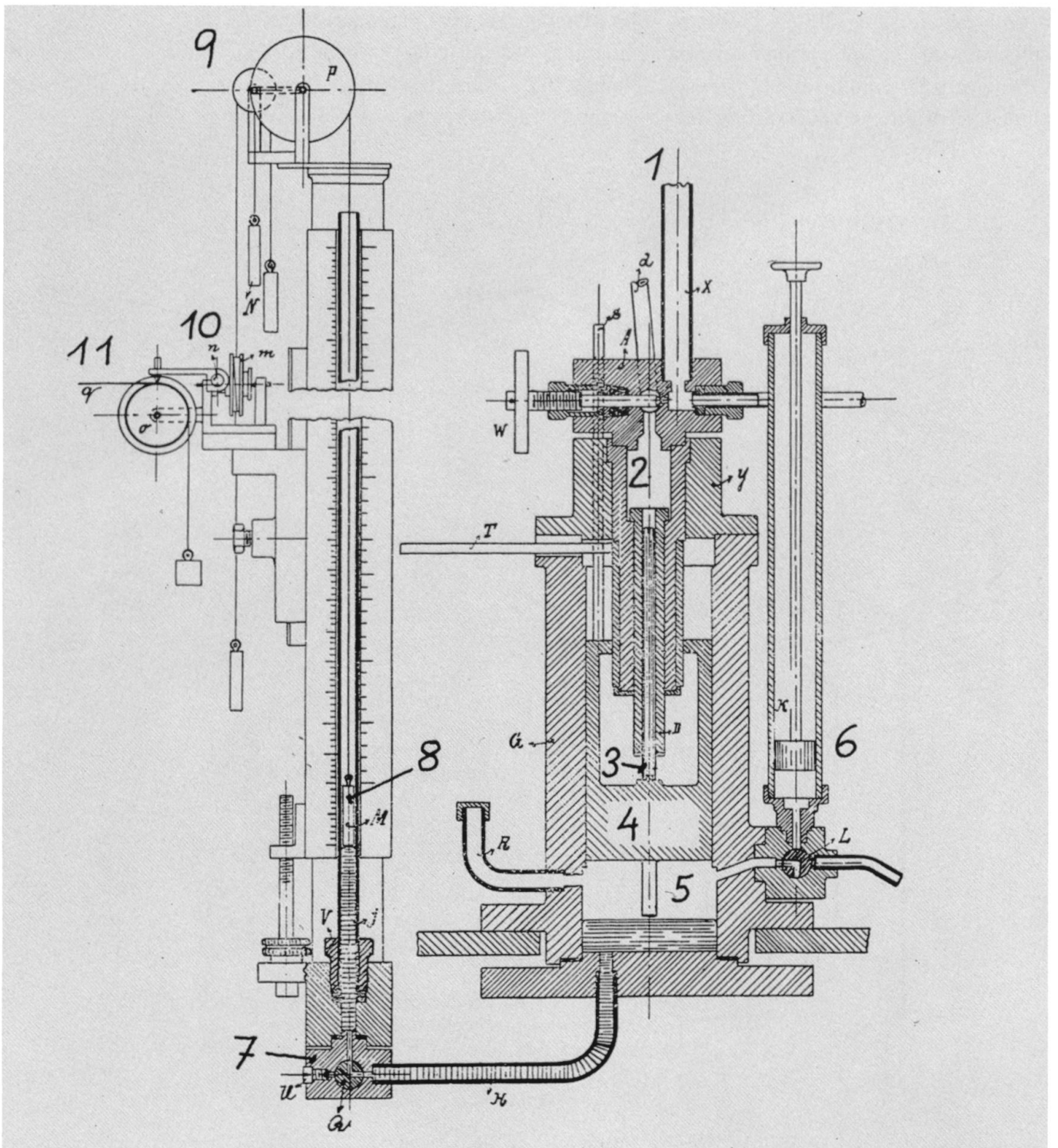
merhin sei der vorliegende Abschnitt durch eine kurze Darlegung der beiden Methoden vervollständigt, die zur Messung, also zur Umwandlung des dank geringer Reibung kraftproportionalen Öldrucks in eine mit ebensolcher Genauigkeit arbeitende Anzeige oder Registrierung dienen. Die erste dieser Methoden stammte mit Sicherheit von Jakob (1903), die zweite mit grosser Wahrscheinlichkeit von Alfred Amsler (1926). Erneut sei zu diesem Zweck eine geringfügig angepasste Anleihe im bereits erwähnten Buch des Verfassers (1992) vorgenommen: «Es gab schon lange vor dem Entstehen der ersten Prüfmaschinen ein Gerät auf gravitatorischer Basis, das eine fortlaufende und genaue Messung eines Druckes gestattete, nämlich das *Quecksilberbarometer*. Als daher die ersten Maschinen mit reibungsarmem hydraulischem Antrieb im Entstehen begriffen waren, lag der

Fig. 14 Prüfmaschinen aus dem 19. Jahrhundert im Amsler-Zimmer des Museums zu Allerheiligen in Schaffhausen. Die drei gezeigten hydraulischen Maschinen haben eingeschlifene Kolben. Rechts vorne kompakte Zug- und Druckprüfmaschine in der von Jakob Amsler geschaffenen klassischen Konfiguration mit obenliegendem Zylinder; dessen Kolben über einen kurzen Rahmen (Gehänge) auf die obere Einspannvorrichtung wirkt; darunter Stahlstab als Probe, untere Einspannvorrichtung und am festen Rahmen angeschlossene Spindel zur Anpassung an die Probenlänge; ganz rechts das Quecksilbermanometer; ganz vorne der Druckwandler, der die Pumpe verdeckt. In Bildmitte ähnliche Maschine mit zusätzlicher Biegevorrichtung (Schiene als Probe) und separatem Untersatz für Antrieb und Manometer. Links hinten Rückansicht der in Fig. 17 gezeigten Maschine.

Einsatz des quecksilbergefüllten U-Rohres für die Kraftmessung ziemlich nahe (Fig. 14). Die Idee hatte allerdings einen Haken: Um den Druck in

einer Prüfhydraulik zu messen, hätte das Rohr etwa die Höhe des Eiffelturmes haben müssen. Der Erfinder musste also gleich auch den Einsatz eines hydraulischen Druckwandler erfinden, um das Problem zu lösen (Fig. 15). Der Verfasser hält es zwar nicht für wahrscheinlich, dass bei dieser Gelegenheit auch der Druckwandler als solcher erfunden wurde, wohl aber möglicherweise die für eine reibungsarme Ausführung unerlässliche

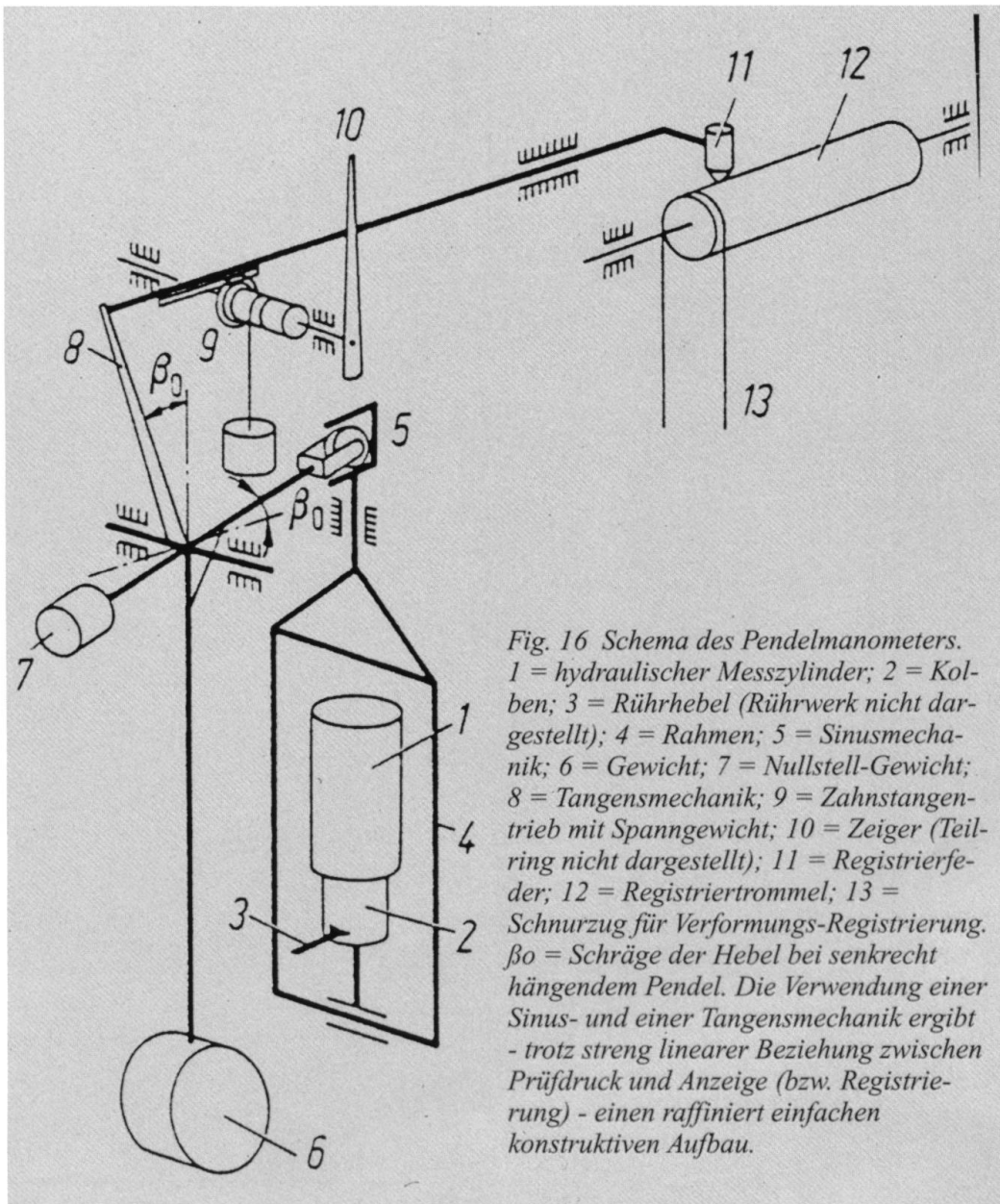
Fig. 15 Quecksilbermanometer und Druckwandler (nach einem Katalog von 1903). 1 = hydraulische Verbindung zur Prüfmaschine; 2 = Hochdruckkammer des Druckwandler; 3 = Hochdruckkolben; 4 = Niederdruckkolben; 5 = Niederdruckkammer, oben mit Öl, unten mit Quecksilber gefüllt; 6 = manuelle Reguliervorrichtung für Ölmenge; 7 = manuelle Reguliervorrichtung für Quecksilbermenge; 8 = Eisenschwimmer in Glasrohr mit Quecksilberfüllung; 9, 10 = Schnurzug-Übersetzungsgetriebe; 11 = Registriertrommel (ein zweiter Schnurzug gibt die Verformung der Probe ein).



Abdichtung des Quecksilbers durch einen auf dessen Oberfläche schwimmenden «Pfropfen» aus Öl. Ein Rührwerk schwenkte den Kolben ständig um seine Achse, um dessen Reibung weiter zu verringern. Das so umrissene Messverfahren, das mittels eines Schwimmers sogar eine Registrierung zuließ, hatte einen schwerwiegenden Nachteil: Die Bedienung des Gerätes war wegen der genau einzuhaltenen Niveaus für Öl und Quecksilber umständlich und zeitraubend.

Mit der Lösung dieses Problems entstand im *Pendelmanometer* das gravitatorisch-hydraulische Messgerät, das während vieler Jahrzehnte

zum eisernen Bestand beinahe jedes Prüflabors gehörte und das auch heute noch an vielen Orten zufriedenstellende Dienste leistet (Fig. 16, 17). Die Grundidee, die erst dank der Verwendung präziser und sorgfältig ausgewählter Kugellager möglich geworden war, bestand in der Auslenkung eines Pendels durch einen hydraulisch angetriebenen Kolben kleinen Durchmessers, dessen Reibung auch hier mit einem Rührwerk weitgehend ausgeschaltet wurde. Da Länge und Masse des Pendels bequem verändert werden konnten, bestand eine einfache Möglichkeit zur Wahl des jeweils bestgeeigneten Messbereichs.



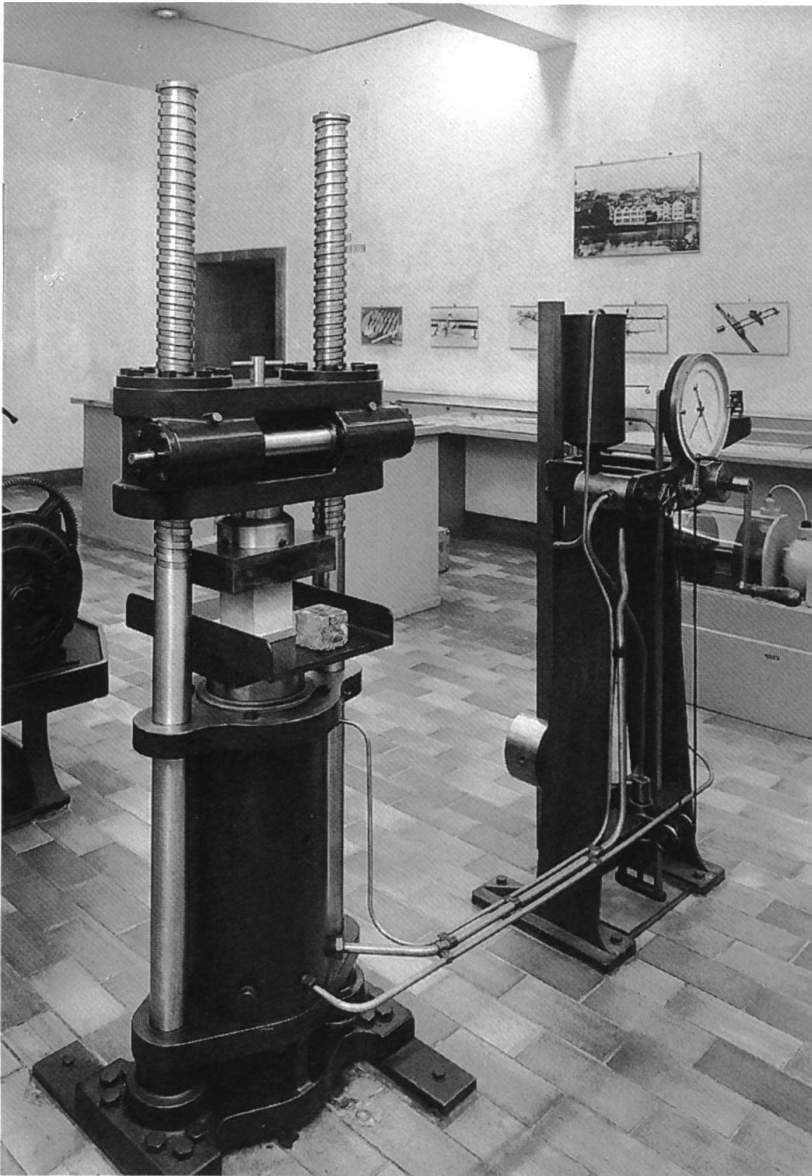


Fig. 17 Druckprüfmaschine mit untenliegendem Zylinder und (rechts) Pendel­manometer. Betonwürfel als Probe. Das Pen­del ist zur Hälfte durch den Ständer ver­deckt (in Fig. 14 besser zu sehen).

Das Pendel­manometer war nicht nur elegant konstruiert und robust, seine Genauigkeit beruhte auch auf wenigen Parametern, die ihrem Wesen nach entweder (wie die Pendel­masse und die Erdbeschleunigung) konstant oder (wie die Lagerreibung) leicht kontrollierbar waren. Charakteristisch

für die Situation in den sechziger Jah­ren des zwanzigsten Jahrhunderts, als modernere Messmethoden auf dem Markt eine Rolle zu spielen begannen, war ein Besuch des Verfassers in einem Labor in den USA. Dessen Chef führte ihm eine brandneue Ma­chine vor, neben der eine ältere mit Pendel­manometer stand. Des Lobes der Neuanschaffung und ihrer Vorzüge war kein Ende, bis die Frage kam, warum denn die offenbar ausgediente Grossmutter noch nicht abgetakelt sei. Die Antwort gab zu denken: «Ja, wis­sen Sie, wir brauchen schliesslich et­was, um die neue Maschine von Zeit zu Zeit zu kalibrieren...»

Eine höhere Anerkennung hätte dem Erfinder des Pendel­manometers mehr als ein halbes Jahr­hundert nach dessen Konzeption nicht leicht gezollt werden können.

Wenn heute keine Pendel­mano­meter mehr fabriziert werden, so liegt dies an deren *regeltechnischem Ver­halten*: Die ansehnliche und über­ziemlich grosse Hübe bewegte Masse kann zu unerwünschten Trägheits­effekten führen (für den konkreten Fall einer 500-kN-Maschine wurde errech­net, dass die Pendel­masse sich ebenso auswirkt wie ein an der bewegten Krafteinleitung befestigtes Kanonen­boot von 2600 Tonnen!). Da moderne Prüf­systeme fast ausschliesslich mit elektromechanischen oder hydrauli­schen Servoantrieben versehen sind, die sie leicht automatisierbar und fast unbegrenzt programmierbar machen, ist die Zeit des Pendel­manometers endgültig vorbei. Sein zähes Überle­ben in manchen Laboratorien hängt nicht nur mit der Langlebigkeit und Anspruchslosigkeit dieses Gerätes (und der dazugehörigen Maschinen) zusammen: Das erwähnte regeltech­nische Verhalten ist bei zahlreichen langsam zu fahrenden Prüfungen kein oder doch kein wesentlicher Nachteil.

Um 1910: Computer: «Real time on line» – Dynamometerwagen

Vergegenwärtigt man sich die Entstehungsgeschichte der heutigen Computer, so findet man eine Vielzahl verschiedenartiger Vorläufer und damit auch manche Unsicherheit bezüglich der Erstlingsrechte. Der Verfasser kann nicht umhin, dieses bunte Bild um ein markantes Objekt zu vermehren. Um zumindest dem in ähnlichen Fällen naheliegenden Vorwurf der Ungenauigkeit zu entgehen, hält er eine eindeutige *Umschreibung der verwendeten Begriffe* für unerlässlich.

Unter einem *Computer* sei eine Maschine verstanden, die aus mehr als einer Operation bestehende Rechnungen ohne menschliches Zutun nach vorbestimmtem Schema durchzuführen vermag. Dabei seien die folgenden Kriterien als unerheblich eingestuft: Darstellung der Rechengrößen durch kontinuierlich oder diskret veränderliche physikalische Größen (Analog- oder Digital-Computer); physikalische Natur der Darstellung (mechanischer, elektromechanischer, elektronischer usw. Computer); ein für allemal festgelegtes oder veränderliches Rechenschema (Ein- oder Mehrzweck-Computer). Im weiteren sei ein Computer als «*real time*» (in Echtzeit) arbeitend bezeichnet, wenn er in der Lage ist, die Berechnung eines Phänomens in der gleichen Zeit durchzuführen, in der dieses Phänomen in der Realität abläuft. Und als «*on line*» arbeitend gelte ein Computer, der, an laufend verfügbare (Eingangs-) Größen eines ausserhalb seiner selbst liegenden Phänomens angeschlossen, daraus die erwünschten Resultate derart berechnet, dass sie praktisch gleichzeitig mit den Eingangsgrößen verfügbar sind.

Akzeptiert man diese Definitionen – die, wie andere auch, nicht ohne Anflug von Willkür sind –, so stellt man zunächst fest, dass keines der bis dahin besprochenen Geräte ein Computer war (auch die Planimeter für höhere Momente nicht, da bei ihnen die rechnerische Verknüpfung der abgelesenen Integrierrollen durch den Menschen, also ausserhalb des Gerätes erfolgte). Es ergibt sich aber die begründete Vermutung, dass ein Amslerscher Dynamometerwagen den ersten «*real time on line*» arbeitenden mechanischen *Einzweck-Analog-Computer* enthielt, zumindest den ersten in hartem praktischem Einsatz erprobten. In etwas weniger üppiger, aber ebenfalls moderner Formulierung könnte man auch von der ersten mechanischen *Einzweck-Integrieranlage* (englisch «*differential analyzer*») sprechen. Es handelte sich allerdings nicht um die Lösung von Differentialgleichungen durch Rückkoppelung im Sinne einer schon von W. Thomson (später als Lord Kelvin berühmt geworden) geäusserten Idee (1876). Wie dem auch sei, es lohnt sich auf alle Fälle, die hier als «Computer» bezeichnete Rechenanlage und die Problematik, aus der sie entstanden war, näher zu betrachten.

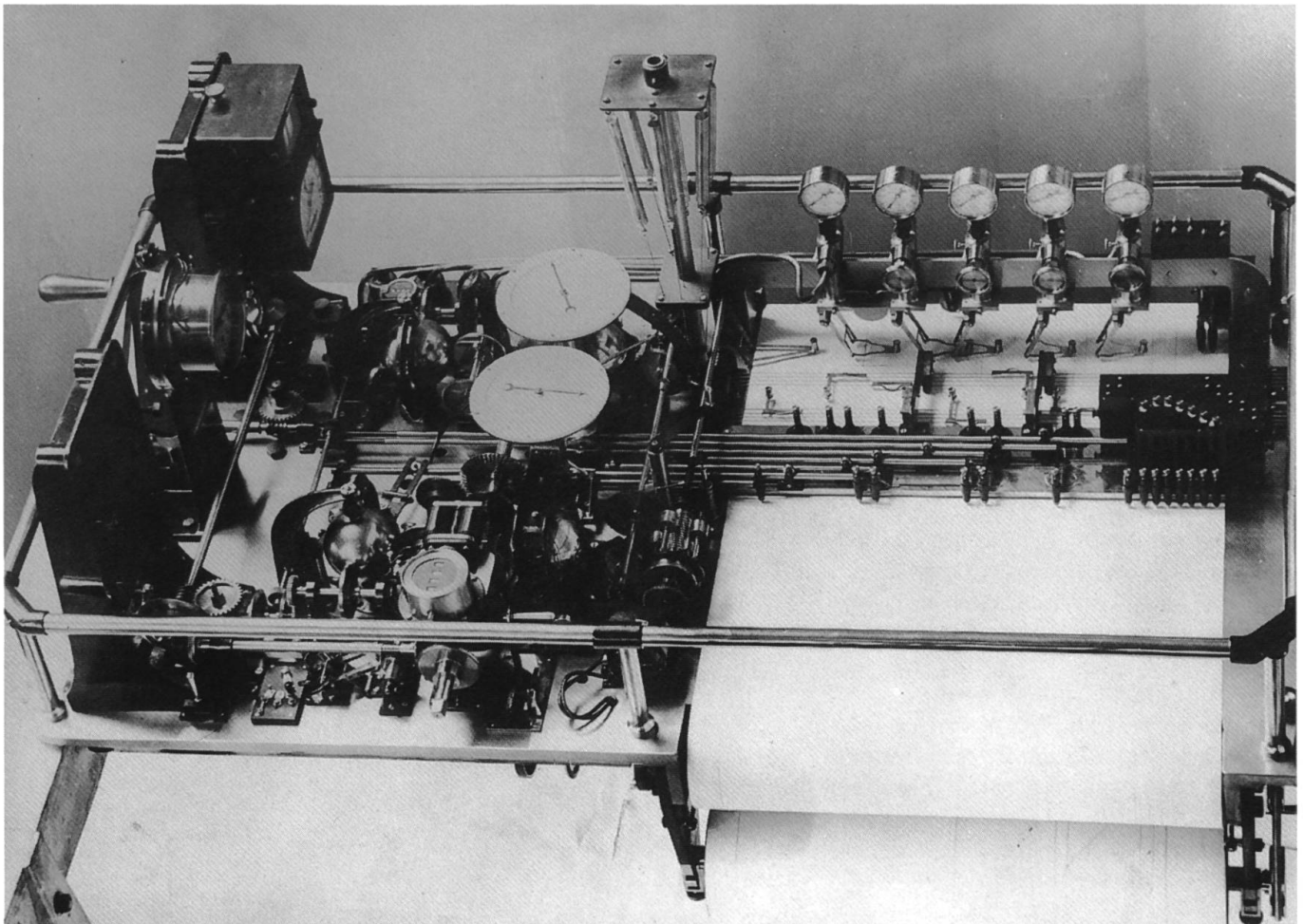
Um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert waren die Eisenbahnen längst dem Stadium pionierhafter Empirie entwachsen. Man besass solide Grundlagen für die Berechnung von *Lokomotiven*, und es ergab sich ein zunehmender Bedarf nach zuverlässiger und rasch realisierbarer Überprüfung der in Aussicht gestellten Leistungen. Dies sollte unter wirklichkeitskonformen Bedingungen im Fahrbetrieb er-

folgen. Man war somit *auf Messwagen angewiesen* (Place, 1933), die in erster Linie laufend die Kraft F am Zughaken (daher die Bezeichnung «Dynamometerwagen») und die Geschwindigkeit v zu messen und zu registrieren hatten. Aus diesen beiden Grössen konnte man zwar durch Multiplikation die Leistung P ermitteln; und durch Planimetrieren einer in Funktion der zurückgelegten Strecke X aufgenommenen Kraftregistrierung erhielt man auch die aufgewendete Energie W . Die Auswertung war aber recht langwierig, da Messfahrten sich über mehrere Stunden zu erstrecken pflegten. Zudem waren alle Ergebnisse allein für die Werte am Zughaken gültig und nicht für die an sich noch wichtigeren Grössen am Umfang der Triebräder.

Dass das hier brachliegende *Rationalisierungspotential* einen kreativen Ingenieur herausfordern musste, ist kein Wunder. In der Tat hatte sich

schon Jakob Amsler – so vermutet es Dubois (1944) – mit der Frage befasst, wobei allerdings das Mass einer Mitwirkung des Sohnes offen ist. Sicher ist jedenfalls, dass der Versuch zu einer möglichst umfassenden Gesamtlösung der anstehenden Problematik 1912 von Alfred Amsler unternommen wurde (Fig. 18). Dies gab dem so entstandenen *Dynamometerwagen* den Charakter der Pionierleistung. In wel-

Fig. 18 Messtisch eines Dynamometerwagens aus dem frühen zwanzigsten Jahrhundert. Rechts der Registrier-, links der Rechenteil. Drei der vier Kugelgetriebe sind deutlich zu erkennen. Die beiden mit horizontalen Zifferblättern versehenen berechnen durch Differentiation die Leistung am Zughaken und die Geschwindigkeit, die beiden anderen durch Integration die Arbeit am Zughaken und die Beschleunigungsarbeit. Die Apparate an der hinteren Kante des Registrierteils dienen für Bremsmessungen.



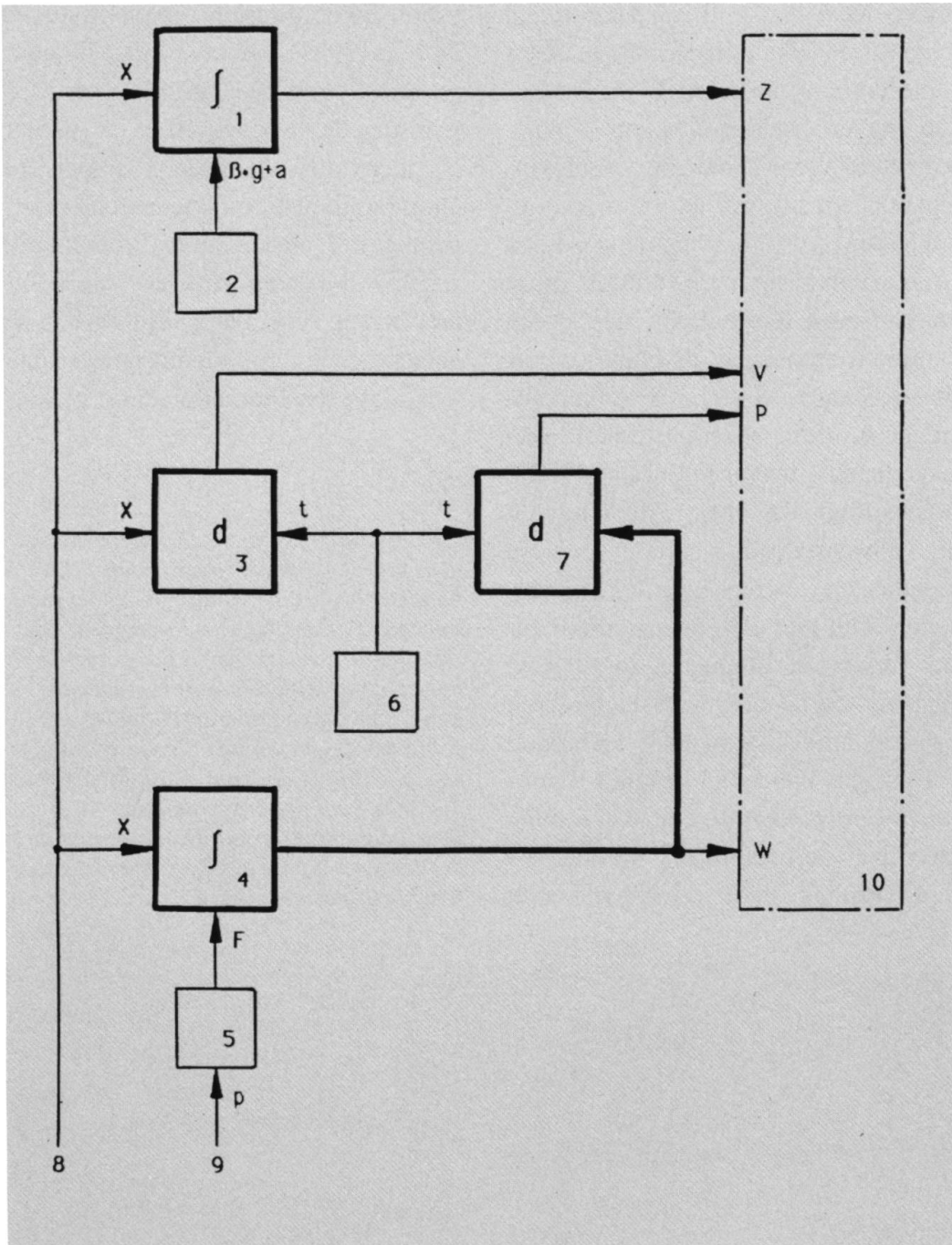


Fig. 19 Messtisch gemäss Fig. 18, Schema des Rechenteils. 1 = Beschleunigungs-Integrator gemäss Formeln (13) und (14); 2 = Beschleunigungspendel; 3 = Geschwindigkeits-Differentiator, Formel (12); 4 = Energie-Integrator, Formel (10); 5 = hydraulischer Druckmesser; 6 = Elektromotor mit Fliehkraftregler als Zeitgeber; 7 = Leistungs-Differentiator, Formel (11); 8 = mechanischer Antrieb von einer ungebremsten Radachse; 9 = Druckleitung von der am Zughaken angeschlossenen hydraulischen Kraftmessvorrichtung; 10 = Anzeige- und Registriergeräte. Für die übrigen Symbole siehe die angegebenen Formeln. Zur echten Integrieranlage wird das System durch die fett ausgezogene Verbindung zwischen zwei Infinitesimalrechnungen.

chem Mass weitblickende Bahningenieure dabei mitgewirkt haben, ist heute nicht mehr bekannt. Auf alle Fälle ging die Konzeption, wie das Schaltschema von Fig. 19 zeigt, weit über das nach dem damaligen Stand der Technik zu Erwartende hinaus.

Der trivialen Integration

$$W = \int F \cdot dX \quad (10)$$

wurde als Novum die Differentiation

$$dW/dt = d(\int F \cdot dX)/dt = F \cdot dX/dt = P \quad (11)$$

mit t als der Zeit nachgeschaltet. So

erhielt man auf unkonventionelle und elegante Weise die Leistung am Zughaken. Und da auch die Geschwindigkeit durch eine Differentiation

$$v = dX/dt \quad (12)$$

ermittelt wurde, entstand eine ausschliesslich mit Integrier- und Differenziergeräten bestückte, also sehr einheitlich aufgebaute Schaltung. Diese Einheitlichkeit wurde noch unterstrichen durch einen zweiten Integrator, der den Ausschlag eines in Fahrtrichtung schwingenden, angemessen gedämpften Pendels über der zurückgelegten Strecke integrierte. Der Integrand war offensichtlich der Summe zweier Werte proportional: einerseits des Produktes aus Erdbeschleunigung g und Rampenneigung β , andererseits der Fahrtbeschleunigung $a = dX/dt$. Mit geeigneter Wahl der Apparatekonstanten konnte man also das Integral

$$Z = \int \beta \cdot g \cdot dX + \int a \cdot dX \quad (13)$$

bestimmen, das sich durch elementare Operationen in die Form

$$Z = g \cdot z + v^2/2 \quad (14)$$

bringen lässt, wenn z die Höhe des jeweiligen Standortes über dem Ausgangspunkt der Fahrt ist. Das Produkt des Integrals Z mit der Masse m der Lokomotive ergibt also offensichtlich die Energie, die erforderlich ist, um die Lokomotive um den Betrag z zu heben und sie vom Stillstand auf die Geschwindigkeit v zu beschleunigen. Dass $W + Z \cdot m$ dann eine erste Annäherung für die am Umfang der Triebräder geleistete Arbeit darstellt, ist offensichtlich. Exakt ist dieses Ergebnis allerdings nicht, weil drei Einflussgrößen der Lokomotive unberücksichtigt bleiben: der Rollwider-

stand, der Luftwiderstand und die Trägheit der rotierenden Massen (vorab der Radsätze, bei elektrischen Lokomotiven auch der Motoren). Ohne auf Einzelheiten einzugehen, sei festgestellt, dass bei den damals üblichen Lokomotiven (vorwiegend Dampf) sowie deren Beschleunigung und Geschwindigkeiten die entstehenden Fehler durch ziemlich einfache Korrekturen in vertretbaren Grenzen gehalten werden konnten. Zudem fiel der Einfluss der rotierenden Massen immer dann aus der Rechnung, wenn das Integral Z zwischen zwei Punkten mit gleichen Geschwindigkeiten betrachtet wurde (vorzugsweise zwischen zwei Halten); und die Höhe z konnte unabhängig von den Messungen bestimmt werden, sofern ein genaues Längsprofil der Strecke verfügbar war.

Die Frage liegt nahe, weshalb die Differentiation nach der Beziehung (11) einer auf den ersten Blick einfacher scheinenden Multiplikation von F und v vorgezogen wurde. Die Antwort ist einfach: Ein guter Differentiator (in der Literatur häufig auch als Derivator bezeichnet) ist mit mechanischen Mitteln eleganter zu verwirklichen als ein Multipliziergerät. Daneben war im vorliegenden Fall die bereits erwähnte Einheitlichkeit der verwendeten Elemente ein Vorteil.

Natürlich mussten die in dieser Anlage eingesetzten Geräte einerseits den rauen *Bedingungen des Bahnbetriebes*, andererseits den Anforderungen der Rechenschaltung (die in moderner Terminologie auch als festes Hardware-Programm bezeichnet werden könnte) angepasst sein. Bei der *Kraftmessung* bestanden keine grundsätzlichen Probleme: Zylinder mit eingeschliffenen Kolben, wie in den Prüfmaschinen damals schon seit geraumer Zeit bewährt, taten den Dienst in befriedigender Weise. Dass die nöti-

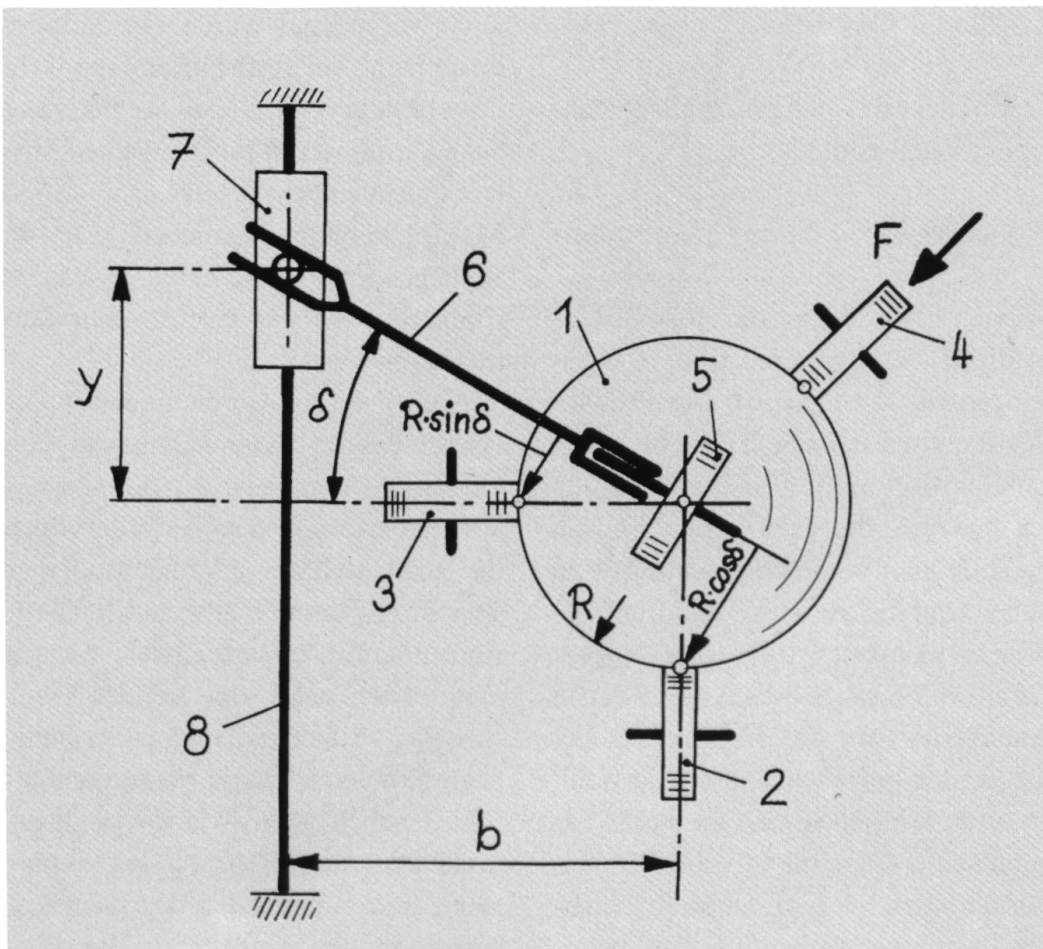
gen Vorkehrungen für den zweckentsprechenden Einbau in das Fahrzeug und für die sinngemässe Funktion im Fahrbetrieb vorgenommen werden mussten, versteht sich von selbst. Zudem musste für die Messung des hydraulischen Druckes anstelle des Pendelmanometers ein mit einer Feder ausgestattetes Gerät dienen (damals auch keine Neuheit mehr). Auf diese Einzelheiten sei hier aber nicht eingegangen, da es sich nicht um Aufgaben handelte, deren Lösung herausragender kreativer Leistungen bedurfte.

Ganz anders stand es mit den Rechengenäten. Diese mussten einerseits robust, andererseits in der Lage sein, Registrierfedern und zum Teil auch weitere Rechengenäte anzutreiben, im Falle des Integrators nach Gleichung (10) den gemäss (11) angeschlossenen Differentiator. Für solche Aufgaben waren die bis dahin üblichen Integriergeräte nicht geeignet, die ausnahmslos auf der Basis minimaler Drehmo-

mente konzipiert waren. Auch die «real time on line» (allerdings sehr langsam) arbeitenden Integratoren für Pegel und ähnliche Apparate machten in diesem Punkt keine Ausnahme (Dubois, 1944).

Der *Kugelintegrator*, eine bemerkenswerte Erfindung des Engländers Shaw (1885), half dieses Problem zu lösen. In seiner klassischen Form (Fig. 20) besteht dieses Getriebe aus einer Kugel, an die fünf zylindrische Rollen angelegt sind, zwei an den Polen und drei am Äquator. Zwei der letztge-

Fig. 20 Schema des Kugelintegrators, siehe Formeln (15) und (16). 1 = Kugel; 2 = Antriebsrolle = x -Eingang; 3 = Abtriebsrolle = J -Ausgang; 4 = Anpressrolle; 5 = eine der beiden Steuerrollen; 6 = Tangentenarm; 7 = Tangentenwagen = y -Eingang; 8 = Führung des Wagens. b = Tangentenabstand; F = Anpresskraft; R = Kugelradius; y = Integrand; ϑ = Tangentenwinkel. Beim entsprechenden Differentiator sind 2 und 3 Antriebe, die die Kugeldrehachse bestimmen, und 5 sind Schlepprollen.



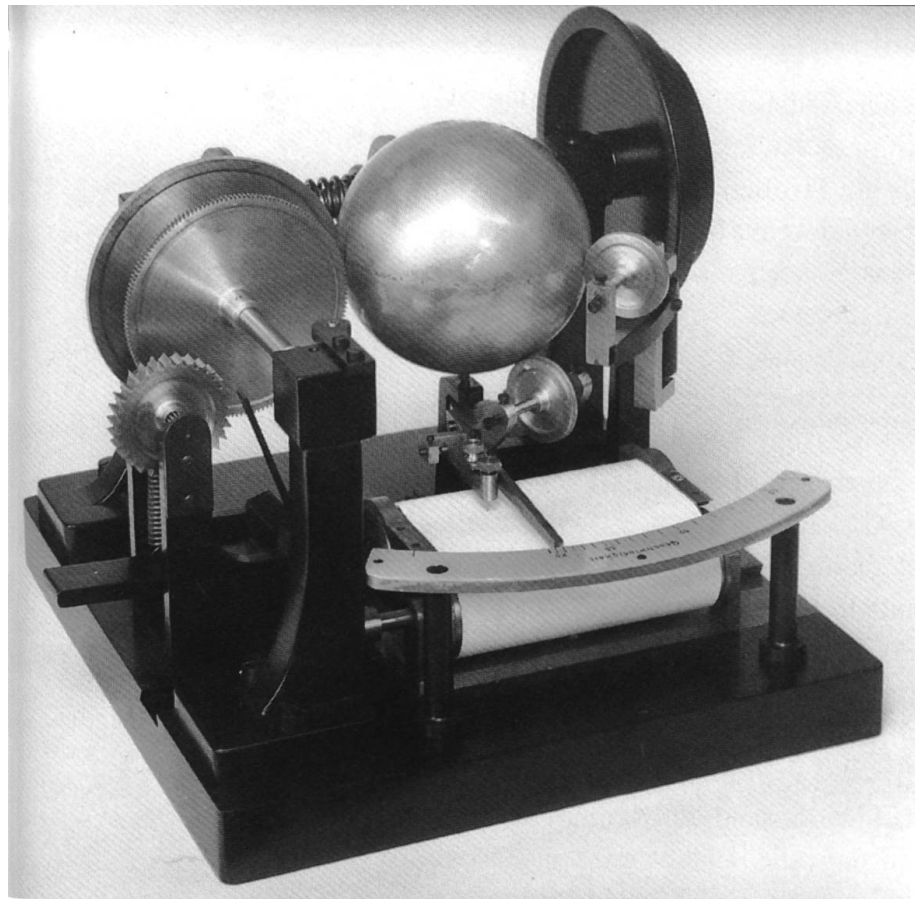


Fig. 21 Einer der ersten Kugeldifferentiatoren (möglicherweise der erste). Links neben der Kugel eine der beiden an deren Äquator angreifenden Antriebsrollen (die zweite von der Kugel verdeckt). Rechts neben der Kugel unter Federdruck stehende Anpressrolle. Bei der vorliegenden Ausführung ist nur eine Schlepprolle vorhanden, die man unter der Kugel erkennt (Anpressung durch das Eigengewicht der Kugel). Die vorne sichtbare Skala ist nichtlinear.

nannten, die Antriebs- und die Abtriebsrolle, berühren die Kugel in Punkten, die voneinander um einen rechten Winkel entfernt sind. Die dritte, unter Federdruck stehend, hat nur die Aufgabe, die Kugel mit einer angemessenen Kraft an die beiden anderen zu drücken. Die Achsen der beiden an den Polen anliegenden «Steuerrollen» sind um die durch die Pole gehende Achse schwenkbar gelagert und liegen dank einem verbindenden Bügel stets zueinander parallel. Eine von ihnen steht unter Federdruck, so dass beide an die Kugel angepresst werden. Die folgenden Überlegungen gelten für ideale Geometrie und Punktberührung sowie für schlupffreies Abrollen.

Wird die Antriebsrolle in Rotation versetzt, so zwingt sie die Kugel zu einer Drehbewegung. Die Drehachse der Kugel wird dabei von den am Äquator anliegenden Rollen in die Äquatorialebene, von den Steuerrollen in eine zu deren Achsen parallele Lage gezwungen. Der Winkel zwischen dem Abtriebs-Kontaktpunkt und der Kugeldrehachse heisse ∂ , der Kugelradius R . Bewegt sich der Antriebs-Kontaktpunkt um einen infinitesimalen Betrag dx , so ergibt sich aus den wirkenden Radien der beiden Kontaktpunkte

$$dJ = (R \cdot \sin\partial / R \cdot \cos\partial) \cdot dx = \tan\partial \cdot dx \quad (15)$$

für den Weg des Abtriebs-Kontaktpunktes. Schliesst man die Steuerrollen an eine Tangentenmechanik mit dem Tangentenabstand b und dem Ausschlag y an (Fig. 20), so erhält man nach Integration beider Seiten

$$J = \int \tan\partial \cdot dx = 1/b \cdot \int y \cdot dx. \quad (16)$$

Das ist offensichtlich die Gleichung eines Integrators. Nun braucht man nur X für x und F beziehungsweise $\beta \cdot g + a$ für y/b einzusetzen, um die Integrale W und Z gemäss (10) und (13) zu erhalten.

Der schon von Jakob Amsler erfundene entsprechende *Differentiator* bedarf angesichts seiner Ähnlichkeit mit dem Integrator keiner eingehenden Beschreibung. Erwähnt sei nur, dass bei ihm beide Eingänge am Äquator der Kugel erfolgen (einer für dx und einer für dt , also konstante Winkelgeschwindigkeit) und dass die Steuerrollen durch frei schwenkbare «Schlepprollen» ersetzt sind, die – ähnlich wie Servierboy-Räder – gegenüber ihrer Schwenkachse versetzt sind und sich daher in die durch die Drehbewegung der Kugel gegebene Richtung einstellen (Fig. 21). Der erforderliche

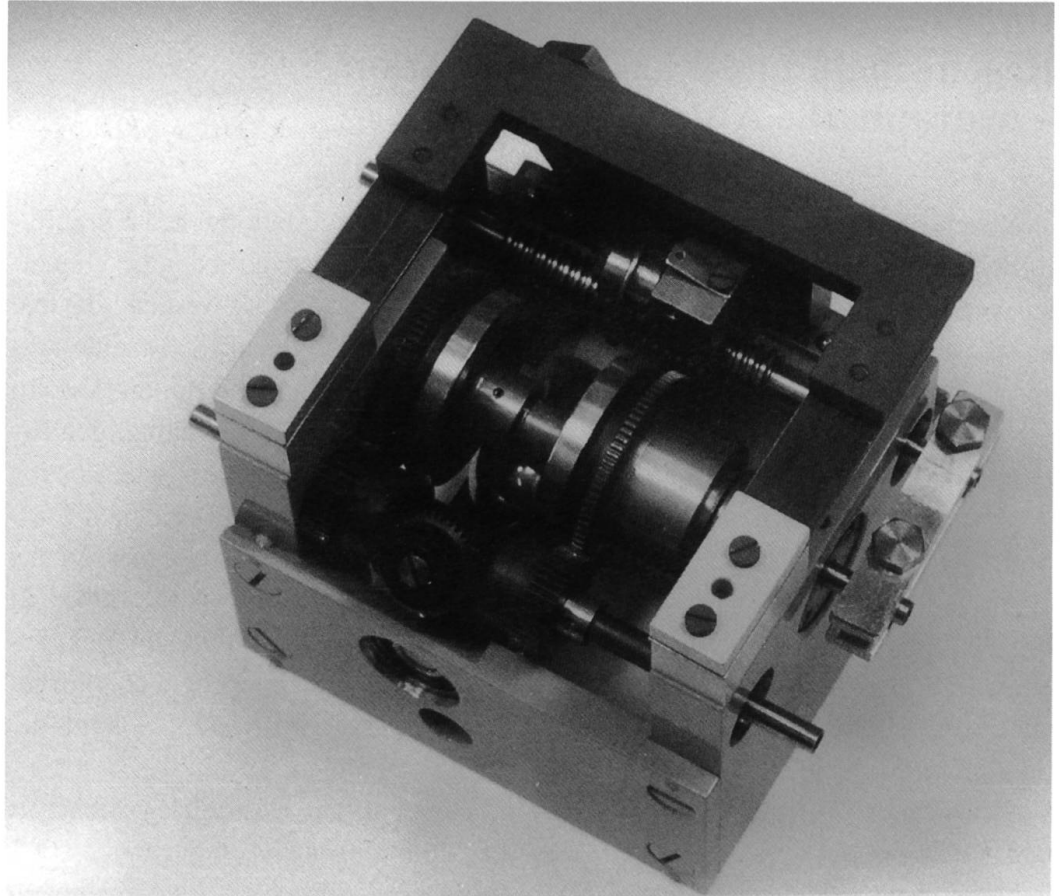
Antrieb mit konstanter Geschwindigkeit wurde von einem Elektromotor (ursprünglich vom X-Antrieb ab Radachse) über einen Fliehkraftregler mit angeschlossener Reibungskupplung geliefert.

Kugeldifferentiatoren wurden zunächst mit direkter Anzeige des Winkels ϑ , also nichtlinearer Skala gebaut, aber schon 1912 auf etwas ausgefallene Weise linearisiert: Eine gezahnte Leitkurve trieb eine Zahnwalze mit dem Zeiger an. Warum ein Erfinder mit dem Weitblick eines Alfred Amsler diese kostspielige und schwer zu justierende Lösung zuließ, ist nicht auszumachen. In späteren Jahren eingesetzte Tangentenmechaniken erwiesen sich auf Anhieb als in jeder Hinsicht überlegen: Sie hatten (wie natürlich auch die entsprechenden Integratoren) Justierschrauben für den Nullpunkt, den Tangentenabstand b und den Winkel zwischen Schlepprollen (bzw. Steuerrollen) und Tangentenarm, womit alle Fehler erster und zweiter Ordnung (also auch nichtlineare) systematisch korrigiert werden konnten, während das Herumbiegen an der Leitkurve der alten Differentiatoren ein Glücksspiel war. Auch ein genialer Kopf lässt sich gelegentlich zu Abwegen verleiten...

Dieser ziemlich lange Exkurs in die Problematik zweier Rechenelemente, von denen das grundlegendere – der Integrator – keine Amslersche Erfindung war, hat einen guten Grund: Alfred Amsler war es, der die besonderen Eigenschaften der Kugelgetriebe als erster konsequent ausnützte, nämlich die bereits erwähnte Fähigkeit zur Abgabe relativ *hoher Ausgangsmomente*, bedingt durch die Möglichkeit starker Anpressung der Rollen an die Kugel. Man stelle sich die Verhältnisse bei Stillstand (oder zumindest sehr langsamer Bewegung) des x-Antriebs und gleichzeitiger ra-

scher Änderung des Integranden vor: Beim Kugelintegrator erfolgt nichts als ein Pivottieren der Steuerrollen um ihre Schwenkachse, und die Kontaktpunkte dienen als Lager mit kleinstem Durchmesser. Trotz starker Anpressung bedarf die Schwenkung somit nur eines sehr kleinen Momentes, und die Messung des Integranden (Federmanometer, Beschleunigungspendel) wird kaum verfälscht. Gleichzeitig bleibt auch die Abnutzung von Kugel und Rolle vernachlässigbar, und die Genauigkeit der Integration leidet in keiner Weise. Man stelle sich die gleiche Situation bei einem Scheibenintegrator vor (Fig. 1), wo die Rolle gegen den Widerstand der Reibung über die stillstehende Scheibe gezwungen werden müsste. Es ist leicht einzusehen, dass alle drei erwähnten qualitätsbestimmenden Faktoren (Beeinflussung der Messung des Integranden, Abnutzung, Integrationsgenauigkeit) um vieles schlechter wären.

Auch hier sei ein kurzer Hinweis auf die nach Alfred Amsler *folgende Zeit* gegeben. Die Kugelgetriebe erlebten in den fünfziger Jahren eine ähnliche Blüte wie die Planimeter. Es ging damals neben der Perfektionierung der Dynamometerwagen um die Entwicklung hochpräziser Ein- und Mehrzweck-Integrieranlagen (Curti/Dubois, 1949; Erismann, 1956; 1959), die bis dahin fast ausschliesslich mit Scheibenintegratoren ausgerüstet worden waren (Bush, 1931; Bush/Caldwell, 1945; Hoffmann, 1956). Voraussetzung substanzieller Verbesserungen war eine systematische Untersuchung der Kugelbewegung und insbesondere der Vorgänge in den Kontaktpunkten (Erismann, 1954). Dabei ergaben sich Konstruktionen, die, wie ein Vergleich von Fig. 21 und 22 zeigt, stark von den ursprünglichen Ausführungen abwichen. Die Fehlergrenzen konnten dabei um mehr als eine Zehnerpotenz



gesenkt werden. In den sechziger Jahren wurden diese technisch wie mathematisch interessanten Entwicklungen angesichts der Fortschritte der digitalen Computer eingestellt.

Zum Abschluss sei noch vermerkt, dass der Dynamometerwagen nicht die einzige Eisenbahn-Messausrüstung war, zu deren Entwicklung Alfred Amsler Entscheidendes beigetragen hat. Um nur ein Beispiel zu nennen: Unter seiner Leitung entstanden um 1930 frühe *Oberbau- oder Gleismesswagen*, die zur Aufgabe hatten, die geometrischen Parameter von Schienensträngen (Spurweite, vertikale Unebenheiten, Krümmung, Überhöhung usw.) zu messen und damit quantitative Grundlagen für die Beurteilung von Eisenbahnstrecken sowie für Unterhaltsarbeiten zu schaffen. Hier wird auf diese Entwicklungen nicht im Detail eingegangen. Interessierte Leser seien auf die Literatur verwiesen (Dubois, 1941; 1965; Erismann, 1951; 1963; 1967).

Fig. 22 Kugelintegrator für einen militärischen Rechner aus den sechziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts. Die Kugel ist unter den beiden coaxial angeordneten Äquatorialrollen kaum zu sehen. Die Seitenkante des etwa kubischen Gerätes ist kaum grösser als die Kugeldurchmesser in Fig. 18 und 21, die Fehlertoleranz um eine gute Zehnerpotenz enger.

Um 1920: Regeltechnik und Phasenmodulation – hydraulische Antriebselemente

Neben dem Streben nach ständiger Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten, nach besserer Genauigkeit und nach – für heutige Begriffe recht anspruchsloser – Rationalisierung stiegen zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts die *Anforderungen an Prüfgeräte* vor allem in zwei Belangen: Man wollte die Versuche besser reproduzierbar machen, und man war bemüht, die ursprünglich vor allem für einmalige Beanspruchung (statische, zügige Versuche) konzipierten Prüfmaschinen auch für deren periodische Wiederholung (Pulsier-, Ermüdungsversuche) brauchbar zu machen. Für beide Anliegen kam der Verbesserung von *Antrieb und Steuerung* eine entscheidende Bedeutung zu. Auf beiden Sektoren leistete Alfred Amsler Pionierarbeit.

Die *Reproduzierbarkeit* eines Versuchs hängt auf der apparativen Seite offensichtlich davon ab, wie gut die massgebenden Parameter beherrschbar sind. Einer der wichtigsten unter ihnen ist die *Geschwindigkeit*, mit der ein Versuch abläuft. Nachdem sich die Hydraulik (nicht zuletzt dank dem eingeschliffenen Kolben) weltweit als wichtigste Antriebsart durchgesetzt hatte, ging es darum, einen in Funktion der Zeit konstanten Ölstrom beliebiger Kapazität beliebig lange aufrechtzuerhalten. Damit war eine gute Annäherung an eine konstante Vorschubgeschwindigkeit des Kolbens im Zylinder gegeben. Gewiss muss man sich darüber im klaren sein, dass eine Steuerung dieser Art nur dann eine konstante Geschwindigkeit der Verformung (und zugleich der Kraftänderung) sicherstellt, wenn alle kraftführenden Teile des gesamten Systems

(Probe, Krafteinleitungen, Hydrauliköl, Reaktionsstruktur) als linear-elastisch betrachtet werden dürfen: Bei jeder Nichtlinearität ist eine Abweichung vom gewünschten Verlauf unvermeidlich. Für die damaligen Erfordernisse konnte eine solche Lösung trotzdem als sehr wesentlicher Fortschritt betrachtet werden, da die bis dahin üblichen Steuerventile selbst bei linear-elastischem Verhalten des Systems eine Veränderung der Prüfungsgeschwindigkeit bewirkten, sobald die Kraft sich änderte.

Bevor auf die Lösung des solcherart gestellten Problems eingegangen wird, muss eine *Sprachregelung* festgelegt werden, da sonst bei der Lektüre alter Schriften Missverständnisse unvermeidlich wären. Der interne Sprachgebrauch der Firma Amsler kannte nämlich Ausdrücke, die zum Teil von den heute durch Normung festgelegten stark abwichen. Das hier interessierende Gerät zur Aufrechterhaltung eines konstanten Ölstroms heisst heute *Stromregler*, in der Firma nannte man es zunächst «Druckregler», später «Mengenregler». Unter einem *Druckregler* versteht man nämlich heute ein einfacheres Gerät, das nur der Aufrechterhaltung eines konstanten Druckes dient und das im Firmen-Vokabular «Druckhalter» hiess.

Als die Verwirklichung eines rein hydraulischen *Stromreglers* aktuell war, kannte man schon Druckregler gemäss Fig. 23 a, bei denen ein mit dem Prüfzylinder hydraulisch verbundener kleiner Messkolben gegen eine auf das gewünschte Mass vorgespannte Feder drückte und ein vom Zylinder zum Reservoir führendes Ventil sinngemäss beeinflusste: War

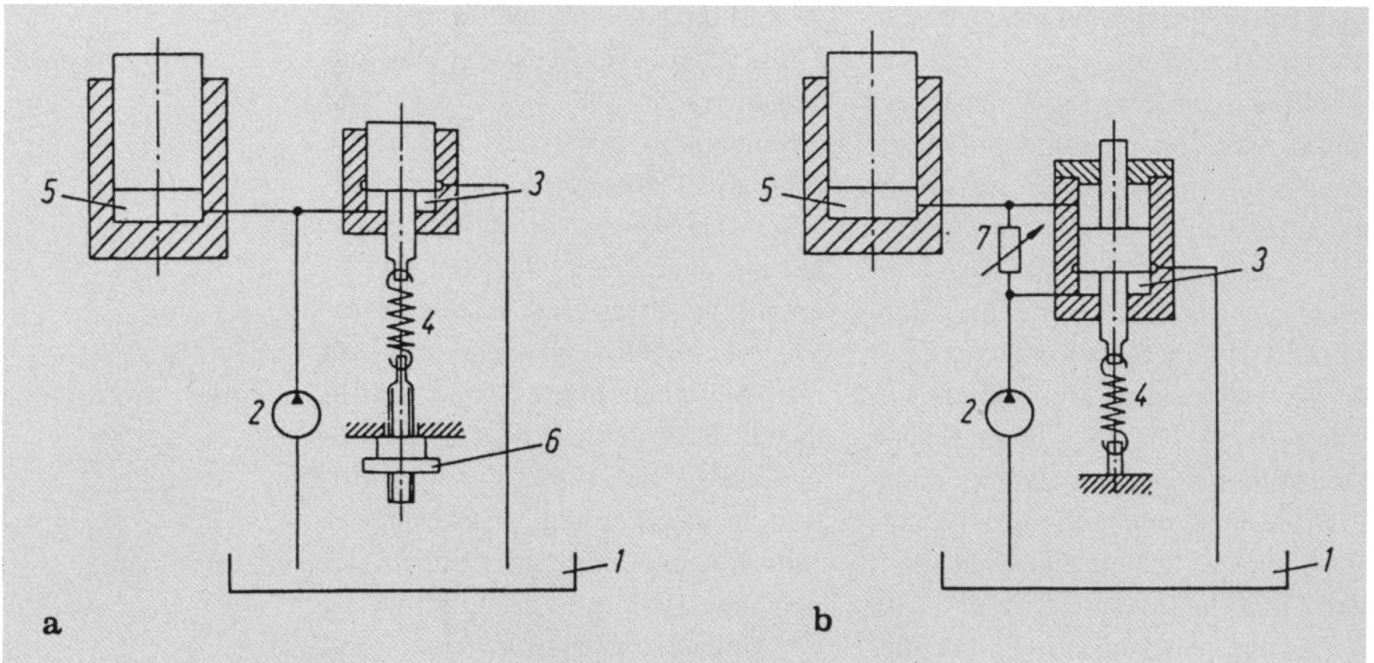


Fig. 23 Schema des Druckreglers (a) und des Stromreglers (b) zur Teilautomation manuell bedienter hydraulischer Antriebe. 1 = Reservoir; 2 = Pumpe; 3 = Zylinder der Ventilautomatik; 4 = Feder; 5 = Zylinder des Prüfsystems (Durchmesser in Wirklichkeit viel grösser als derjenige des Ventils); 6 = Spannvorrichtung für Feder; 7 = einstellbarer hydraulischer Widerstand. Beim Druckregler stellt sich der Rücklauf des Öls zum Reservoir so ein, daß der hydraulische Druck und die Feder gleiche Kräfte auf den Kolben des Zylinders 3 ausüben; beim Stromregler entsteht das Gleichgewicht zwischen der Feder und dem Druckabfall über den hydraulischen Widerstand.

der Druck zu gross, wurde durch Öffnen des Ventils mehr Öl abgelassen, als die Pumpe förderte, und der Druck senkte sich; war der Druck zu klein, stieg er dank Schliessen des Ventils bei dauerndem Ölzufluss von der Pumpe an. Auf diese Weise konnte eine hydraulische Prüfmaschine für Standversuche mit konstanter Kraft eingesetzt werden, eine Aufgabe, der vor allem in Kombination mit erhöhter Temperatur eine stetig wachsende Bedeutung zukam: Der Druckregler markierte einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur universell verwendbaren Prüfmaschine.

Regeltechnische Methoden wurden damals noch nicht routinemässig auf

ölhydraulische Systeme angewendet. Es war also bis zu einem gewissen Grad ein Glücksfall, dass der soeben beschriebene Regelkreis sich als stabil erwies: Angesichts der kleinen im Spiel stehenden Trägheiten und der erheblichen hydraulischen Kräfte reagierte der Regler weit schneller als das von ihm beeinflusste Prüfsystem. Zudem öffnete und schloss sich das Ventil nicht in diskreten Schritten, sondern kontinuierlich, so dass der aus Pumpen- und Ventilfehler resultierende (positive oder negative) Ölfluss etwa proportional der Abweichung vom Sollwert des Prüfdruckes war. Man hatte es mit einem sogenannten Proportionalregler zu tun, einem Typ

also, der sich durch gute Regelstabilität auszeichnet.

Alfred Amslers Idee für einen Stromregler bestand nun darin, dieses Prinzip so zu modifizieren, dass nicht mehr der Solldruck im Prüfsystem mit der Kraft der Vorspannfeder im Gleichgewicht gehalten werden sollte, sondern – unter Verwendung eines doppelt wirkenden Messzylinders – eine dem Ölfluss proportionale Druckdifferenz. Diese wurde durch Einbau eines hydraulischen Widerstandes in die Leitung zwischen Ventil und Prüfzylinder erzeugt (Fig. 23 b).

Der so entstandene Stromregler wurde beim Prüfvorgang (im Gegensatz zum Druckregler) normalerweise nicht sich selbst überlassen. Vielmehr diente er dazu, dem Operateur die Versuchsführung ganz wesentlich zu erleichtern. Übrigens war das Gerät nicht frei von Mängeln. Der hydraulische Widerstand, zur Hauptsache laminar durchflossen, war abhängig von der Viskosität und damit auch von der Temperatur sowie – in geringerem Mass – vom Druck des Öls, so dass die Verwendung einer direkt nach Prüfgeschwindigkeiten geteilten Skala für die Einstellung ein Wunschtraum blieb; an ein Ausregeln rasch auftretender Störphänomene war bei den bescheidenen Pumpenleistungen und Strömungsquerschnitten nicht zu denken; überdies wurde ja lediglich die Relativgeschwindigkeit zwischen Zylinder und Kolben des Prüfsystems einigermaßen konstant gehalten, so dass jede Abweichung von linear-elastischem Verhalten zu Abweichungen von der gewünschten Geschwindigkeit führen musste. Trotzdem gab es über mehrere Jahrzehnte keine bessere Lösung der gestellten Aufgabe, und man hatte gelernt, mit den erwähnten Unvollkommenheiten zu leben.

Auch hier sei kurz auf die *späteren Entwicklungen* eingegangen, die geeignet waren, die auf Druck- und Stromreglern basierende Phase des Prüfmaschinenbaues zu einem Abschluss zu bringen. Einerseits gewannen die lange Zeit im Schatten der Hydraulik stehenden Maschinen mit *elektromechanischem Spindeltrieb* um die Jahrhundertmitte eine zunehmende Bedeutung. Und ein Elektromotor lässt sich direkt durch elektrische, namentlich durch elektronische Mittel regeln. Allerdings blieb der markante Erfolg – der Einführung von Umlaufspindeln zum Trotz – auf relativ kleine Kräfte unterhalb von 500 (meist sogar nur 200) kN beschränkt. So kam die wichtigste Erneuerung von der sogenannten *Servohydraulik* her, einem Antriebskonzept, das sich durch die beiden folgenden Stichworte charakterisieren lässt: Einsatz leistungsfähiger Pumpengruppen (je nach Systemgrösse und Verwendungszweck von einigen kW bis zum MW-Bereich) und Steuerung durch elektronisch betätigte Ventile mit verhältnismässig grossen Öffnungsquerschnitten. Auf diese Weise lassen sich fast beliebige Programme für den zeitlichen Ablauf eines fast beliebig wählbaren Prüfparameters (in erster Linie natürlich Kraft oder Verformung der Probe, letztgenannte entweder örtlich oder integral gemessen) verwirklichen. Insbesondere für weitgehend automatisierte Prüfung ist diese Freiheit der Versuchsführung schlechterdings unerlässlich, in der Bruchmechanik (Griffith, 1920; Heckel, 1970; Irwin, 1957; Rossmann, 1982) zumindest willkommen. Darüber hinaus ist auch Ermüdungsprüfung möglich, da – im Gegensatz zu elektromechanischem Antrieb – Pulsierfrequenzen im Dekahertz-Bereich (mit besonderen Massnahmen auch höhere) erreichbar sind.

Die mit der Entwicklung eines brauchbaren Stromreglers erbrachte Leistung wird durch diese beeindruckenden Möglichkeiten keineswegs geschmälert. Man darf im Gegenteil feststellen, dass es sich beim Stromregler um einen Vorläufer der heutigen Systeme handelte: Die stabile Regelung eines (manuell mitbeeinflussten) nichtstationären Prüfvorganges durch ein hydraulisches Ventil war bereits verwirklicht, und zu einer entscheidenden Erweiterung des Einsatzspektrums fehlte nur die Elektronik. Etwas überspitzt könnte man die Servohydraulik als blitzschnell verstellbaren Hochleistungs-Stromregler mit einem entsprechend rasch reagierenden Operateur bezeichnen. Zudem übertraf die Zuverlässigkeit des Stromreglers angesichts des Fehlens von Schnittstellen zwischen den Arbeitsmedien Öl und Elektrizität selbst das hohe Niveau moderner servohydraulischer Antriebe. Nicht umsonst werden auch heute noch – sofern die gestellten Prüfaufgaben nicht zu anderen Lösungen zwingen – zahlreiche Prüfsysteme mit Druck- und Stromreglern betrieben.

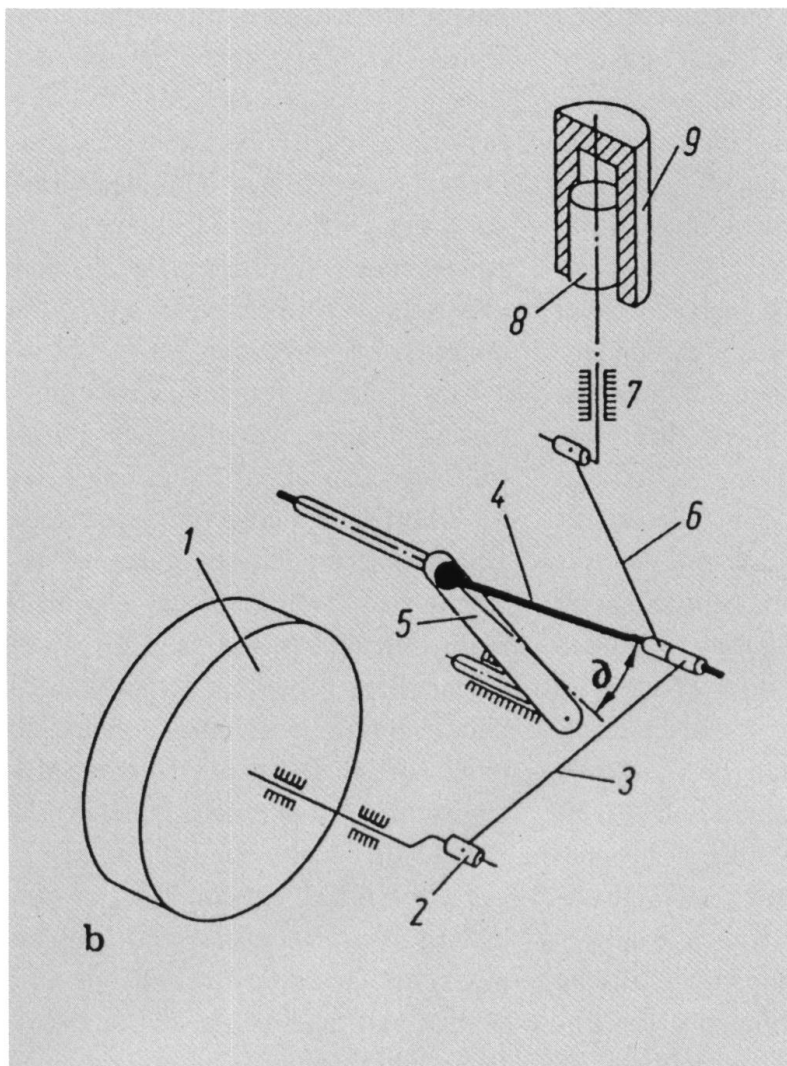
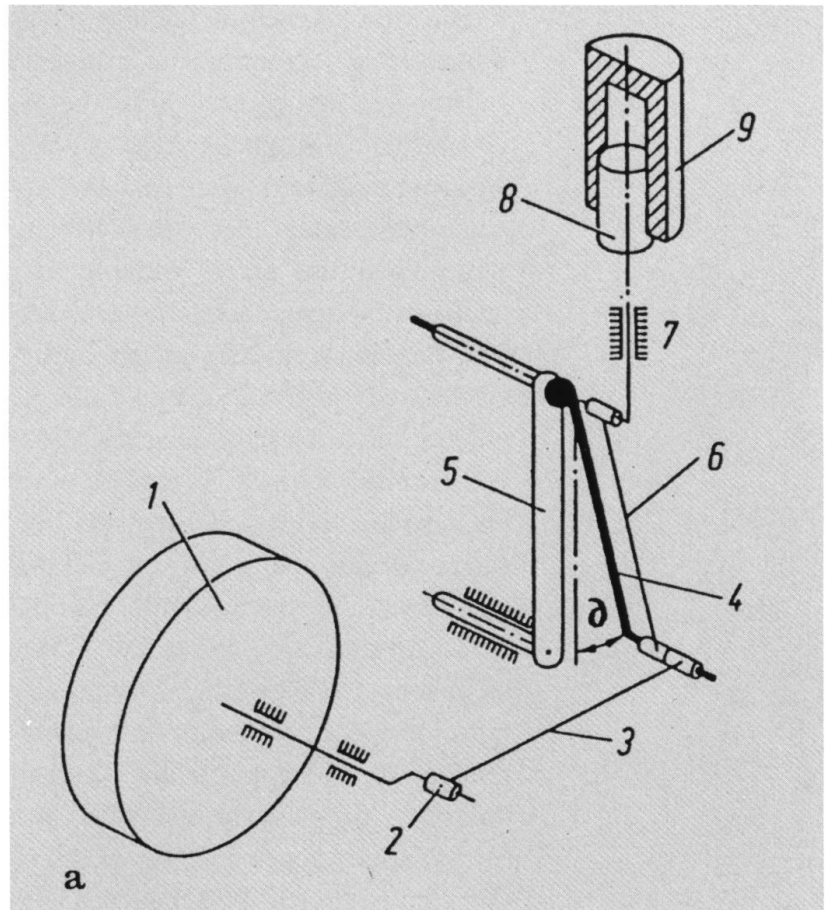
Ermüdungsprüfung gab es zwar schon im neunzehnten Jahrhundert, und einige dieser frühen Versuche haben die Bedeutung klassischer Fortschritte erlangt (Wöhler, 1870). Auf der apparativen Seite handelte es sich aber meist um ad hoc hergestellte Vorrichtungen, und ein ausgedehnter Markt für Pulsiermaschinen bestand noch nicht. Das hing wohl weniger mit den Schwierigkeiten bei deren Konstruktion als mit dem bescheidenen Bedarf der Vor-Automobil- und Vor-Aerospace-Zeit zusammen. Wie dem auch sei, ein Durchbruch auf weltweiter Basis trat erst im frühen zwanzigsten Jahrhundert ein, als hydraulische Prüfmaschinen mit brauchbaren Mitteln für die Erzeugung schwingender

Beanspruchungen (Pulsatoren) zu einem dringenden Bedürfnis wurden. Zwei der originellsten (und auf dem Markt erfolgreichsten) stammten von Alfred Amsler.

Ein *hydraulischer Pulsator* lässt sich im Prinzip nach dem folgenden einfachen Rezept bauen: Man nehme einen hydraulischen Zylinder, dessen Kolben durch einen von einem Elektromotor angetriebenen Kurbeltrieb in hin- und hergehende Bewegung versetzt wird, befestige an der Kurbelwelle ein Schwungrad angemessener Trägheit und schliesse das Ganze hydraulisch an ein passendes Prüfsystem an. Allerdings wäre man mit einem solch rudimentären Pulsator zwei wesentlichen Schwierigkeiten ausgesetzt: Zum einen könnte man bei gegebenen Maschinen- und Probendaten nur die durch das Hubvolumen festgelegte Schwingbreite fahren; zum zweiten müsste man den Antriebsmotor gewaltig überdimensionieren, um den Pulsator unter Überwindung des Widerstandes der Probe zu starten (einmal in Gang gesetzt, hätte der Motor dank dem Schwungrad nur noch die entstehenden Verluste, nicht aber die elastische Verformungsenergie zu decken).

Das zentrale Problem eines funktionstüchtigen hydraulischen Pulsators liegt also in der Schaffung eines im Betrieb beliebig veränderlichen Hubvolumens oder, mit anderen Worten, in der *Modulation des Hubvolumens*. Alfred Amsler fand zwei der elegantesten Lösungen für diese Aufgabe. Beide entstanden innerhalb einer kurzen Zeitspanne (die entsprechenden Typennummern lauteten 131 und 134), waren aber im Funktionsprinzip völlig verschieden, da im einen Fall mit einem einzigen Zylinder gearbeitet wurde, im anderen mit zweien (Alfred J. Amsler & Co., 1926). Die nachfolgenden Kurzbeschreibungen

Fig. 24 Schema des einzylindrigen hydraulischen Pulsators mit variablem Kolbenhub und Schwingengetriebe. a: Nullstellung; b: Pulsierstellung. 1 = Schwungrad; 2 = Kurbel; 3 = Kurbelpleuel; 4 = Schwinge; 5 = Schwingenlagerung; 6 = Kolbenpleuel (man beachte in a die koaxiale Lage des oberen Endes mit dem Schwingenlager); 7 = Kreuzkopflagerung; 8 = Kolben; 9 = Zylinder. ϑ = Pulsierwinkel der Schwinge (man beachte dessen Veränderung in Lage und Grösse).



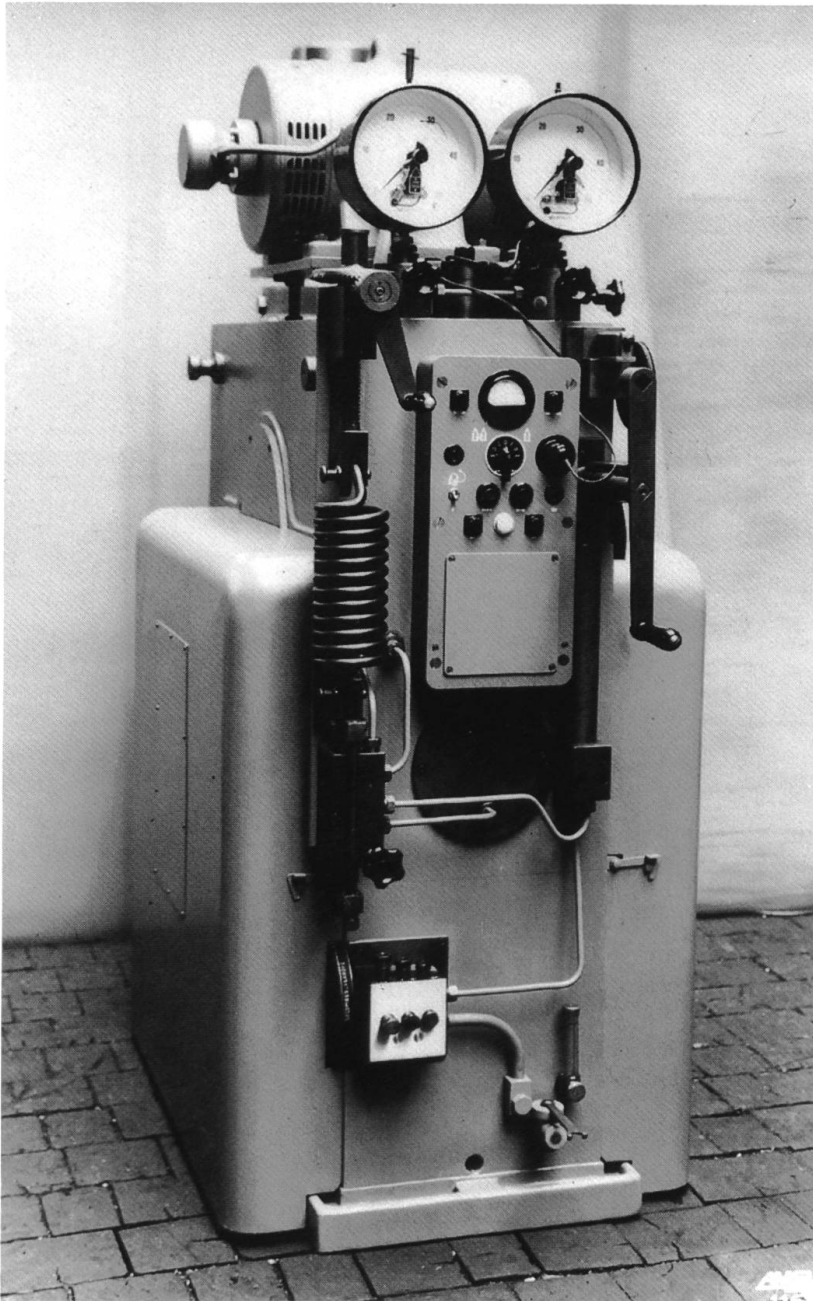


Fig. 25 Einzylindriger hydraulischer Pulsator gemäss Fig. 24. Im Unterteil ist die Mechanik samt zwei Schwungrädern untergebracht. Auf dem Gehäuse sichtbar der Antriebsmotor und die beiden Manometer, die mit Hilfe spezieller Ventile Minimal- und Maximaldruck angeben. Ganz vorne links Druckregler zur Konstanthaltung des Minimaldrucks, rechts Kurbel zur Wahl des Pulsierolumens (Verstellung der Schwinge über Schneckengetriebe).

gen sind einmal mehr mit entsprechenden Anpassungen dem hier verschiedentlich zitierten Buch des Verfassers (1992) entnommen.

«Bei einer *einzylindrigen Ausführung* (Fig. 24, 25) muß offensichtlich der Kolbenhub einstellbar sein. Zu diesem Zweck wirkt das liegende Kurbelpleuel nicht unmittelbar auf den Kolben, sondern setzt eine zweite Kurbel mit wesentlich größerem Kurbelradius in schwingende Bewegung. An dieser «Schwinge» ist das senkrecht stehende Kolbenpleuel angeschlossen. Die Achse der Schwinge ist auf einer Kreisbahn verstellbar, deren Achse parallel zur Kurbelwelle liegt. Der Radius dieser Kreisbahn stimmt sowohl mit demjenigen der Schwinge wie auch mit der Länge des Kolbenpleuels überein. In ihrer Nullstellung (Fig. 24a) fällt die Achse der Schwinge mit der oberen Lagerung des Kolbenpleuels zusammen. Schwinge und Pleuel schwingen «blind» um diese Achse, und es entsteht kein Kolbenhub. Bei Auslenkung der Schwingenachse (Fig. 24 b) fällt diese Übereinstimmung der Achsen dahin, die Schwinge steht während ihrer ganzen Hin-und-Herbewegung schräg, so daß die untere Lagerstelle des Kolbenpleuels (und mit ihr das ganze Pleuel samt dem Kolben) eine senkrechte Schwingbewegung ausführt.»

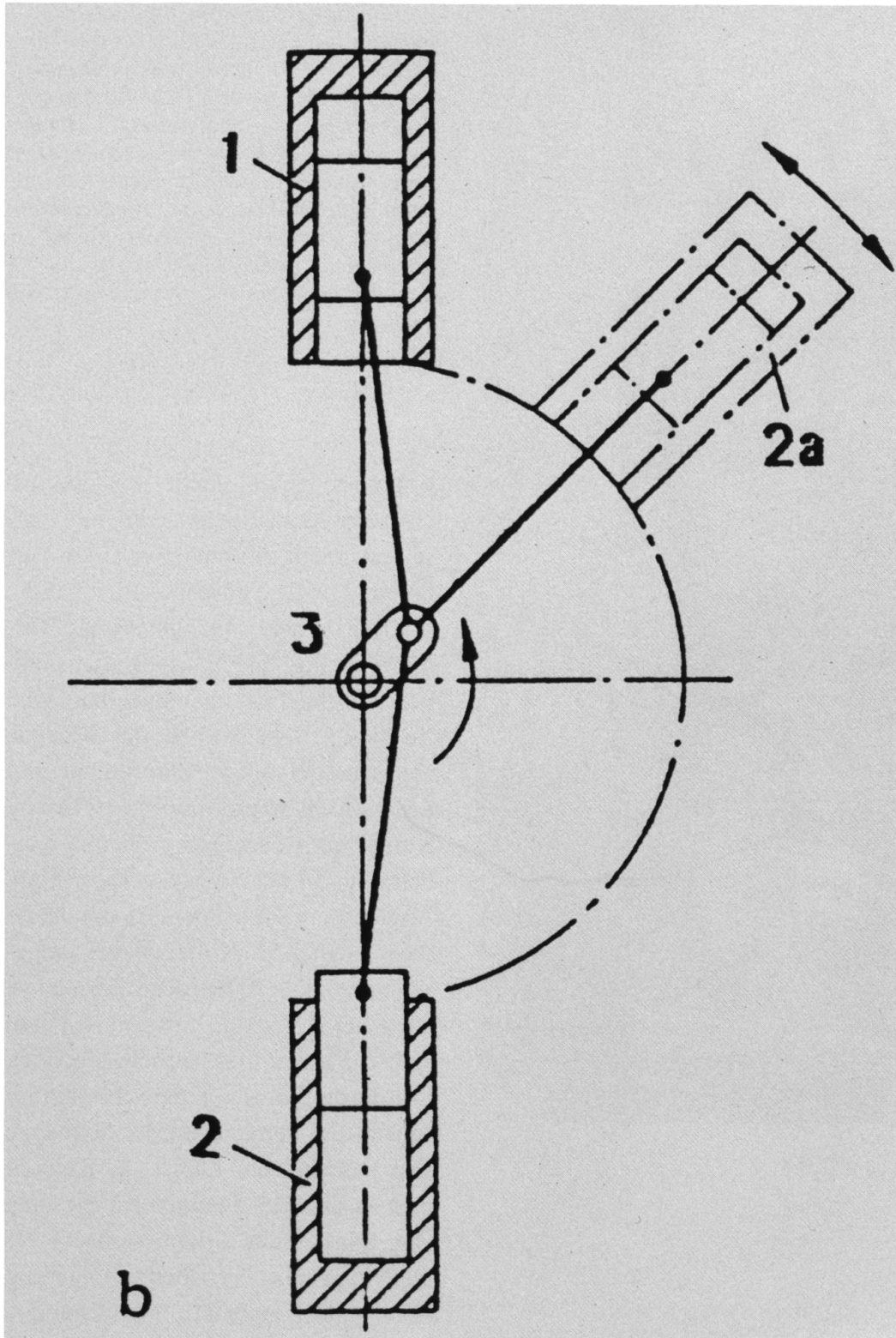


Fig. 26 Schema des zweizylindrigen Pulsators. 1 = ortsfester Zylinder; 2 = schwenkbarer Zylinder (mit 1 hydraulisch gekoppelt); 3 = Kurbel. Zylinder 2 ist in Nullstellung gezeichnet; 2a = derselbe Zylinder in Pulsierstellung (Verstellung durch Schneckengetriebe).

So originell diese Lösung für die stufenlose Modulation des Hubvolumens auch war, sie wurde in der Erfindungshöhe wohl noch übertroffen durch die zweizylindrige Ausführung (Fig. 26, 27). Ehe aber auf deren Aufbau eingegangen wird, sei daran erinnert, dass in der Elektrotechnik die Phasenlage periodischer (sinus- oder impulsförmiger) Phänomene in grosser Mannigfaltigkeit auftritt, sowohl

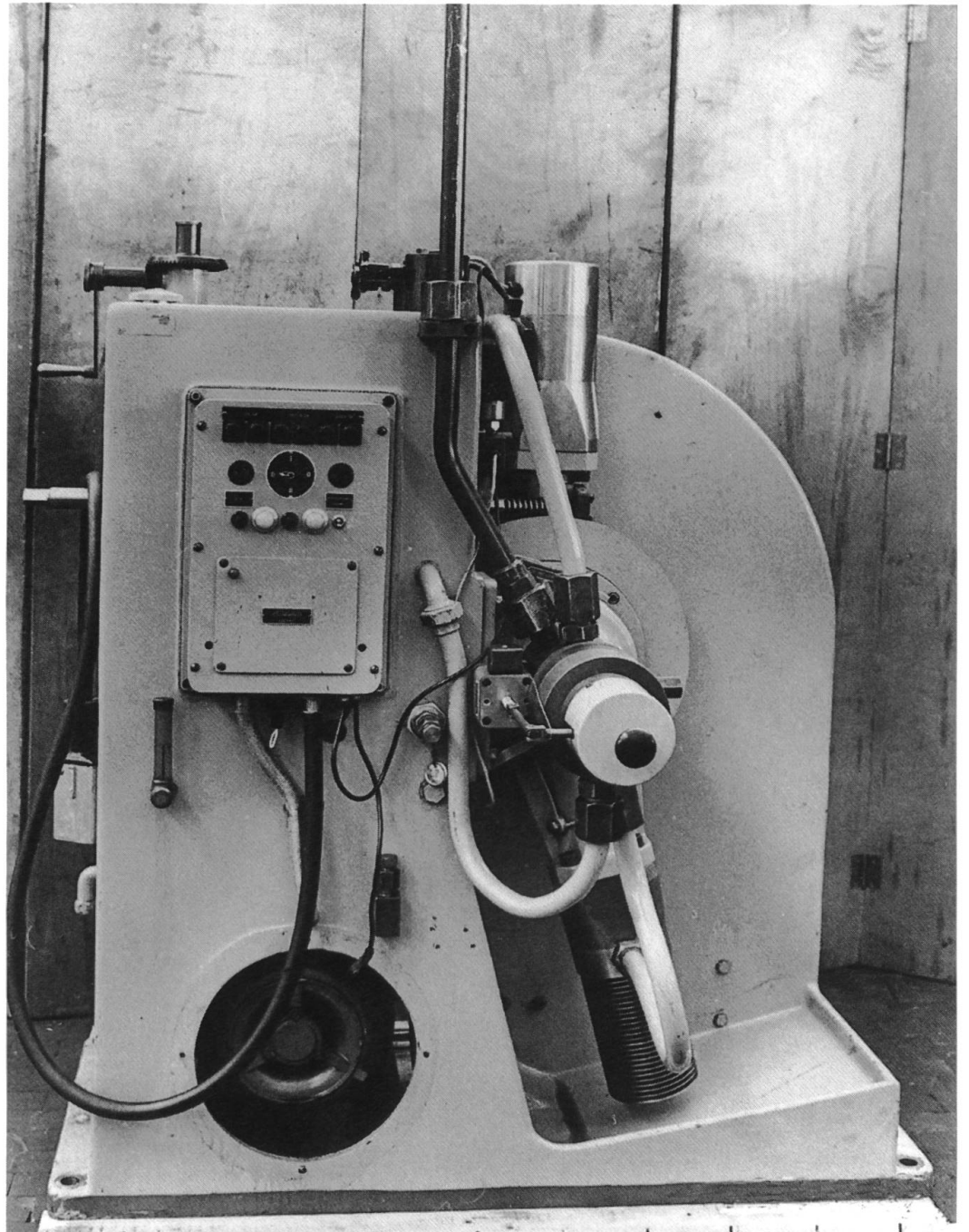


Fig. 27 Zweizylindriger hydraulischer Pulsator gemäss Fig. 26. Oben der feste, unten der schwenkbare Zylinder. Dahinter Verschalung des Schwungrades. Links unten Antriebsmotor.

störend (etwa bei der Energieübertragung) als auch nützlich (etwa bei der Signalmodulation). In die Hydraulik dürfte aber erst Alfred Amsler die Ausnützung einer Phasendifferenz eingeführt haben.

Das Grundprinzip ist, wie schon die Kürze des nun folgenden Zitates zeigt, verblüffend einfach (Fig. 26): «Zwei hydraulisch gekoppelte Zylinder gleichen Hubvolumens werden von einer Kurbelkröpfung angetrieben. Einer ist ortsfest, der andere um die Kurbelwellenachse schwenkbar. So ist zwischen den beiden Zylindern eine hydraulische Phasendifferenz von 0 bis π möglich.» Im Gegensatz zur typischen *Amplitudenmodulation* der einzylindrigen Ausführung liegt also eine *Phasenmodulation* vor, die ein Gesamthubvolumen zwischen 0 und der Summe der beiden beteiligten Volumina gestattet.

Die Frage liegt nahe, weshalb Alfred Amsler für ein und dasselbe Problem *zwei grundverschiedene Lösungen* kurz nacheinander in die Praxis umsetzte. Die für mathematische Instrumente einigermaßen plausible Annahme, der Grund liege in der Innovationsfreude als *l'art pour l'art*, scheint hier nicht sehr realistisch: Schliesslich handelte es sich um recht kostspielige Maschinen, die nicht zum spielerischen Abgehen von Bewährtem einluden. Zwei Mutmassungen seien hier zur Sprache gebracht: Zum einen mag die Idee wegleitend gewesen sein, auf einem noch wenig bekannten Sektor zunächst zwei Varianten zu erproben, um sich anschliessend auf die erfolgreichere festzulegen; zum anderen ist es denkbar, dass die Ausführung mit einem einzigen festen Zylinder als robuster und damit als besser geeignet für grössere Kaliber empfunden wurde (in der Tat wurden zweizylindrige Pulsatoren ausschliesslich für kleine Pulsierleistungen gebaut). Der Wahrheitsgehalt dieser – einander keineswegs ausschliessenden – Vermutungen lässt sich heute wohl kaum mehr nachprüfen. Richtig ist aber, dass beide Bauarten sich vorzüglich bewährten (dem Verfasser sind von beiden Exemplare mit Betriebsdauern von vier und mehr Jahrzehnten bekannt) und dass beide lange Zeit parallel zueinander gebaut wurden. Das schliessliche Abgehen vom zweizylindrigen Modell war wohl in erster Linie einer nach Alfred Amslers Tod erfolgten Veränderung der Marktlage zuzuschreiben: Einerseits entstanden in der Firma selber hochfrequente Resonanzprüfmaschinen mit elektronischer Steuerung, die einen erheblichen Teil des Marktes für kleinere Kaliber abdeckten (Russenberger, 1946), andererseits machte sich bei den mittleren Frequenzen ein zunehmender Trend zu grossen Pulsier-

leistungen bemerkbar. Der phasenmodulierte Pulsator ist also keineswegs grundsätzlichen technischen Mängeln, sondern äusseren Umständen zum Opfer gefallen. Und müsste der Verfasser heute einen neuen hydraulischen Pulsator mittlerer Frequenz konstruieren, er würde zuerst dieses Konzept ins Auge fassen.

Die letzte Bemerkung hat mehr als nur akademische Bedeutung. Zwar hat die oben bereits erwähnte Servohydraulik auf ihrem Siegeszug nicht nur primitivere Steuerungen, sondern auch den hydraulischen Pulsator vollständig vom Markt verdrängt. Man sollte aber zwei Tatsachen nicht aus den Augen lassen: Einerseits werden servohydraulische Prüfsysteme, sofern für Ermüdungsarbeit eingesetzt, in vielen Fällen fast oder ganz ausschliesslich für sogenannte *Einstufenversuche* mit konstanten Schwingbreiten verwendet, andererseits dauern Ermüdungsversuche lange (bei einer für grosse Proben charakteristischen Frequenz von 5 bis 10 Hz etwa eine halbe bis eine ganze Arbeitswoche für die klassische Prüfung über 2 Millionen Lastwechsel), und Servoantriebe zeichnen sich durch einen hohen *Energiebedarf* aus, was natürlich bei grossen Ausführungen besonders ins Gewicht fällt. Pulsatoren der beschriebenen Bauweisen benötigen, wie schon erwähnt, nur die zur Deckung der Verluste erforderliche Energie, während die weitaus grössere elastische Verformungsenergie der Probe bei jedem Belastungshub aus dem Schwungrad in die Probe gebracht und beim Entlastungshub wieder in das Schwungrad zurückbefördert wird. So ist es nicht ganz auszuschliessen, dass in einem Umfeld zunehmenden Energiebewusstseins (und steigender Energiekosten) der Pulsator eine sinnvolle Renaissance erleben könnte.

Schlusswort

Vergleicht man das tatsächlich geleistete Werk Jakob und Alfred Amslers mit den hier dargelegten Beispielen, so stellt man eine deutliche Diskrepanz fest. Zahllose konstruktive Ideen und schöpferische Konzepte wurden links liegengelassen, ganze Gruppen von Maschinen und Apparaten blieben ungenannt, und keine der erwähnten Schöpfungen (etwa eine Prüfmaschine) wurde bis in ihre Einzelheiten beschrieben.

Der Verfasser ist sich dieser Mängel seiner Studie voll und bewusst. Trotzdem glaubt er, den richtigen Weg für die Würdigung der beiden Schaffhaußer Industripioniere beschritten zu haben. Ein mehr oder weniger vollständiger Werkkatalog hätte vielleicht seinen historischen Wert. Im Rahmen einer im Umfang begrenzten Schrift enthielte er aber nur knappe Hinweise auf kreative Ideen, und der nicht spezialisierte Leser hätte Mühe, aus einer langen Aufzählung von Produkten mit sehr verschiedenem Erfindungsniveau diejenigen herauszufinden, die dem Stand der Technik ihrer Zeit in besonderem Masse voraus waren. Und gar das Herausgreifen einer noch so wichtigen Gruppe dieser Produkte zwecks genauer Beschreibung hätte der vorliegenden Arbeit zwar den Charakter eines Lehrbuches, nicht aber dessen umfassende Breite vermittelt.

So war ohne Zweifel der Versuch gerechtfertigt, aus dem Schaffen der beiden Amsler die Sternstunden herauszusuchen, in denen wirklich Neues und über lange Zeit Wirksames Form annahm. Und gerechtfertigt war dieser Versuch nicht nur wegen der Anziehungskraft solcher Höhepunkte auf den technisch Interessierten. Vielmehr waren es eben die damit verknüpften Ideen, die dem industriellen Erfolg

immer wieder Pate standen: Ohne die Erfindung des Planimeters hätte die Firmengründung nicht stattgefunden; ohne den klaren Blick für die Möglichkeiten des eingeschliffenen Kolbens wäre die nachfolgende Perfektionierung von Prüfgeräten nicht in Gang gekommen; ohne das Erkennen des Zusammenspiels unter den Elementen einer Integrieranlage sowie zwischen diesen und einer Messhydraulik wäre das Konzept eines leistungsfähigen Dynamometerwagens nicht geboren worden. Mit einem Wort: Minuziöse technische Kleinarbeit und kaufmännisches Geschick, für manche Unternehmen als Garanten industriellen Erfolges ausreichend, hätten im vorliegenden Fall nicht genügt, wäre nicht in entscheidenden Augenblicken der Funke einer schöpferischen Eingebung zur treibenden Kraft geworden.

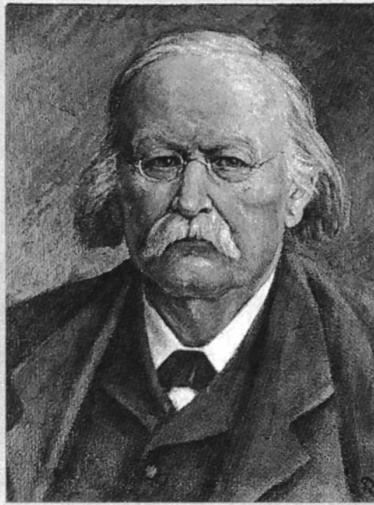
Edison soll behauptet haben, zum Erfinden brauche es zwei Prozent Inspiration und achtundneunzig Prozent Transpiration. Jeder erfolgreiche Ingenieur wird ihm recht geben. Er wird sich zugleich aber in Erinnerung rufen, dass die achtundneunzig Prozent nutzlos bleiben können, wenn die zwei fehlen.

Amsler-Original-Planimeter

im Jahre 1854 von Professor J. Amsler-Laffon erfunden und auf Grund mehr als 70jährig. Erfahrungen und erfolgreicher, unermüdlicher Tätigkeit der

Amsler-Werke
für
Präzisions-Mechanik

verbessert und weiter aus-
gebaut.



Professor J. Amsler-Laffon †

Das Amsler-Planimeter ist das vollkommenste Instrument zur raschen und genauen Ermittlung des Flächen-Inhaltes beliebiger ebener Figuren, durch Umfahren des Umfanges der Figur mit einem Fahrstift.

Die Ablesung des Zählwerkes der Meßrolle, multipliziert mit einem einfachen Faktor, ergibt den Flächeninhalt der Figur in beliebigen Maßeinheiten und Maßstäben, je nach Ausführung des Instrumentes und Angabe des Bestellers.

70,000 Amsler-Planimeter im Gebrauch

Hauptmerkmale der Amsler-Planimeter:

- Einfachheit der Konstruktion und Handhabung.
- Schöne und exakte, feinmechanische Ausführung.
- Dauernd genaue, verlässliche Resultate.
- Praktische und gleichzeitig elegante Verpackung.

Für die Güte, Dauerhaftigkeit und genaue Eichung jeden Instrumentes wird Garantie geleistet. Jedem Planimeter wird eine gedruckte, ausführliche Gebrauchsanleitung beigegeben.

Sämtliche Amsler-Original-Planimeter sind mit dem Namenszug des Erfinders versehen:

Alle Abnehmer, die auf ein gutes und zuverlässiges Planimeter, wie sie die Original-Marke Amsler darstellt, Wert legen, werden dringend ersucht, auf diese Schutzmarke zu achten. Vor Nachahmungen wird gleichzeitig gewarnt.

Neben den nachfolgend abgebildeten und beschriebenen Amsler-Polar-, Linear- und Radialplanimetern liefern die Amsler-Werke:

Amsler-Integratoren, zum Messen von Flächeninhalt, statischem Moment und Trägheitsmoment, sowie der Trägheitsmomente von Rotationskörpern.

Amsler-Kurvimeter, zur genauen Längenmessung von kleinen Kurven, wie Schriftzüge oder für hirnanatomische Untersuchungen.

Amsler-Hydrometrische Apparate (Flügel u. s. f.), zum Messen der Wassergeschwindigkeit in Bächen, Kanälen und Flüssen.

Amsler-Selbstschreibende Pegel zur fortlaufenden Aufzeichnung der Veränderung des Wasserstandes.

Amsler-Fernschreibpegel und **Integrierende Pegel**.

Amsler-Spezial-Meßinstrumente (Einflußlinienzeichner durchlaufender Balken, System Colonnetti; Zentrator und Koordinator für kriegstechnische Zwecke).

Amsler-Materialprüfungsmaschinen, für die verschiedensten Zwecke.

(Spezial-Prospekte bezw. Kataloge stehen Interessenten gerne zur Verfügung.)

Aus einem Firmenkatalog

Die Firmengeschichte

Das genaue Datum der Gründung der Firma Amsler ist unbekannt und wird es wohl auch bleiben. Im Unterschied zu anderen industriellen Gründungen aus der Mitte des letzten Jahrhunderts, bei denen von Anfang an unter Einsatz entsprechender finanzieller Mittel auf den Ausbau eines grösseren Unternehmens hin tendiert wurde, blieb die Firma in ihren Anfängen beinahe unbemerkt. Irgendwelche Urkunden oder sonstige Aufzeichnungen sind nicht vorhanden, weder über die Gründung noch über die unmittelbare Weiterentwicklung.

Die 1854 erfolgte Einrichtung einer Werkstätte im Haus zur Stokarburg (heute Vorstadt Nr. 10) wird als Gründungsdatum der Firma betrachtet.



Es wäre falsch, diesen Umstand bloss einem blinden Zufall zuschreiben zu wollen. Die tiefere Begründung liegt wohl darin, dass die Firma Amsler sowohl zu Beginn ihres Bestehens als auch später derart mit zwei überraschenden Erfinderpersönlichkeiten verknüpft war, dass ihre Entwicklung weitgehend mit der Lebensgeschichte dieser beiden Persönlichkeiten zusammenfiel und demzufolge für firmengeschichtliche Aufzeichnungen nie ein nennenswertes Bedürfnis vorlag.

Einrichtung einer Werkstätte

Das Jahr der Erfindung des Polarplanimeters ergibt sich aus einer von Jakob Amsler-Laffon im Jahre 1856 selbst verfassten Abhandlung: «Über die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, der statischen Momente und der Trägheitsmomente ebener Figuren insbesondere über einen neuen Planimeter», in der er berichtet, dass ihm «vor zwei Jahren eine durch ihre Einfachheit überraschende Auflösung» der in der erwähnten Schrift besprochenen Probleme gelungen sei. Die unmittelbar auf seine Erfindung noch im Jahre 1854 folgende Einrichtung einer Werkstätte in seiner Wohnung im Haus zur Stokarburg an der Vorstadt (heute Vorstadt Nr. 10) muss als die Geburtsstunde der Firma betrachtet werden.

Das junge Unternehmen scheint sich rasch entwickelt zu haben. Die Professur am Gymnasium behielt Jakob Amsler-Laffon zwar noch eine Zeitlang bei, da nicht so rasch ein passender Ersatz gefunden werden konnte. Aber schon Ende 1858 sah er

sich genötigt, die Lehrstelle aufzugeben, um sich ganz der Präzisionsmechanik zu widmen. Über den nur ungern gesehenen Rücktritt liess sich der Jahresbericht 1858/59 des Gymnasiums mit folgenden Worten aus:

«. . . Die zweite Veränderung in unserem Lehrpersonal ist dadurch herbeigeführt worden, dass Herr Prof. Amsler bald nach Neujahr sich entschloss, seine Stelle niederzulegen. Hierzu bewogen wurde er dadurch, dass seine mechanische Werkstatt in neuester Zeit sich so sehr erweitert hatte, dass sich deren Leitung fernerhin unmöglich mehr mit seinem Amte vereinigen liess. Es war ihm somit die Alternative gestellt, entweder seine Werkstatt oder seine Lehrstelle aufzugeben. Durch ökonomische Rücksichten bestimmt, entschied er sich zu letzterem. Dass er dies getan, wird ihm, dem Familienvater, kein billig Denkender verargen können; aber vom Standpunkte der Schule aus müssen wir es sehr bedauern, dass seine Wahl so ausgefallen ist. . . .»

Die anfängliche Werkstatt in der Vorstadt war im übrigen bald zu klein geworden, so dass Jakob Amsler-Laffon mit seinen Arbeitern in grössere Arbeitsräumlichkeiten, zunächst ins Haus zum Rosengarten an der Rheinstrasse (heute Rheinstrasse Nr. 37) und dann – nachdem Preussen und Russ-

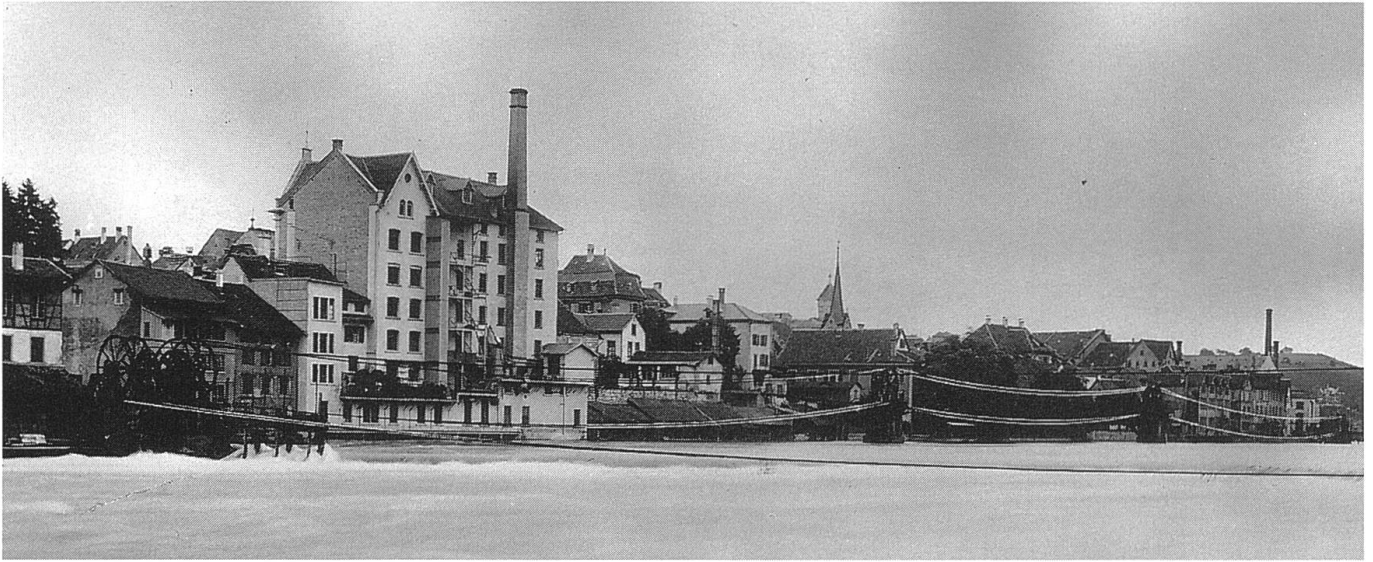
land das neue Planimeter für ihre Katastervermessungen amtlich eingeführt hatten – ins Haus am Steckenplatz beim Salzstadel übersiedeln musste. Am letzteren Ort befasste sich Amsler-Laffon vorübergehend auch mit der Fabrikation von Metallpatronen anstatt der bis dahin gebräuchlichen Papierhülsen, und als sein Vorschlag, die alten Vorderladergewehre der schweizerischen Armee zwecks Gebrauchs von Metallpatronen in Hinterlader abzuändern, die Zustimmung der Militärbehörden fand, wurde unter anderen auch sein Betrieb mit den Umänderungsarbeiten an den alten Gewehren betraut. Zur gleichen Zeit stellte Jakob Amsler-Laffon im Auftrage der Eidgenossenschaft Patroneneinfüllmaschinen und Pulverpressen her. Nach wenigen Jahren schon wurden die Werkstätten abermals verlegt, und zwar in das im Jahre 1869 neu erworbene Haus an der Rheinstrasse (heute Rheinstrasse Nr. 12), wo der Betrieb an die Seiltransmission des im Jahre 1866 fertiggestellten Rheinwasserwerkes angeschlossen werden konnte.

Eintritt des Sohnes Alfred und neue Entwicklungen

Jakob Amsler-Laffons reger Geist brachte stets neue Ideen hervor: Zum Planimeter hatten sich schon bald eine



Altes Fabrikgebäude an der Rheinstrasse



Das Interessante an diesem Bild sind die Transmissionen aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, welche die Maschinen in den Fabriken am rechten Rheinufer antrieben, was zum Aufschwung der Industrie in Schaffhausen beitrug.

Anzahl anderer feinmechanischer Geräte gesellt, wobei das Hauptgewicht zunächst immer noch auf den mathematischen Instrumenten ruhte, die Jakob Amsler-Laffon in stets origineller Abwandlung der Grundidee der Planimeter- oder Integrierrolle für alle möglichen Zwecke erfand. Als im Jahre 1885 der älteste seiner drei Söhne, Dr. Alfred Amsler (1857–1940), ins väterliche Geschäft eintrat, wurden neben Planimetern und Integratoren bereits hydrometrische Messinstrumente wie Gefällmesser, Woltmann-Flügel, Pitotrohre und Pegel, ferner Brückeneinsenkungsmessapparate, Polsternagelpressen, Längen- und Kreisteilmaschinen, Bleirohrpressen und vieles andere mehr hergestellt. Dies alles bei einer Belegschaft von insgesamt 15 Mann! Hauptabnehmerin für alle diese Fabrikate war die Schweiz; ein beträchtli-

cher Teil der Produktion ging aber schon damals ins Ausland nach Frankreich, Österreich, England, Italien, Russland, Deutschland und Dänemark.

Die achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts sollten nicht nur durch den Eintritt von Alfred Amsler eine ganz besondere Bedeutung für die Firma erlangen. In jener Zeit entstand auch die hydraulische Materialprüfmaschine, die dem Unternehmen zum Aufstieg verhalf.

Bis Ende des Jahres 1905 hatten bereits 500 Prüfmaschinen aller Art die Werkstätten der Firma verlassen. Die Anzahl der Arbeiter und Lehrlinge war von den erwähnten 15 im Jahre 1885 auf 33 im Jahre 1890 und 53 im Jahre 1900 angestiegen. Wie durch das erste Fabrikgesetz von 1877 vorgeschrieben, richtete sich schon damals das Verhältnis zwischen Arbeitern und

Briefkopf aus den 1880er Jahren



Geschäftsinhabern nach einer Fabrikordnung. In derjenigen von 1890 finden sich folgende Bestimmungen:

«Die tägliche Arbeitszeit beträgt in der Regel 10 Stunden, vor Sonntagen und gesetzlichen Feiertagen 9½ Stunden.

Die Arbeitszeit fällt in die Zeit zwischen morgens 6 Uhr und abends 7 Uhr und wird jeweilen in den Arbeitsräumen angeschlagen.

Vormittags von 9–9¼ Uhr darf selbst mitgebrachte Nahrung genommen werden, ohne jedoch die Arbeit zu unterbrechen.

Die Öfen dürfen nur von den hiezu beauftragten Arbeitern geheizt werden und sollen nach Anordnung der Vorgesetzten reguliert werden.»

Die Energieversorgung des Betriebes erfolgte bis um die Jahrhundertwende durch das städtische Wasserwerk. Wenn dieses wegen Reparaturen stillstand, wurde die nötige Kraft von einem der Werkstatt angeschlossenen Petrolmotor erzeugt.

Es muss für Jakob Amsler-Laffon, dessen Augenlicht damals abzunehmen begann, eine tiefe Befriedigung

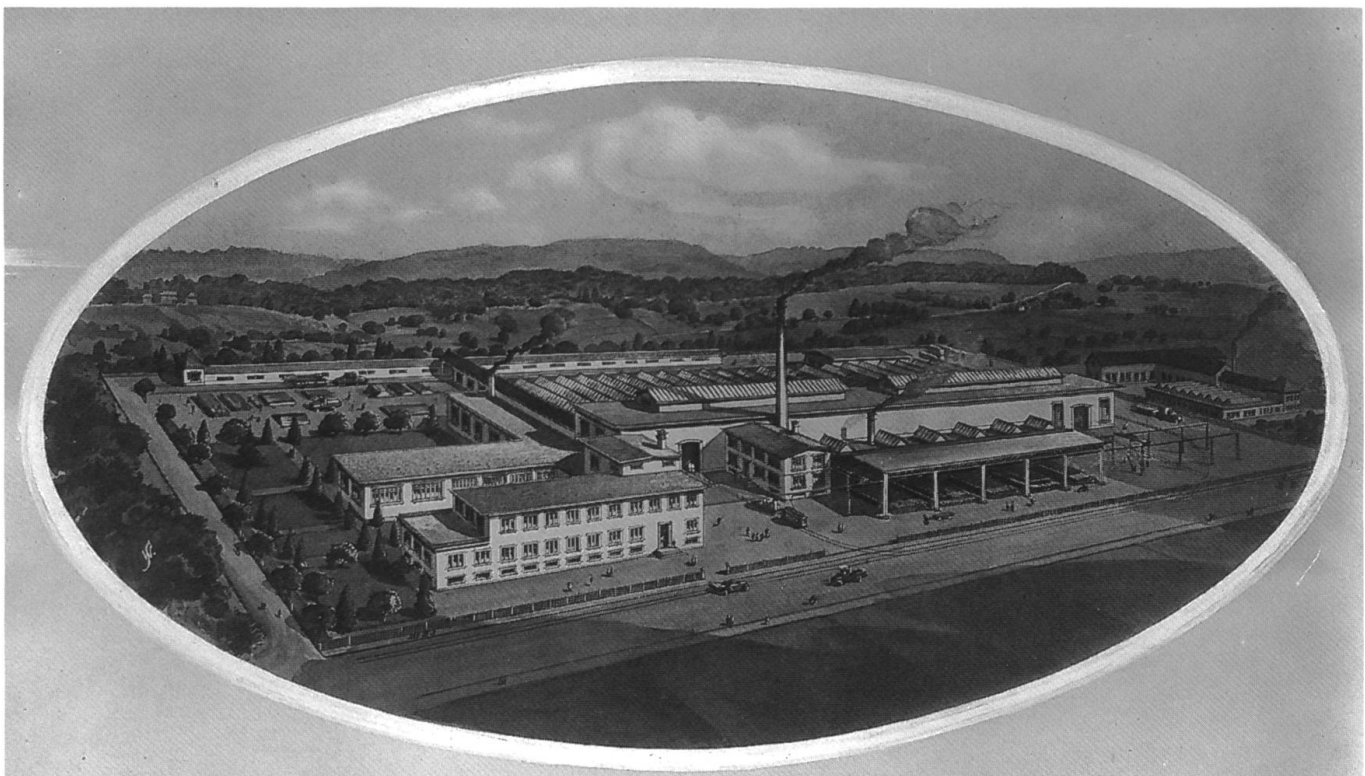
bedeutet haben, in seinem Sohne Alfred, der um die Jahrhundertwende die Leitung des Betriebes übernahm, einen verwandten Geist zu finden, dessen schöpferische Anlagen zu mehr berufen schienen als zur blossen Fortführung bestehender Gedanken.

Neue Fabrikanlage im Ebnat

Hand in Hand mit der technischen Entwicklung ging das Wachstum des Betriebes unter der Leitung von Alfred Amsler ständig weiter. Bis 1911 war die Arbeiterzahl auf 73 angestiegen. Zwar waren schon in den neunziger Jahren und zuletzt noch 1906 die bisherigen Werkstätten beträchtlich erweitert worden. Da aber auch dies der ständig grösser werdenden Platznot auf die Dauer nicht abzuhelfen vermochte, errichtete die Firma im Jahre 1911 im neu erschlossenen Industriequartier auf dem Ebnat die heute noch bestehenden, wenn auch veränderten Fabrik- und Verwaltungsgebäude.

Die Zahl der Arbeiter und Lehrlinge im neuen Werk betrug 128. Als Nachfolger von Gottlieb Schick, der 1909 sein 50. Dienstjubiläum hatte

Die neue Fabrikanlage von 1911 im Ebnat



feiern können, war schon früher Fritz Gnädinger zum Betriebsleiter ernannt worden.

1912 war das Gründungsjahr der betriebseigenen Krankenkasse. Als Anfangskapital schenkten Alfred Amsler und sein Bruder Oberst Albert Amsler (1863–1918) [der sich zu jener Zeit hauptsächlich mit der kaufmännischen Leitung und der Fabrikation der feinmechanischen Instrumente befasste] Fr. 2000.–. Für den Beitrag von 30 Rappen pro Zahntag gewährten die Kassenstatuten den Lehrlingen volle Arzt- und Arzneikostenvergütung und bei Arbeitsunfähigkeit eine Lohnentschädigung von 50 Rappen pro Tag. Für die Arbeiter war ein Beitrag von 2 Prozent vom Normalzahntag für ebenfalls volle Vergütung der Kosten und bei Arbeitsunfähigkeit der Hälfte des ausfallenden Lohnverdienstes festgesetzt. Mit Hilfe von wiederholten Schenkungen seitens der Firma im Betrage von rund Fr. 140 000.– entwickelte sich die Krankenkasse zu einer kräftigen Institution.

Seit 1913 entrichtete die Firma ihren Arbeitern Ferienentschädigungen, und 1914 wurden die ersten Militärdienstentschädigungen ausbezahlt. Der Erste Weltkrieg 1914–1918 vermochte dem sich ständig entwickelnden Unternehmen nicht viel anzuhaben. Wohl sank die Arbeiterzahl im Jahre 1915 auf 95, aber schon 1916 betrug sie wiederum 113 und befand sich bei Kriegsende auf dem Vorkriegsstand von 130.

Das Unternehmen, welches bis Ende 1888 als Einzelfirma unter dem Namen von Jakob Amsler-Laffon, von da an bis 1912 unter der Bezeichnung «J. Amsler-Laffon & Sohn» von Jakob Amsler-Laffon und Alfred Amsler als Kollektivgesellschaftern und seit 1912 von Alfred Amsler und Albert Amsler – ebenfalls als Kollektivgesellschaftern – unter der Firma «Gebrüder

Amsler» geführt worden war, wurde, da Albert Amsler im Jahre 1918 gestorben war und um den gesetzlichen Vorschriften Genüge zu leisten, im Jahre 1920 in eine Kommanditgesellschaft mit der Firmenbezeichnung «Alfred J. Amsler & Co.» umgewandelt. Unbeschränkt haftender Gesellschafter war Alfred Amsler, Kommanditär dessen ältester Sohn Dr. W. Amsler (1889–1982), der noch im selben Jahr seine Tätigkeit in der Firma aufnahm.

Als Nachfolger Albert Amslers wurde Johann Jakob Keller zum kaufmännischen Leiter des Unternehmens ernannt. Betriebsleiter anstelle des 1918 verstorbenen Fritz Gnädinger wurde Max Blanz, der bisherige Chef des technischen Büros, dem im Laufe der Zeit Dr. Francis Dubois und Paul Kratzer nachfolgten; die Leitung des technischen Büros lag im übrigen stets in den Händen von Dr. Alfred Amsler selbst.

Weiterentwicklung und Erweiterung

Die Jahre von 1920 bis 1930 standen im Zeichen einer anfänglich ruhigen, dann immer ungestümeren Weiterentwicklung und Erweiterung des Unternehmens, was sich recht anschaulich in den Zahlen der jeweiligen im Betrieb beschäftigten Personen ausdrückt. Hatte die Firma im Geschäftsjahr 1919/20 insgesamt 122 Arbeiter und Lehrlinge beschäftigt, so waren es 1925/26 schon deren 165, während 1929/30 – zur Zeit des Dreischichtenbetriebes – die Zahl von 304 Arbeitern und Lehrlingen erreicht wurde.

Der Ausbau des Exportes machte grosse Fortschritte. Vor allem in Übersee wurden neue Märkte erschlossen, und bisher nur unregelmässig belieferte Gebiete wie Nord- und Südamerika, Australien, Indonesien, China,

Japan und Indien entwickelten sich zu immer wichtigeren Kunden. Der Anteil des Exportes an der Gesamtproduktion stieg auf 95 Prozent. Hatte die Firma im Jahre 1918 mit rund 30 technischen und kaufmännischen Angestellten auskommen können, so betrug deren Zahl im Jahre 1930 bereits etwa 50. Hand in Hand mit der immer deutlicheren Entwicklung zur fast reinen Exportfirma erfolgte die Schaffung einer weitverzweigten Vertreterorganisation.

Die sich vom Jahre 1930 an langsam steigernde Krise liess die Zahl der Arbeiter und Lehrlinge von 304 im Geschäftsjahr 1929/30 bereits auf 279 während des Geschäftsjahres 1930/31 sinken. Den tiefsten Bestand wies das Geschäftsjahr 1934/35 mit 126 in der Werkstatt Beschäftigten auf. Trotzdem gelang es der Firma, den Normalbestand ihrer Belegschaft aufrechtzuerhalten, indem sie die ausländischen und die auf eigenen Wunsch ausgetretenen Arbeiter jeweils nicht mehr ersetzte und, da auch diese Massnahme nicht ausgereicht hätte, in Erwartung besserer Zeiten auf Vorrat produzieren

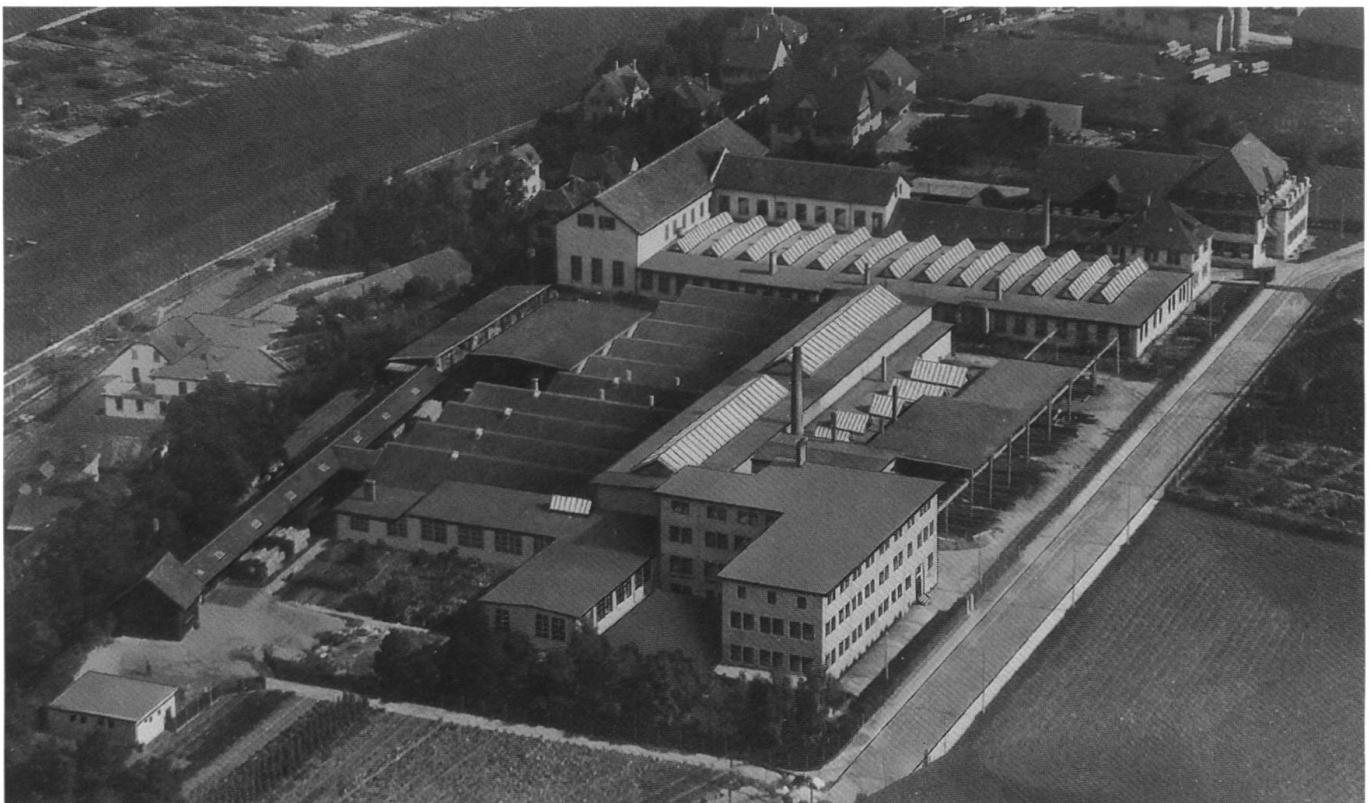


liess. Arbeitszeitverkürzungen taten ein übriges, damit die begrenzt vorhandenen Arbeitsmöglichkeiten auf alle gerecht verteilt werden konnten. Die Auszahlungen der im Jahre 1929 gegründeten paritätischen Arbeitslosenversicherungskasse erreichten im Jahre 1932 mit 11 432.20 Franken ihren Höchststand.

Selbst ein vom Glück reich gesegnetes Leben verläuft selten ohne Tragik. Auch Alfred Amsler entging diesem Schicksal nicht. Schon auf der Höhe seiner Schaffenskraft machte

Auf Strassenbahnroll-schemeln wird der Dynamometerwagen für die Österreichischen Bundesbahnen am 14. Mai 1937 vom Fabrikgelände zum Güterbahnhof Schaffhausen transportiert.

Das Fabrikareal im Ebnet vor dem Zweiten Weltkrieg



sich das vom Vater geerbte Augenleiden bemerkbar, das ihn, begleitet von zunehmender Schwerhörigkeit, Jahr für Jahr mehr von der Aussenwelt abzuschneiden drohte. Mit ungebrochener Energie verstand er aber trotz aller Schwierigkeiten, den Kontakt mit der Umgebung weiter zu pflegen und mitten im Leben zu stehen. Als jedoch im September 1939 der Zweite Weltkrieg ausbrach, setzte ihm dessen sinnlose Barbarei binnen einem halben Jahr derart zu, dass er die Freude an der Welt und allen Lebensmut verlor und am 2. April 1940 verschied. Direktor Johann Jakob Keller war ihm bereits im Januar desselben Jahres im Tode vorausgegangen.

Eine neue Generation

An die Stelle von Dr. Alfred Amsler trat Dr. Werner Amsler, während Dr. Reinhard Amsler (1891–1971), der bereits 1929 in die Firma eingetreten war, die kaufmännische Leitung übernahm. Im Jahre 1941 erfolgte die Anpassung der bisherigen Rechtsform der Unternehmung an die neuen Gegebenheiten, indem die fünf Kinder von Dr. Alfred Amsler unter der bisherigen Bezeichnung eine Kommanditgesellschaft mit Dr. Werner Amsler als unbeschränkt haftendem Gesellschafter und Dr. Reinhard Amsler, Hildegard Peyer-Amsler, Gisela Schindler-Amsler und Sophie Labhart-Amsler als Kommanditären bildeten.

Zum Andenken an Dr. Alfred Amsler errichteten dessen Erben mit einer ersten Einlage von 100 000 Fr. eine Alters- und Sterbekasse, deren Vermögen sich in den ersten 12 Jahren ihres Bestehens nahezu verzwölfachte.

War bis dahin die Geschichte der Firma zugleich auch die Geschichte derer gewesen, die an ihrer Spitze standen, so begann sich dieses Verhältnis allmählich zu ändern, indem in vermehrter Masse Spezialisten her-

angezogen werden mussten. Für den Betrieb brachte diese Situation gewisse Strukturveränderungen mit sich. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten wurden jedoch rasch überwunden, und bald stellten sich neue technische Erfolge ein.

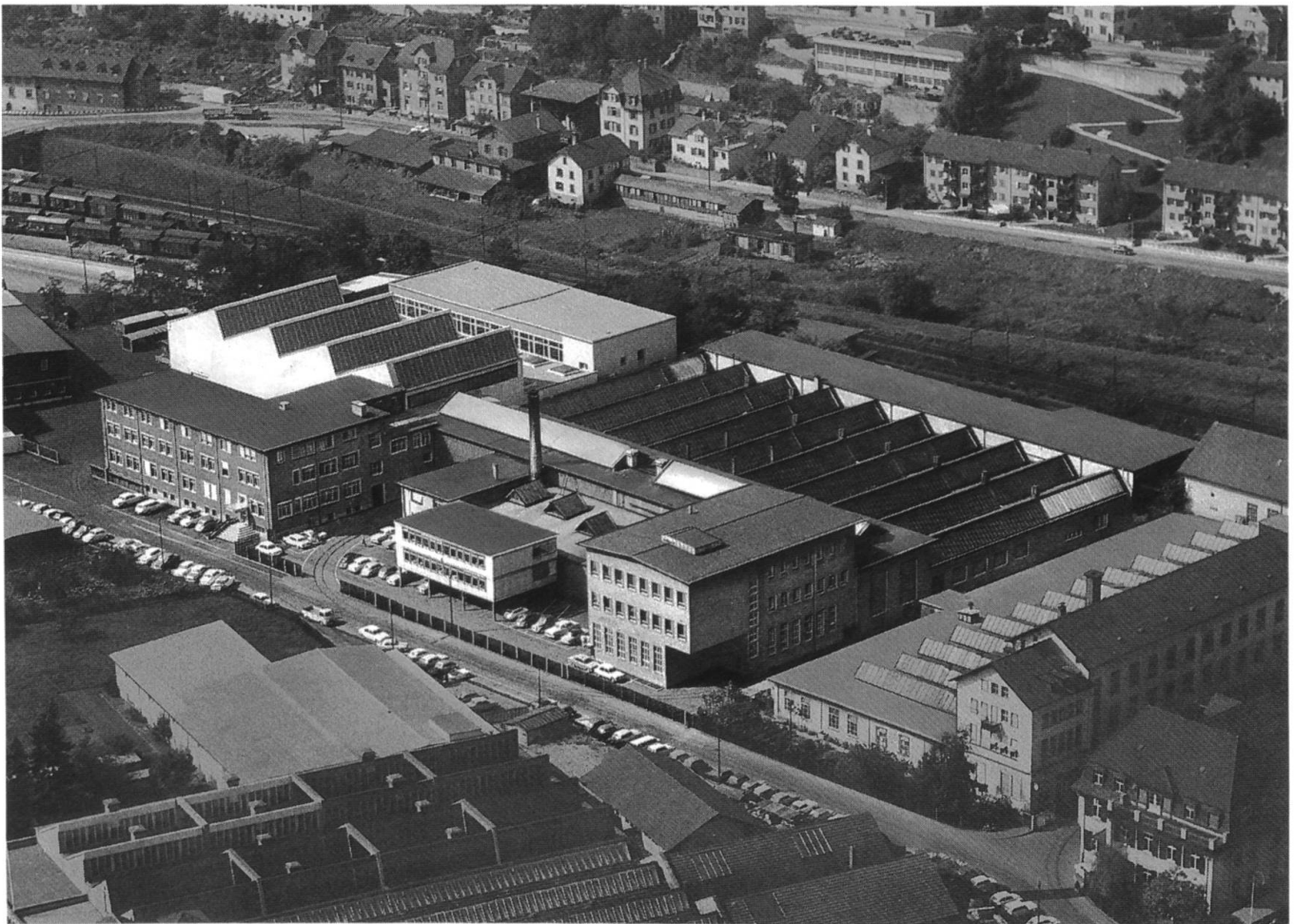
Einerseits wurden die bewährten Teile des inzwischen ständig erweiterten Fabrikationsprogrammes wie die hydraulischen Prüfmaschinen, Messwagen und mathematischen Instrumente in stets verbesserter und modernisierter Form weiterentwickelt. Andererseits wurden neue Wege beschritten, wobei vor allem die voranschreitende Technik der Elektronik herangezogen und für die vorliegenden Aufgaben eingesetzt wurde. So entstand unter anderem der Hochfrequenzpulser, wohl die vollkommenste damals existierende Wechselfestigkeits-Prüfmaschine mit vollelektronischer Steuerung. Aus den Erfahrungen mit den Integriergeräten der Dynamometerwagen entstand eine Reihe von Integrieranlagen für verschiedene Zwecke, darunter Maschinen zur Berechnung von Eisenbahnfahrplänen und Geschossflugbahnen. Auch hier wurde die Elektronik als Hilfsmittel herangezogen. Dauerstandprüfmaschinen mit präziser elektronischer Temperaturregelung und zahlreiche andere Maschinen und Geräte gehören zu dieser modernen Entwicklungsrichtung.

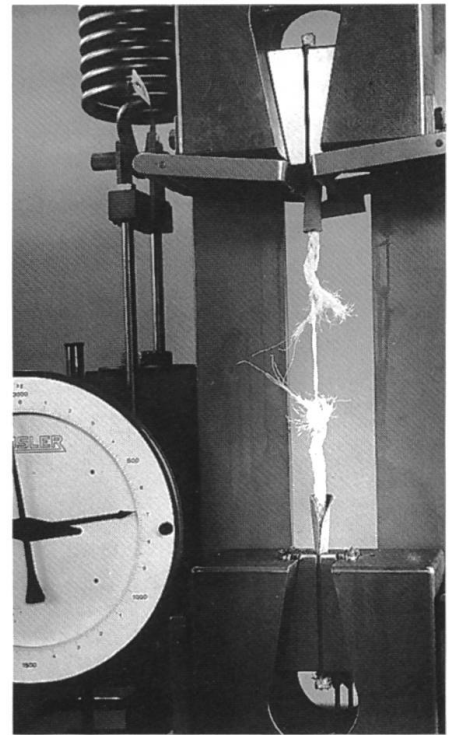
Der Zweite Weltkrieg traf unser Land besser vorbereitet als der Erste. Ein Umstand, der sich auch für das Unternehmen nur günstig auswirken konnte. Zwar wurden durch den Kriegsausbruch lang gepflegte Geschäftsbeziehungen jäh unterbrochen, Bestellungen wurden annulliert, die Ausführformalitäten nahmen bisweilen groteske Formen an, und die Schwierigkeiten bei der Materialbeschaffung stiegen ins Unermessliche,

Eine Montagehalle im Jahre 1964



Stand an der Messe in Zagreb im September 1953





Blick in die Werkstatt- und Montagehallen Ende der sechziger Jahre

Zerreissversuch an Kunststoffseil

Links: Das Fabrikareal im Ebnat im Jahre 1964

während sich auf der anderen Seite stets ein mehr oder weniger grosser Teil der Betriebsangehörigen im Militärdienst befand. Trotzdem gelang es der Firma, ihre Belegschaft zu erhalten, indem sie, wie schon in der Krise der dreissiger Jahre, das Risiko auf sich nahm, in grossem Masse auf Vorrat fabrizieren zu lassen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg

Bald nach Kriegsende setzte in unserem Land eine Periode ungewöhnlicher wirtschaftlicher Prosperität ein. Eingedenk der Erfahrungen der dreissiger und vierziger Jahre vermied es jedoch die Geschäftsleitung, den Betrieb in einem Umfange zu vergrössern, der das Durchhalten in kommenden Krisenzeiten hätte erschweren können, und verlegte das Hauptgewicht auf den inneren Ausbau des Unternehmens. So wurde der Maschinenpark fast vollständig erneuert und das Rechnungswesen von Grund auf modernisiert. Die Ausbildung der Lehrlinge erhielt durch Aufstellung eines eigentlichen Lehrganges eine sichere Basis. Die Organisation des Materiallagers wurde nach den neuesten Gesichtspunkten umgestaltet. Um der Wohnungsnot zu begegnen, stellte die Firma ihren Angestellten und Arbeitern neuzeitliche Mietwohnungen zur Verfügung.

Am 1. Dezember 1952 trat mit Dr. Robert Amsler die vierte Generation in die Firma ein. In den Jahren 1953/54 wurde ein grösserer Neubau zur Erweiterung des Laboratoriums und der Schlosserei errichtet. 1960 folgten weitere Neubauten und bald auch eine tiefgreifende Reorganisation der Firma mit einer konsequenten Ausrichtung auf den Absatz und dem Aufbau einer optimalen Produktionsplanung und -steuerung.

Im Jahre 1970 wurden die Aktiven und Passiven der Kommanditgesell-

schaft Alfred J. Amsler & Co. von der Georg Fischer AG in Schaffhausen übernommen und nach kurzer Zeit ohne die Fabrikgebäude an die Firma Wolpert in Ludwigshafen weiterverkauft. Letztere setzte die Produktion in einem neuen Fabrikgebäude in der Schaffhauser Landgemeinde Merishausen fort. 1982 erfolgte der Kauf des Wolpertschen Betriebes in Merishausen durch den Industriellen Werner P. Roell in Düsseldorf. Die Gebäulichkeiten des früheren Amsler-Fabrikareals werden noch immer von der Georg Fischer AG genutzt.

Literatur

Biographischer Teil

Jakob Amsler:

- Amsler Alfred und Rudio Ferdinand: Jakob Amsler-Laffon. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 57, 1912 .
- Amsler Richard: Dr. Jakob Amsler-Laffon. «Die Schweiz», V. Jahrgang, 1901, Seiten 323/24, Polygraphisches Institut Zürich.
- Gysel Julius: Jakob Amsler-Laffon. Separatabdruck aus der Beilage «Nekrologe» zu den Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Altdorf 1912.
- Jahn V.: Auf dem Stalden im vorigen Jahrhundert. Brugger Neujahrsblätter, 23. Jahrgang, 1912.
- Schib Karl: Hundert Jahre Kantonsschule Schaffhausen, 1951.
- Schweiz. Bauzeitung, Band XLII, Nr. 21, 1903 (80. Geburtstag), Band LIX, Nr. 2, 1912 (Nekrolog).
- Stohler H.: Das Planimeter, ein Musterbeispiel schweizerischen Erfindungsgeistes. (Referat von H. Stohler an der VSM-Jahresversammlung vom 17. Mai 1941 in Schaffhausen).
- Nach Julius Gysel: Jakob Amsler-Laffon. «Schaffhauser Biographien des 18. und 19. Jahrhunderts», Zweiter Teil, hrsg. vom Historischen Verein des Kantons Schaffhausen, 34. Heft, 1957.

Alfred Amsler:

- Amsler, Alfred: Über den Flächeninhalt und das Volumen durch Bewegung erzeugter Curven und Flächen und über mechanische Integrationen. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doctorwürde der Philosophischen Facultät der Universität Basel, vorgelegt von Alfred Amsler aus Schaffhausen. Schaffhausen 1880.
- Amsler Werner: Dr. Alfred Amsler, 1857–1940 (Nekrolog), o. O. 1940.
- Dumas A.: Alfred Amsler. Bulletin technique de la Suisse romande, 4. Mai 1940 (Nekrolog).
- Peyer-Amsler Bernhard: Alfred J. Amsler, 1857–1940. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, 1940.
- Ros M.: Dr. h.c. Alfred Amsler, 1857–1940. Maschinen-Ingenieur, Chef und Inhaber von Alfred J. Amsler & Co., Materialprüfmaschinen, Feinmechanische Instrumente, Schaffhausen. Publikation des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, 1940. Alfred Amsler. Schweiz. Bauzeitung, Band 115, Nr. 23 vom 8. Juni 1940.
- Uehlinger Arthur und Dubois Francis: Alfred Amsler, 3. Juli 1857 bis 2. April 1940. Sonderdruck aus den Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, XVII. Band, 1941 .

Nekrologe in der Neuen Zürcher Zeitung vom 3. und 8. April 1940
und in den Schaffhauser Nachrichten vom 4. April 1940.
The Late Dr. Alfred Amsler. Engineering (London), 10. Mai 1940.

Jakob und Alfred Amsler:

- Bächtold Kurt und Wanner Hermann: Wirtschaftsgeschichte des Kantons Schaffhausen. Hrsg. von der Schaffhauser Kantonalbank, 1983.
- Schib Karl: Geschichte der Stadt Schaffhausen. Hrsg. vom Historischen Verein des Kantons Schaffhausen, 1945.
- Waldvogel, Erwin: 100 Jahre Firma Amsler Schaffhausen. Von der Erfinderkwerkstatt zum weltbekannten Industrieunternehmen. In: Schaffhauser Nachrichten, Nr. 135, 12. Juni 1954.
- Geschichte der Stadt und Landschaft Schaffhausen. Hrsg. vom Historischen Verein des Kantons Schaffhausen, 1972.
- 100 Jahre Firma Amsler, eine kleine Firmengeschichte. Hrsg. von der Firma Alfred J. Amsler & Co., Juni 1954.
- Stadtarchiv Schaffhausen: D III 02 (Firmengeschichte) und D IV 00.02 (Personalien).

Mathematisch-technischer Teil

- Amsler, J.: Über die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, der statischen Momente und der Trägheitsmomente ebener Figuren. Schaffhausen, 1856.
- Anwendung des Integrators (Momentenplanimeters) zur Berechnung des Auf- und Abtrages bei Anlage von Eisenbahnen, Strassen und Kanälen. Zürich, 1875.
 - Moulinet hydrométrique avec compteur et signal électrique. Schaffhouse, o. D.
- Amsler, A.: Instructions for using J. Amsler-Laffon's Mechanical Integrator. Schaffhausen, 1883.
- The Utilisation of the Schaffhausen Water Power. Excerpt from the «Journal of Proceedings of the Institution of Electrical Engineers», 1900, Part 143, Vol. XXIX.
- Amsler-Laffon, J. & Sohn: Catalog der Materialprüfmaschinen. Schaffhausen, 1903.
- Amsler, Alfred J. & Co.: Amsler Testing Machines and Instruments. General Catalogue, Schaffhausen, 1926.
- Bush, V.: The Differential Analyzer. Journal of the Franklin Institute, 212, 447-488, 1931.
- Bush, V., Caldwell, S. H.: A New Type of Differential Analyzer. Journal of the Franklin Institute, 240, 4, 255-326, 1945.
- Curti, P., Dubois, F.: Die mechanische Lösung des ausserballistischen Hauptproblems. Schweizerische Bauzeitung, 67, 3, 1949.
- Dubois, F.: L'inspection automatique des voies de chemins de fer. Bulletin Technique de la Suisse Romande, 19. April, 3. und 17. Mai 1941.
- Planimeter für gebrochene Potenzen. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, 17/18, 7, 1942/43.

- Die Schöpfungen Jakob und Alfred Amslers. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, 19, 5, 1944.
- L'inspection automatique des voies de chemins de fer. Paris, 1965.
- Elsinger, O.: 100 Jahre Coradi. Festschrift, Zürich, 1980.
- Erismann, T. H.: Nichtkardanisch aufgehängte Kreisel zur Überhöhungsmessung im Eisenbahnbau. Promotionsarbeit ETH, No. 1902, Zürich, 1951.
- Theorie und Anwendung des echten Kugelgetriebes. ZAMP, 5, 5, 355-388, 1954.
- Eine neue Anlage zur Berechnung von Geschossflugbahnen. Neue Zürcher Zeitung, 12. September 1956.
- Zwei neue Integrieranlagen. Neue Zürcher Zeitung, 4. März 1959.
- Mathematische Instrumente als Baukasten. Neue Zürcher Zeitung, 12. September 1962.
- Universelle Anwendung moderner Planimeter. Technische Rundschau, 26.4. 1963.
- Gleisanalyse. ZEV, 91, 2, 33-45, 1967.
- The strongest cable testing machine in the world: design and experiments. International Journal of Materials & Product Technology, 4, 3, 273 - 284, 1989.
- Prüfmaschinen und Prüfanlagen. Berlin/Heidelberg/New York, 1992.
- Galle, A.: Mathematische Instrumente. Leipzig, 1912.
- Griffith, A. A.: The phenomena of rupture and flow in solids. Phil. Trans. f. the Royal Soc. 221, Series A, 163-198, London 1920.
- Heckel, K.: Einführung in die technische Anwendung der Bruchmechanik. Hanser, München, 1970.
- Hoffmann, H.: Aufbau und Wirkungsweise neuzeitlicher Integrieranlagen. ETZ, 77, A2, 41-52, A3, 77-83, 1956.
- Irwin, G. R.: Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate. Journ. of Appl. Mech., 24, 3, 361-364, 1957.
- Miner, M. A.: Cumulative damage in fatigue. Journ. Appl. Mech., 67, 159-64, 1945.
- Palmgren, A.: Die Lebensdauer von Kugellagern. ZVDI, 68, 339-341, 1924.
- Place, M. P.: Nouvelles voitures dynamomètres des Réseaux français. Revue Générale des Chemins de fer, April 1933.
- Rossmann, H. P. (Ed.): Grundlagen der Bruchmechanik. Wien, New York, Springer, 1982.
- Russenberger, M. E.: Eine dynamische Zug-Druck-Prüfmaschine zur Bestimmung der Wechselfestigkeit und Dämpfung. Schweizer Archiv, 11, 33-42, 1946.
- Shaw, H.: The Theory of Continuous Calculating Machines. Philosophical Transactions of the Royal Society, Part II, 367-402, 1885.
- Stampfer, S.: Über das neue Planimeter des Caspar Wetli. Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereins, 11, 7, Wien, 1850.
- Tetmajer, L. v.: Zur Theorie der Knickfestigkeit. Schweizerische Bauzeitung, 10, 16, 93-96, 1887.
- Thomson, W. (Lord Kelvin): Mechanical Integration of the General Linear Differential Equation of any Order with Variable Coefficients (Paper VI). Proceedings of the Royal Society, 24, 271-275, 1876.
- Willers, F. A.: Mathematische Maschinen und Instrumente, Berlin, 1951.
- Wöhler, A.: Über die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl. Zeitschr. f. Bauwesen, 20, 73-106, 1870.

Abbildungsnachweis

Biographischer Teil/ Firmengeschichte:

Firmenarchiv Amsler im Stadtarchiv
Schaffhausen,
Graphische Sammlung der Zentralbi-
bliothek Zürich,
Rolf Wessendorf, Schaffhausen
(vormals Carl Koch).

Mathematisch- technischer Teil:

Fig. 1, 5, 6, 12, 13, 19 und 20 sind
nach Skizzen des Verfassers herge-
stellt.

Fig. 2, 8, 14, 17, 18, und 21 sind
(Fig. 18 als grossformatige Photogra-
phie, die übrigen als Original-Pro-
dukte) Exponate des Museums zu Al-
lerheiligen, Schaffhausen (Aufnah-
men R. Wessendorf, Schaffhausen).

Fig. 3 und 4 sind aus dem Artikel
des Verfassers «Mathematische In-
strumente als Baukasten» (Neue Zür-
cher Zeitung, 12. September, 1962)
entnommen.

Fig. 7, 9, 10, 11, 22, 25 und 27 sind
Werkaufnahmen der Firma Alfred J.
Amsler & Co., Schaffhausen.

Fig. 15 ist nach dem «Catalog der
Materialprüfmaschinen» der Firma J.
Amsler-Laffon & Sohn, Schaffhausen,
hergestellt.

Fig. 16, 23, 24 und 26 sind aus dem
Buch des Verfassers «Prüfmaschinen
und Prüfanlagen» (Springer,
Berlin/Heidelberg/New York, 1992)
entnommen.

Adressen der Autoren:

Dr. iur. Robert Amsler
Kirchhofplatz 12
8200 Schaffhausen

Prof. Dr. sc. techn. Theodor H. Erismann
Tannenstrasse 27
8212 Neuhausen