

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

W. Eisenberg

Arnold-Sommerfeld-Gesellschaft e.V.

Einleitende Bemerkungen

Das Ziel der Informationstheorie sind Vorhersagen, die auf unvollständigen Informationen basieren. Offensichtlich liegt in der statistischen Physik ein ähnliches Problem vor. Daher ist es nicht überraschend, dass die Methoden der Informationstheorie – richtig interpretiert – in der statistischen Physik anwendbar sind ¹.

Die richtigen Interpretationen sind also gesucht, um den Methodentransfer zwischen Physik und Informationstheorie fruchtbar zu gestalten und innovativ zu nutzen.

Möge das Symposium „Physik, Information, Informationssysteme“ im erweiterten Sinne auch im technischen Methodentransfer und im Anwenderbereich erfolgreich sein!

Gliederung:

1. Bemerkungen zur Eröffnung
2. Der junge Arnold Sommerfeld
3. Der harmonische Analysator
4. Einschätzung des harmonischen Analysators
5. Vergleich der mechanischen und elektrischen Ausführung
6. Bemerkungen zum NTKK

Wer war Arnold Sommerfeld?

Arnold Sommerfeld wurde am 5. Dezember 1868 in Königsberg geboren und starb am 26. April 1951 in München. Königsberg (heute Kaliningrad) sollte einmal das „Wittenberg des deutschen Ostens“ werden (Preußens erster Herzog Albrecht von Brandenburg-Ansbach als Stifter der Albertus-Universität – 1544); Immanuel Kant – der in Königsberg gebliebene Weltbürger und Weltphilosoph! – Karrierebeginn von Arnold Sommerfeld in Königsberg; weiteres ist z.B. nachzulesen in der Schrift „Arnold Sommerfeld, Eine wissenschaftliche Biographie“ von U. Benz, 1974.

Der Vater war ein angesehener Arzt in Königsberg, ein leidenschaftlicher Sammler von Naturalien und ein großer Freund von Naturwissenschaften. Er heiratete spät (42 Jahre, Cäcilie Matthias aus Potsdam, eine geistvolle und energische Dame - Sohn A. S.).

Weiteres hinsichtlich Leben und Werk kann nachgelesen werden in der Leipziger Sommerfeld-Rede des Heisenberg-Forschers Dr. H. Rechenberg (WHI in München) anlässlich seines 125. Geburtstages (siehe H.1. „Dynamik und Synergetik“ (1955) der von der ASG unterstützten Reihe „Synergie, Syntropie, nichtlineare Systeme“).

Die kleine Ausstellung im Saal enthält weitere anregende Informationen zu Leben und Werk von Arnold Sommerfeld und C. F. v. Weizsäcker (90 Jahre).

¹ Wachter, A., Haber, H.: Repitorium Theoretische Physik. – Springer Lehrbuch 1998, S. 442

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

Warum wurde Leipzig als Gründungsort der ASG gewählt?

Interessant und bestärkend für Leipzig:

Bewerbung Sommerfelds an der Leipziger Physik (1902);

Sein Leipziger Schüler-Trio (seit 1926) G. Wentzel, W. Heisenberg und P. Debye (weiteres: M. Eckert: Die Sommerfeldschule);

Die weltweit einzige Ehrung des vielfachen Fast-Nobelpreisträgers A. Sommerfeld zum 125. Geburtstag (1933) an der Leipziger Alma mater;

Nach den Eröffnungsvorträgen ersichtlich:

Das Thema „Physik und Informationstechnologie“ als vorgegebenes Profil der ASG und das durch sie und uns heute gestaltete Symposium „Physik, Information, Informations-Systeme“ als öffentlichen Einstieg in diese Profilierung der ASG ist richtig angesiedelt.

Hinweis auf H.3. „Soft Computing“ der o.g. Reihe (Vorabinformation zu den Vorträgen Leipziger Referenten).

Wir werden auch den Kontakt zur AG PII „Physik, Informatik und Informationstechnik“ um Prof. Lang/Prof. Hoffmann in München/Dresden entwickeln und vielleicht das nächste Mal schon zusammen agieren.

Leipzig, Donnerstag den 29. November 1902.

Ansprechl. Minister, Minister,
Münster, Leitz, Götze

Es wird mir gewünscht die ich die folgende Angelegenheit
angelegenheitlich und kurz zu prüfen. Nämlich wird die Frage
nach der Abgrenzung gestellt, ob die Physik auf die Seite der
Lehrer und nicht auf der Seite der Naturwissenschaftler (d.h. die Naturwissenschaftler
auf der Seite der Naturwissenschaftler). Die Vorschläge sind die Fakultät
besteht aus 1. Dr. Conrad, 2. Wieders, 3. Runge
u. Sommerfeld.

Bücher s. 2. d. d. d.
H. B. B.
H. B. B.
Götze!
Neumann.
O. B. B.

Leipzig, Mittwoch den 3. Dezember 1902.

Ansprechl. Minister, Minister,
Münster, Leitz, Götze, Müller

Es wird mir gewünscht die ich die folgende Angelegenheit
angelegenheitlich und kurz zu prüfen. Nämlich wird die Frage
nach der Abgrenzung gestellt, ob die Physik auf die Seite der
Lehrer und nicht auf der Seite der Naturwissenschaftler (d.h. die Naturwissenschaftler
auf der Seite der Naturwissenschaftler). Die Vorschläge sind die Fakultät
besteht aus 1. Dr. Conrad, 2. Wieders, 3. Runge
u. Sommerfeld.

Bücher s. 2. d. d. d.
Neumann.
H. B. B.
Götze!
Münster.
H. B. B.

Abb. 01: Arnold Sommerfeld, Otto Runge – Berufungsliste der Leipziger Physik 1902

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

Der Hannoveraner Spektroskopiker kooperierte eng mit dem Aachener Theoretiker, der die Technische Mechanik vertrat.

Hinweis auf universitäre Ehrung des Physikers W. Heisenberg (Dezember 2001)

Hinweis auf Ehrung des engsten Freundes, C. F. v. Weizsäcker, (im erfolgreichen Team zuständig für die interdisziplinären Themen), durch die interdisziplinär orientierte ASG.

Den Abendvortrag zum 90. Geburtstag C. F. v. Weizsäckers wird der Debye-Schüler, Prof. em. Dr. W. Holz Müller (ASG) halten. Er kann nicht nur über das große Interesse C. F. v. Weizsäckers am Thema „Physik und Information“, sondern zudem als Zeitzeuge über seine studentischen Erfahrungen und den langjährigen fachlichen Austausch mit C. F. von Weizsäcker berichten.

Wodurch wurde Arnold Sommerfeld bekannt?

Weltbekannt wurde Arnold Sommerfeld durch sein berühmt gewordenes Buch „Atombau und Spektrallinien“ (1919), mit dem er die Bohr-Sommerfeldsche Atomtheorie für Generationen von Studenten im In- und Ausland verständlich darstellte. Es bildete sich eine Sommerfeld-Schule von Weltbedeutung heraus.

Die Ellipsenbahnen der Elektronen und die Feinstrukturkonstante (vielleicht heute bedeutsam in der Zeitveränderlichkeit?) sind untrennbar mit seinem Namen verbunden. Das bekannte Atommodell entsprach auch seinen technisch geschulten Denken. Er akzeptierte dann die Begrenztheit dieser Modellierung: Mit Schrödinger rechnen wir, an Heisenberg glauben wir.

Die Ergebnisse der neuen Quantentheorie seines Meisterschülers Werner Heisenberg enthielt der Sommerfeldsche „Wellenmechanische Ergänzungsband“.

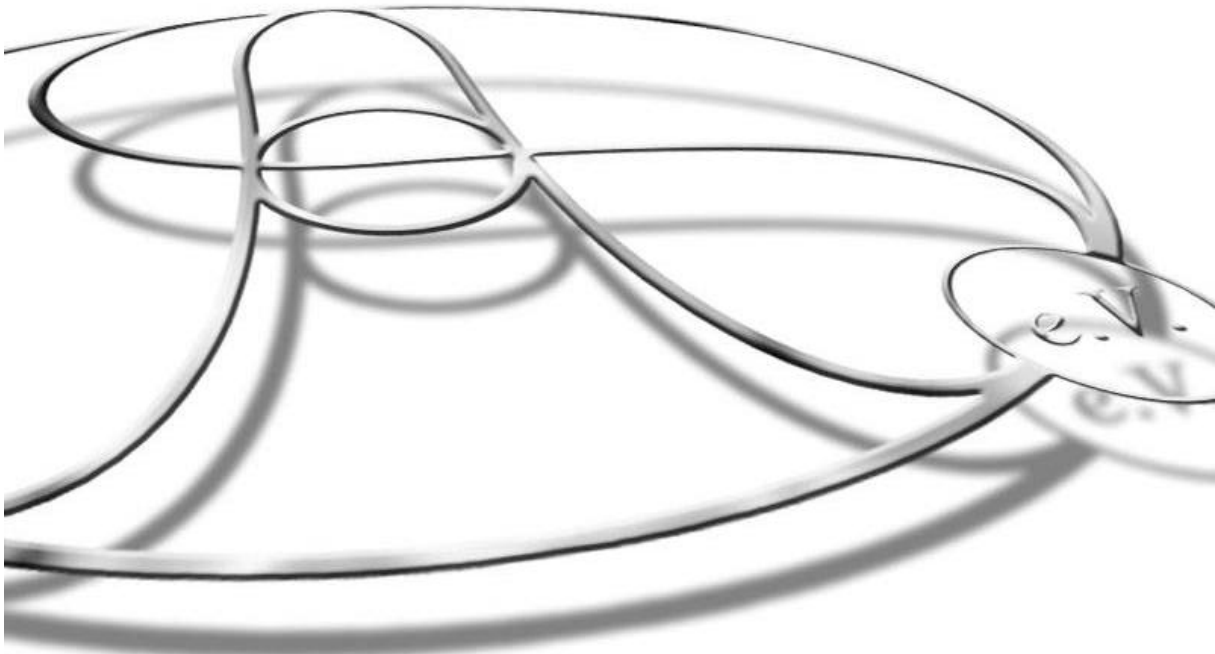


Abb. 02: Bohr-Sommerfeldsches Atommodell (Symbol der ASG)



Abb. 03: Atombau und Spektrallinien (1919)

Wie stabilisierte sich Arnold Sommerfelds technisches Interesse?

Bekannt geworden ist der fruchtbare Gedankenaustausch des Ordinarius für technische Mechanik mit zahlreichen Ingenieurwissenschaftlern der technischen Hochschule Aachen.

Mit August Föppl diskutierte er über die Resonanzphänomene bei Brücken, mit August von Borries über Probleme des Lokomotivbaus und mit Otto Schlick über den Massenausgleich im Schiffbau.

Eine spektakuläre Anwendung der Klein-Sommerfeldschen Kreiseltheorie war der Kreiselkompaß von Hermann Anschütz-Kaempfe (Bayern) als ein Orientierungsorgan für seine geplante Unterseebootreise zum Nordpol. Er gelangte zwar nicht zum Nordpol, aber es entstand in jahrzehntelanger Erprobung ein Idealapparat der Schifffahrt.

Diese Realisierung war sehr erfreulich für Arnold Sommerfeld, der oft die technische Anwendung der Theorie praktisch bis zur Serienreife verfolgte. Damals galt für Aachen seit Sommerfelds Wirken: allmählich hatte sich sowohl bei den Theoretikern als auch bei den Praktikern die Einsicht durchgesetzt, dass sie mit zunehmender Komplexität ihrer Aufgaben immer stärker aufeinander angewiesen waren.

Aber es gab auch Unverständnis bei den reinen Mathematikern. E. Landau nannte nach Sommerfelds Schmiermitteltheorie die angewandte Mathematik „Schmieröl“ (1902).

Und wie ist die Situation heute? Es gibt kooperative Projekte – nicht nur in der HL-Physik!

Die technische Hochschule in Aachen ist auch einem unserer aktiven Förderer, Prof. em. Dr. W. Holz Müller, aus seiner wissenschaftlichen Entwicklung heraus bekannt. Dem ehemals Technischen Physiker liegt komplementär dazu die Arbeit der Theoretiker am Herzen; wie heute in seinem Abendvortrag ersichtlich wird.

War nur Felix Klein prägend für Arnold Sommerfelds wissenschaftliche Themata?

Die Arbeit der Ingenieure lag dem Theoretiker Arnold Sommerfeld am Herzen. Anerkennung erwarb er sich durch seine Zerlegung der Maschinenbewegungen in Grund- und Oberschwingungen mit Hilfe der Fourieranalyse und der folgenden Abstimmung mit den

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

Eigenschwingungen des Systems (Vortrag im VDI/Aachen, Juli 1901). Hier konnte Arnold Sommerfeld auf seine Erfahrungen in jungen Jahren zurückgreifen.

Und zwar bemühte sich der junge Arnold Sommerfeld um eine rationelle Auswertung von Formeln der mathematischen Physik. So entwarfen Arnold Sommerfeld und Emil Wiechert 1890 einen harmonischen Analysator. Dieser Analysator war eine Integriermaschine, mit der die Fourierkoeffizienten einer willkürlichen Funktion berechnet werden konnten.

Mit diesem Gerät wollte der junge Sommerfeld die in einer Station im Botanischen Garten angestellten Erdthermometer - Beobachtungen auswerten. Die „Physikalisch-Ökonomische Gesellschaft“ in Königsberg, der Sommerfelds Vater als Mitglied angehörte, hatte für diese Auswertung einen Preis ausgesetzt. Die Wärmeleitung mußte untersucht und die entsprechende Differentialgleichung integriert werden. Arnold Sommerfeld führte die Lösung des Wärmeleitungsproblems auf die Lösung einer Differentialgleichung für eine mehrblättrige Riemannsche Fläche zurück. Allerdings war seine Lösung auf die falsche Randbedingung bezogen, denn die Station lag am Rande eines Abhangs und die Räder waren zwei gegeneinander geneigte Ebenen. Daher musste er seine eingesandte Lösung (mit „methodisch manch Eigenem und Neuem“) der Preisaufgabe zurückziehen.

Trotzdem vermittelte ihm die Beschäftigung mit dieser Thematik eine Idee für die strenge Lösung einer Lichtbeugung an einer Kante. Die Promotion im Fach Mathematik zum Thema „Die willkürlichen Funktionen der mathematischen Physik“ (1891) enthielt obengenannte Fourierintegrale und -reihen, die bei der Lösung naturwissenschaftlicher Aufgaben äußerst hilfreich sind. Die Wende von der reinen zur angewandten Mathematik war in der Karriere Sommerfelds vollzogen. Er strebte das Lehramt in den Fächern Mathematik, Physik und Mineralogie an (realisiert 1892). Der Weg des Hilbert-Anhängers zum Klein-Schüler war vorgezeichnet.



Arnold Sommerfeld im Alter von 25 Jahren
(Photo: Deutsches Museum München)

Abb. 04 Der junge Arnold Sommerfeld

Was wissen wir über den Sommerfeldschen harmonischen Analysator?

Der Dresdner Professor der angewandten Mathematik, Willers, Fr. A., behandelte 1951 in seinem Buch „Mathematische Maschinen (digital machines) und Instrumente (analogue machines)“ nur mechanisch arbeitende harmonische Analysatoren. Dabei unterscheidet er 4 Arten von Analysatoren, je nach der Form, in der die Integrale in den Fourier-Koeffizienten zur Auswertung benutzt werden.

Bei den Analysatoren erster Art wird zunächst das Produkt $f(x) \cdot \sin\left(n \cdot \frac{x^2 p}{d}\right)$ bzw. $f(x) \cdot \cos$

$\left(n \cdot \frac{x^2 p}{d}\right)$ gebildet und dann integriert.

Der bekannteste Analysator dieser Art ist das Präzisionsinstrument von Sommerfeld und Wiechert²

² Sommerfeld, A. und Wiechert, E. Über eine neue Integriermaschine. Schriften der Physikalisch-Ökonomischen Ges. zu Königsberg i. Pr. 32 (1891) 28 – 33;

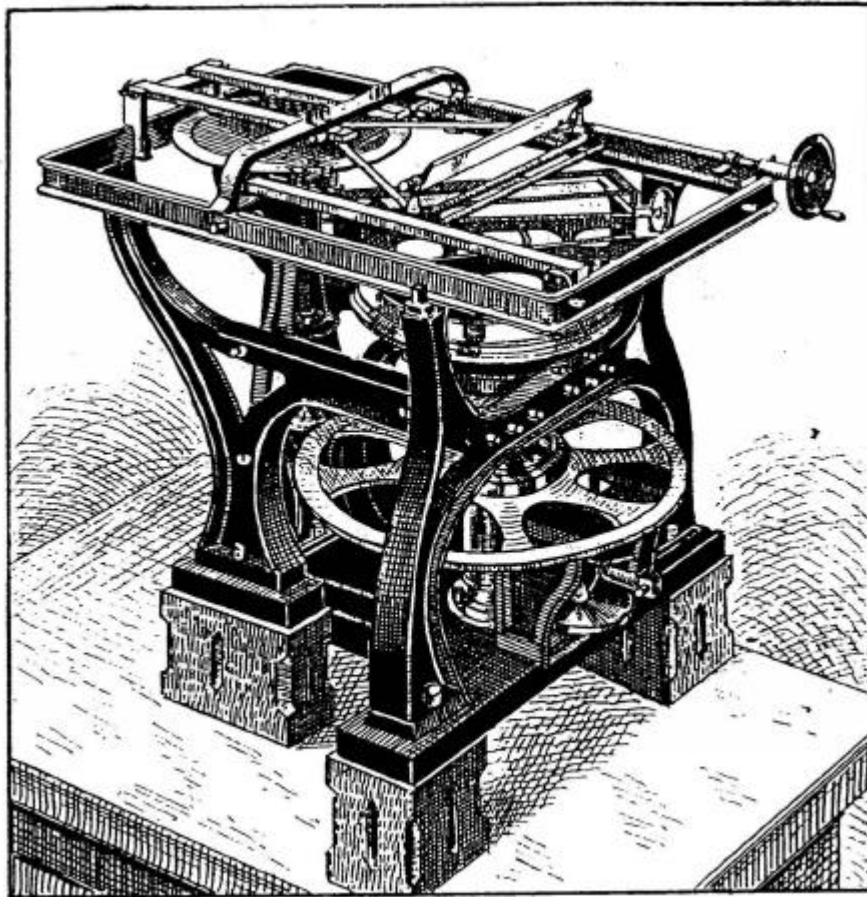


Fig. 1.

Abb. 05: Harmonischer Analysator³

Konstruiert von den Herren A. Sommerfeld und E. Wiechert, verfertigt in der mathematischen Abteilung des physikalischen Instituts zu Königsberg unter Leitung von Herrn Prof. Volkmann von dem Mechaniker des Instituts Herrn Gross im Laufe des Jahres 1890, ausgestellt vom Physikalischen Institut der Universität Königsberg (Ausstellung mathematischer und physikalischer Apparate, Instrumente und Modelle 1893 in der königlichen Technischen Hochschule in München⁴).

Die Maschine, welche in der Sitzung der Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg im Mai 1891 demonstriert und zum erstenmal in den Schriften derselben, Band 32, Sitzungsber. Pag 28, veröffentlicht wurde, hat die Aufgabe, aus den (etwa

³ A. Sommerfeld: Harmonischer Analysator. In: Willers, Fr. A.: Mathematische Maschinen und Instrumente.- Akademie-Verlag Berlin 1951, 214 – S. 221

⁴ v. Dyck, W.: Katalog mathematischer und physikalisch-mathematischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1982. Nachtrag dazu München 1983, S. IX;

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

durch eine Beobachtung) gegebenen Werten einer willkürlichen Funktion $y = f(x)$ die Koeffizienten ihrer Fourier'schen Entwicklung zu ermitteln, d. h. die Größen a_n, b_n in der Gleichung:

$$Y = a_0 + a_1 \cos x + b_1 \sin x + \dots$$

Es geschieht dieses durch Auswertung der bestimmten Integrale:

$$a_n = \frac{1}{P} \int_0^{2P} f(x) \cos nx dx, b_n = \frac{1}{P} \int_0^{2P} f(x) \sin nx dx;$$

Als spezieller Fall tritt die einfache Integration auf bei dem Koeffizienten

$$a_n = \frac{1}{P} \int_0^{2P} f(x) dx.$$

Zu Beginn ist die Kurve, welche die vorgelegte Funktion darstellt, auf eine mit Papier beklebte Walze aufzuzeichnen; sodann werden die Koeffizienten nacheinander bestimmt.

Hierbei können zwei Prozesse unterschieden werden, welche in praxi gleichzeitig stattfinden:

- 1) die Konstruktion der Kurve $z = f(x) \cos nx$ bzw. $z = f(x) \sin nx$ aus der gegebenen Kurve $y = f(x)$

- 2) die Integration dieser neuen Kurve, d. h. die Auswertung von $\int_0^{2P} z(x) dx$

Zum Umgang mit dem harmonischen Analysators von A. Sommerfeld und E. Wiechert

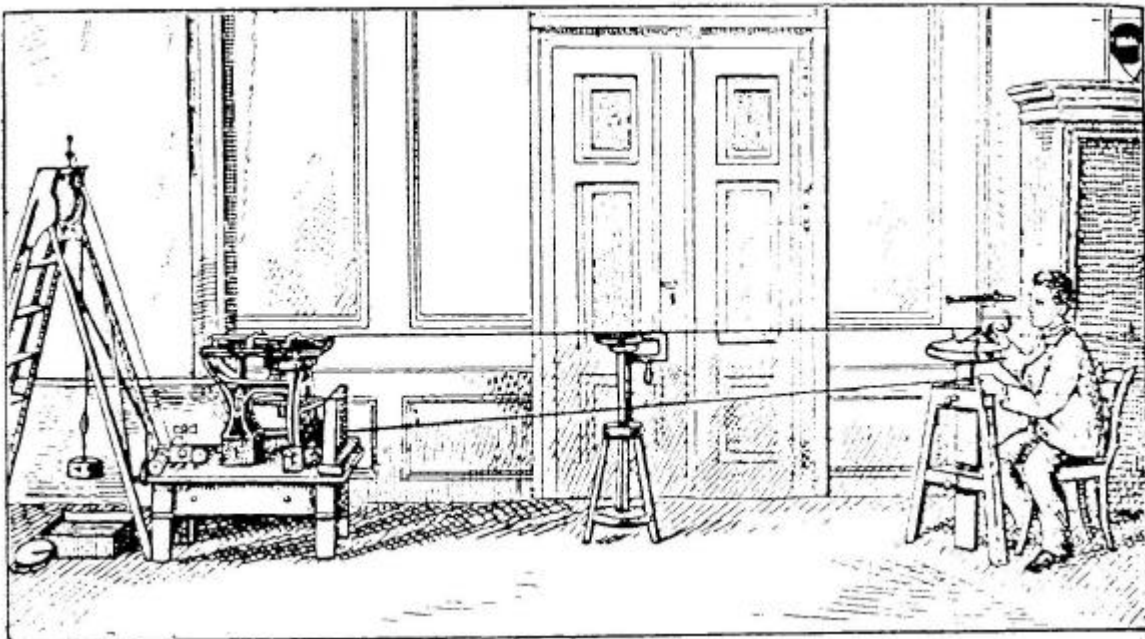


Abb. 06: Arnold Sommerfeld beim Gebrauch der Maschine

Zur Orientierung im Umgang mit dem harmonischen Analysator dient die Abb. 06.

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

Auf derselben erblickt man links ein Uhrwerk mit Gewichten, welches die Maschine in Bewegung setzt. Der Arbeitende befindet sich nicht unmittelbar an der Maschine, sondern beobachtet sie durch ein Fernrohr in einer Entfernung von 3 m (bequem; keine Parallaxe). Über dem Faden des Schiebers befindet sich ein Spiegel, in welchem der Beobachter das Bild der Walze und der beiden Fäden erblickt (einer ist mit dem Integriermechanismus verknüpft, der andere ist auf die Zylinderbewegung bezogen; Schnittpunkt der Fäden auf $f(x)$; volle Umfahrung der Messrolle misst Fourierkoeffiziente bis auf konstanten Faktor – siehe Info-Material).

Dabei kommen bei sämtlichen Geschwindigkeitsübertragungen anstelle der Zahnräder (Einbüßen der Genauigkeit) Reibräder (großer Räderdruck, kleiner Bewegungswiderstand) zum Einsatz.

Die Aufgabe des Beobachters ist es, den Schnittpunkt der Fäden beständig auf die Kurve einzustellen. Eine Schnur zu seiner Linken führt zu einer Bremse des Uhrwerks. Durch dieses kann das Uhrwerk angehalten oder sein Gang verlangsamt werden. Das letztere ist wichtig, wenn die Kurve sehr steile Partien hat oder gar un stetig verläuft (Geschwindigkeitsanpassung nötig). Die Aufzeichnung der Kurve gelingt maschinell.

Zur Koeffizientenberechnung:

Einsetzen des zum betreffenden Glied gehörigen Rollenpaares, Einstellung der Stellung der Mikrometerschraube, Regulierung der Anfangslage der Walze (Sinus- oder Cosinusglied) – Ablesen der Stellung des Integrationsrädchens vor und nach der Integration: Differenz der Ablesung ergibt bis auf einen Faktor den gesuchten Koeffizienten. Die Genauigkeit kennzeichnet der Max.-Fehler: 0,1 mm (Amplitudenhöhe: 0 – 10 cm).

Benutzt wurde - wie schon erwähnt - der Gonellasche Integriermechanismus (Reibradgetriebe). Der Gonellasche Integriermechanismus besteht aus einer Scheibe S , die sich proportional einer Größe dreht, etwa der Abszisse der zu integrierenden Kurve.

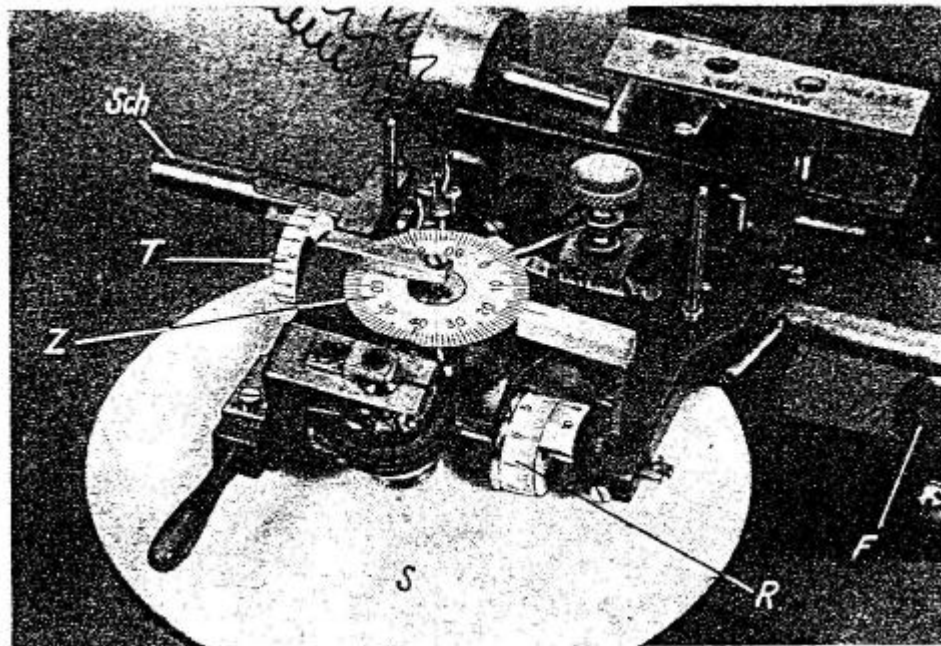


Abb. 07: Gonellasche Integriervorrichtung im Messwagen der Reichsbahn

Dieser Mechanismus wird vielfach in Messvorrichtungen eingebaut, um direkt das Integral einer gemessenen Größe anzuzeigen. Man findet ihn z. B. bei integrierenden Thermometern,

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

bei integrierenden Pegeln oder in den elektrischen Messwagen der Reichsbahn ⁵; in den beiden letzten Fällen ist er mit einer Vorrichtung zur elektrischen Fernmeldung der Ergebnisse versehen (Koordinaten-, gelegentlich auch als Linearplanimeter; heute: Integrimeter).

Wie ist der Sommerfeldsche mechanische Harmonische Analysator einzuordnen?

Hauptsächliche Unterschiede mit Sir W. Thomson's Harmonic Analyser ⁶:

Unterschiede im Vergleich	Harmonic Analyser	Harmonischer Analysator
Schnelligkeit contra Einfachheit der Maschine	Synchronberechnung der Koeffizienten	Nacheinanderberechnung der Koeffizienten
Gleitfehler: Null contra Min.	Cylinder-Kugel-Integrator	Planimeterrädchen
Beliebige contra beschränkte Koeffizientenordnung	Beschränkung auf die dritte Ordnung (auch höhere O.!)	Ohne Beschränkung der Koeffizientenordnung
Geschwindigkeitsübertrag. Haft- contra Rollreibung	Zahnräder	Reibungsräder

Einschätzung des ausgestellten Instruments von A. Sommerfeld und E. Wiechert ⁷ durch den Mitaussteller O. Henry ⁸ auf der Ausstellung mathematischer und physikalischer Apparate Instrumente und Modelle 1893 in der königlichen Technischen Hochschule München.

Demnach unterscheidet sich das Instrument wesentlich von den bisherigen. Die Integration wird durch eine Amalersche Registrierrolle bewirkt, welche auf einer geschliffenen Glasplatte läuft. Zugleich ist das Gleiten dieser Rolle möglichst vermindert. Der von Sir Wm. Thomson gerügte Fehler dieser Rollen wird jedenfalls nur sehr gering sein. Das sinnreiche, vorstehend genau beschriebene Instrument wird unzweifelhaft große Genauigkeit geben.

Analysator auf elektrischer Grundlage contra mechanischer Analysator – ein Vergleich ¹⁰(Universeller elektrischer Analysator contra Mader-Ott-Analysator – erste ⁹ Harmonische)

Vergleich	Universaler elektrischer Analysator	Mechanischer Analysator
Berechnungszeiten	Zeithalbierung bei 23 Ordinatenwerten	Vollzeit für 23 Ordinatenwerte
Abweichungen zwischen Mess- und Sollwerten	Genügende Genauigkeit für Kurven mit integrierbaren Ableitungen höherer Ordnung	Billig-Analyse aller Funktionstypen mit gleich hoher Genauigkeit

⁵ Archiv technisches Messen V 8291 – 1 (1949);

⁶ v. Dyck, W.: Katalog mathematischer und physikalisch-mathematischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892. Nachtrag dazu München 1893, S. 221;

⁷ v. Dyck, W.: Katalog mathematischer und physikalisch-mathematischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892. Nachtrag dazu München 1893, S. XII;

⁸ v. Dyck, W.: Katalog mathematischer und physikalisch-mathematischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892. Nachtrag dazu München 1893, S. 222;

⁹ v. Dyck, W.: Katalog mathematischer und physikalisch-mathematischer Modelle, Apparate und Instrumente. München 1892. Nachtrag dazu München 1893, S. IX;

¹⁰ Moczala, H.: Ein harmonischer Analysator auf elektrischer Grundlage, Diss. TH Braunschweig 1957, S. 48 – 49;

Der junge Arnold Sommerfeld und die Integriermaschine

Durch den harmonischen Analysator erweckte Arnold Sommerfeld das Interesse auch bei Felix Klein in Göttingen, seinem späteren aktiven Förderer (Analogie zu W. Weber/A. v. Humboldt und C. F. Gauß).

Solche Abwägungen der Vor- und Nachteile mechanischer und elektrischer Analysatoren ist nicht nur historisch zu nehmen und erneut zu durchdenken? Das ist eine Erkenntnis aus der Gestaltung des "NTKK", des „Naturwissenschaftlich-technischen Kuriositätenkabinetts“!!

Und es gibt bestimmte Anwendungssituationen, wo diese Abwägungen eben nicht nur historisch relevant und neu zu bedenken sind. Dieser wiederholten Abwägung entspringt z. B. der kuriose „pneumatische Computer“ aus der „NTKK“ (nach Aha-Erlebnis im Automatenmuseum). Auch Paulis oder Schrödingers Kuriosorum sind in der Literatur beschrieben.

Der Hinweis auf die diesjährige 350-Jahrfeier der ältesten Akademie in Deutschland, der Naturae Academiae Curiosorum oder heute „Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina“ mit Sitz in Halle. 1992 zur Kontextdefinition des Terminus „Kuriosität“ genügen.

Hier ist auch das Erfolgsprojekt der „Selbstreinigenden Strukturen“ zu nennen.

Ergo: Der Heisenbergsche Publikationstitel „Tradition und Neuerung“ und die Idee der „Nachhaltigkeit“ werden in der ASG also ernst genommen und nicht trivialisiert.!!