

# Harmonische Analysatoren – Analoge Rechenggeräte für Ingenieure und Wissenschaft

Detlef Zerfowski, Steinheim-Kleinbottwar

## 1. Harmonische Analysatoren – Hört sich seltsam an!

Haben Sie jemals von Harmonischen Analysatoren gehört? Es handelt sich dabei nicht um Psychologen, die die emotionale (harmonische) Bindung zwischen Menschen analysieren, sondern um analoge mechanische Rechenggeräte, die eine ganz bestimmte Art von Berechnungen, die sogenannte Fourieranalyse durchführen. Bevor wir auf das Rechenggerät eingehen, soll zur Motivation in stark vereinfachter Form auf die Problemstellung eingegangen werden, die mit den Harmonischen Analysatoren adressiert werden.

Als Beispiel nehmen wir einen beliebigen periodischen Ton oder Signal. Es ist eine verblüffende Tatsache, dass sich jeder periodische Ton oder jedes Signal aus einer Überlagerung von Sinus- und Kosinus-Schwingungen bestimmter Frequenzen und von Vielfachen dieser Frequenzen konstruieren lassen.



Die Grundlage dieser Theorie verfasste der französische Mathematiker und Physiker Jean Baptiste Joseph Fourier (siehe Abb. 1) (\*21. März 1768, †16. Mai 1830) [Fou1822] (Englische Übersetzung siehe [Fre1878]). Fouriers Beobachtung kann wie folgt zusammengefasst werden:

**"Jede periodische, kontinuierlich Funktion  $f(x)$  kann durch eine Reihe von Sinus- und Kosinus-Funktionen erzeugt werden."**

Mathematisch wird dies in der Fourier-Reihenentwicklung beschrieben:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N (a_n \cos(n \cdot w \cdot x) + b_n \sin(n \cdot w \cdot x))$$

Für Leser, die nicht so tiefe Mathematikkenntnisse haben, mag diese Gleichung sehr schwierig aussehen. Mit ein wenig Erklärung ist das Grundprinzip trotzdem einfach zu verstehen und nachfolgend wird es keine weiteren mathematischen Formeln in dem Artikel geben. Nehmen wir an, Sie hören einen Ton, was nichts anderes ist als eine "Luftdruckwelle"  $f(x)$  über die Zeit  $x$ . Die Fourier-Reihenentwicklung besagt, dass diese Tonwelle  $f(x)$  aus

- harmonischen Wellen der Form  $\sin(\omega x)$  und  $\cos(\omega x)$  mit der sogenannten Grundfrequenz  $\omega$  und
- Kosinus- und Sinus-Wellen mit Mehrfachen der Grundfrequenz  $n\omega$  erzeugen lässt.
- Dabei wird jede dieser Kosinus- und Sinus-Schwingungen mit einer Gewichtung, den sogenannten Amplituden  $a_n$  und  $b_n$  versehen.

Und nun das Entscheidende: Die Koeffizienten  $a_0, a_1, \dots, a_N$  und  $b_1, \dots, b_N$  beschreiben die Funktion  $f(x)$  beliebig genau, je größer die Anzahl  $N$  der Koeffizienten ist. Das Verfahren zur Bestimmung der Amplitudenkoeffizienten  $a_0, a_1, \dots, a_N$  und  $b_1, \dots, b_N$  für die harmonischen Kosinus- und Sinus-Wellen bezeichnet man als Fourieranalyse oder auch Harmonische Analyse.

Das nachfolgend beschriebene Gerät führt genau diese Zerlegung in Grundschwingungen vollständig mechanisch durch!

## 2. Anwendung der Harmonischen Analyse

Die Harmonische Analyse bzw. Fourier-Transformation ist ein weitverbreitetes Hilfsmittel in den Ingenieursdisziplinen und in der Wissenschaft. An manchen Stellen findet man visualisierte Beispiele dafür im täglichen Leben. Einige der Leser haben möglicherweise noch eine alte Stereoanlage mit einem Equalizer, der die Amplituden unterschiedlicher Frequenzen der gerade abgespielten Musik anzeigt. Dreht man an der Stereoanlage die Bässe stärker auf, dann werden die Ausschläge (Amplituden) bei den niedrigeren Frequenzen höher. Dreht man die Bässe zurück werden die Amplituden der tiefen Frequenzen geringer und dafür steigen die Amplituden der höheren Frequenzen. Die Equalizer-Ausschläge sind somit ganz grobe Visualisierungen der Fourier-Transformation der abgespielten Musik.

Die zuvor genannte Anwendung ist natürlich nicht die einzige Anwendung der Harmonischen Analyse. Es gibt eine große Anzahl von Einsatzgebieten in unterschiedlichsten Bereichen, wie der Kryptographie (z.B. zum Brechen von verschlüsselten Texten, um die Länge der verwendeten Schlüssels zu bestimmen), der Medizin

(z.B. die Rohdaten, die in Kernspintomographen gemessen werden, sind Fouriertransformationen der Bilddaten; die Bilddaten werden erst durch die Rücktransformation berechnet), der Elektrotechnik (insbesondere der Kommunikationstechnik) und vieles mehr. Heutzutage verwendet man für diese Anwendungen moderne Computer.

Aber auch in der Vergangenheit gab es viele Anwendungen für diese Rechenmethode. Circa 1872/1873 erfand William Thomson, später als Lord Kelvin bekannt, einen ersten Gezeitenrechner (siehe Abb. 2, unten).



In den späteren Jahren 1876 und 1879 [Tho1881] entwickelte er noch größere und genauere Maschinen. Die periodische Rotation des Mondes um die Erde, die sich wiederum periodisch um sich selbst und um die Sonne dreht, haben einen Einfluss auf die Höhe von Ebbe und Flut. Basierend auf den Messdaten der Fluthöhen konnten mittels der oben beschriebenen Harmonischen Analyse die harmonischen Komponenten in den Messaufschriften von Ebbe und Flut bestimmt werden. Mit diesen Informationen konnten die Wasserstände für Ebbe und Flut für bis zu zwei Jahre im Voraus für unterschiedliche Orte vorhergesagt werden. Offensichtlich war dies von wirtschaftlicher Bedeutung für die Schifffahrt, um die Be- und Entladung von Frachtschiffen in den Häfen zu planen.

Eine Übersicht über Harmonische Analysatoren zu Beginn des 20. Jahrhunderts erstellte Ernst Max Orlich in seinem Buch "Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven" [Orl1906]. In dem Werk vergleicht Orlich Analysatoren von Henrici und Coradi, Sharp, Yule und Le Conte, Wiechert und Sommerfeld, Michelson und Stratton, Terada. Viele weitere Referenzen zu Harmonischen Analysatoren sind in [Zer2012] angegeben.

### 3. Umsetzung der Mathematik in mechanische Bewegungen

Die oben erwähnten Gezeitenrechner waren Spezialgeräte, gebaut für eine ganz bestimmte Anwendung. Außerdem waren diese Sonderanfertigungen kaum transportabel, extrem teuer (da Einzelanfertigungen) und fanden somit keine große Verbreitung. Andererseits stieg Anfang des 20. Jahrhundert der Bedarf an harmonischen Analysen von grafisch gegebenen Funktionen (Kurven). 1909 erwähnte Otto Mader [Mad1909] folgende Anwendungsfelder: angewandte Mathematik, Physik, Maschinenbau, Schiffsbau und Elektrotechnik.

In dem Artikel beschreibt Mader seine neue Erfindung, den "Einfachen Harmonischen Analysator", und warb mit den folgenden Geräteeigenschaften:

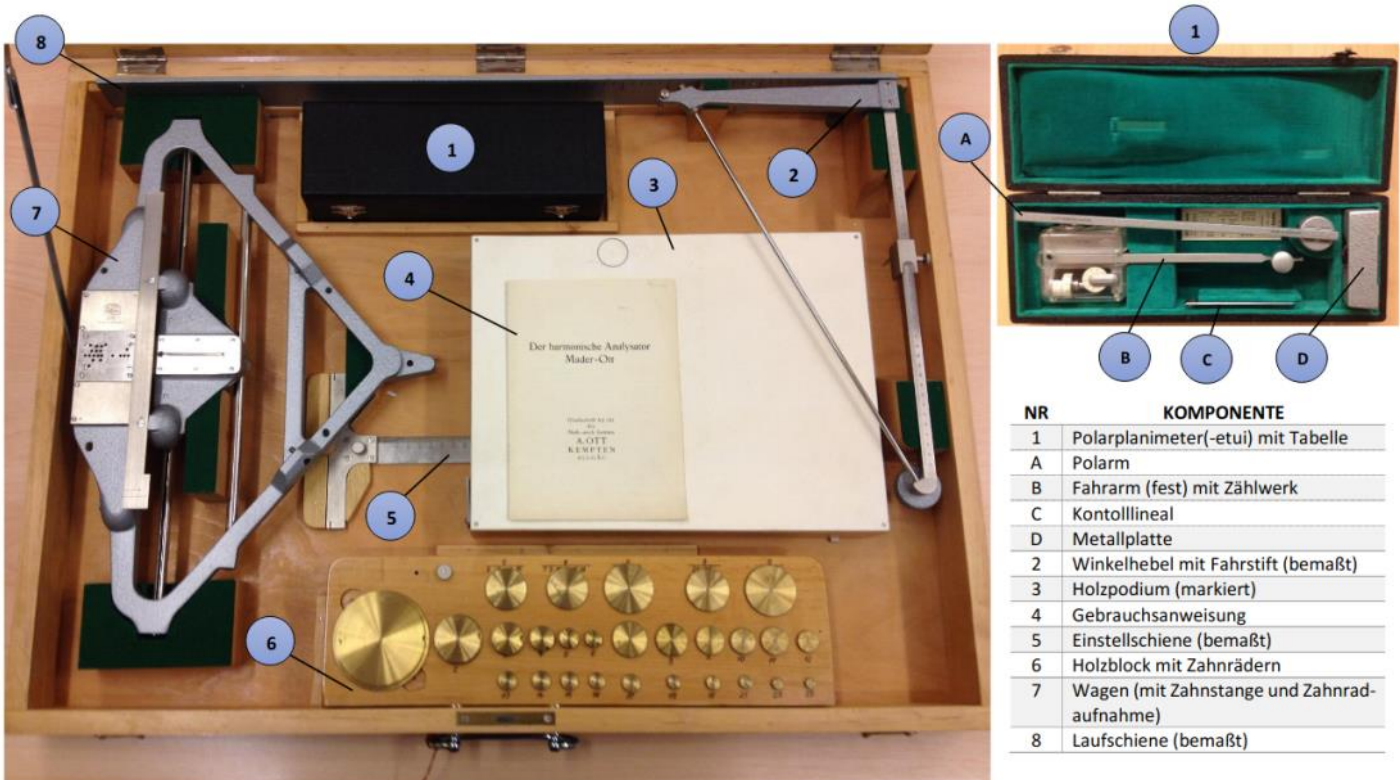
- Einfach zu verstehen und anzuwenden (z.B. keine Nebenrechnungen erforderlich).
- Das Instrument ist gebrauchsfertig für jede Kurve (d.h. Funktion  $f(x)$ ), ohne dass die Kurve zuvor neu gezeichnet, vergrößert oder verkleinert werden muss.
- Das Instrument ist preiswert.

1909 betrug der Preis für einen Mader Harmonischen Analysator 120 Mark (verkauft und hergestellt durch die Gebrüder Stärzl in Wien [Sta19??-2]), was inflationsbereinigt in 2018 einem Betrag von circa 700 Euro entspricht (gemäß [Deu2019]).



Abb. 3 (oben) zeigt einen Mader Analysator in seiner Aufbewahrungsbox.

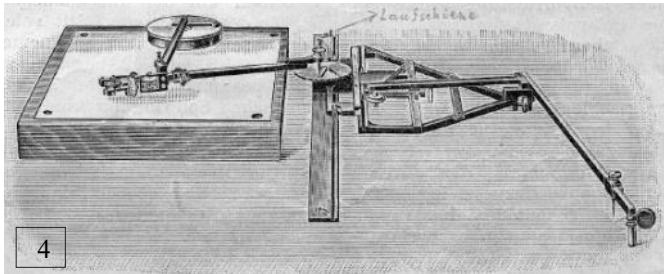




NR	KOMPONENTE
1	Polarplanimeter(-etui) mit Tabelle
A	Polarm
B	Fahrarm (fest) mit Zählwerk
C	Kontollineal
D	Metallplatte
2	Winkelhebel mit Fahrstift (bemaßt)
3	Holzpodium (markiert)
4	Gebrauchsanweisung
5	Einstellschiene (bemaßt)
6	Holzblock mit Zahnrädern
7	Wagen (mit Zahnstange und Zahrad-aufnahme)
8	Laufschiene (bemaßt)

Abb. 5: Mader-Ott Analysator

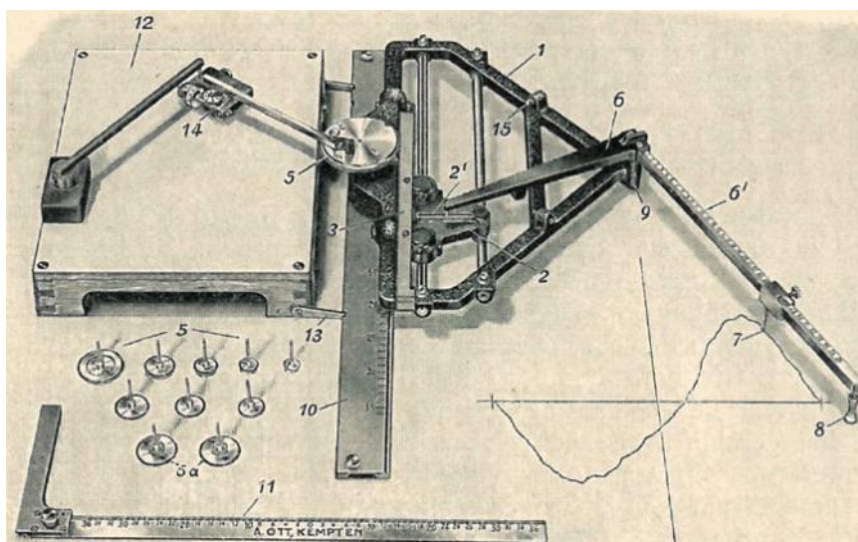
Abb. 4 (unten) stellt dar, wie das Instrument aufgebaut wird und für den Einsatz bereit ist.



In der Abbildung sieht man auf der linken Seite ein kleines hölzernes Podest mit einem zusätzlichen Polarplanimeter. In der Regel waren Planimeter nicht Bestandteil des Harmonischen Analysators und mussten separat dazu gekauft werden.

Neben den harmonischen Analysatoren der Firma Stärzl kamen ab dem Jahr 1929 verbesserte Konkurrenzprodukte der Firma Ott (ohne Fertigungsgenehmigung seitens Mader) auf den Markt. Abb. 5 zeigt

Abb. 6: Aufbau Mader-Ott Analysator



einen solchen Mader-Ott Analysator. Abb. 6 stellt den Aufbau des Gerätes dar und gibt einen Eindruck davon, wie das Gerät genutzt wurde. Links auf dem Podest befindet sich wieder ein Polarplanimeter, das mit seinem Fahrstift in der Zahnradscheibe *s* eingehängt ist. In der Abbildung ist unten rechts die zu analysierende Funktion (die Kurve) zu sehen.

Diese Kurve fährt man mit dem Fahrstift (in der Abbildung die Spitze im Punkt 7) ab. Beim Abfahren der Kurve rotiert der rechtwinklige Fahrarm um den Punkt 9 und bewegt dabei den kleinen Schlitten (2) nach hinten oder vorne. Dieser Schlitten ist mit einer Zahnstange verbunden, die sich entsprechend nach hinten oder vorne bewegt. Diese Zahnstange greift in das Zahnrad (s) ein und lässt dieses rotieren. Die Rotation des Zahnrades bewegt

zwangsläufig das eingehängte Polarplanimeter auf dem Tischchen.

Zusätzlich ist diesem gesamten Bewegungsablauf des Gerätes eine weitere Bewegung überlagert. Wird die Fahrstiftspitze (im Bild im Punkt 7) z.B. parallel zur

$y$ -Achse bewegt, findet keine Rotation im Punkt 9 statt und die Zahnschiene treibt das Zahnrad nicht an. Stattdessen wird aber der große Wagen 1 parallel zur  $y$ -Achse bewegt. Das Zahnrad rotiert dabei nicht, aber das im Zahnrad eingehängte Planimeter führt eine zwangsgeführte Bewegung aus.

Die eigentliche Berechnung erfolgt dadurch, dass man vor dem Abfahren der Kurve den auf dem Planimeter angezeigte Wert notiert und nach dem Abfahren der Kurve der abschließend angezeigte Planimeterwert abgelesen wird. Die Differenz der beiden Werte ist eines der gesuchten Ergebnisse. Es handelt sich dabei um einen der Koeffizienten  $a_0, a_1, \dots, a_N$  bzw.  $b_1, \dots, b_N$  der Fourier-Reihenentwicklung. Die unterschiedlichen zu berechnenden Koeffizienten erhält man, indem man die Prozedur mit jeweils einem anderen Zahnrad (die unterschiedliche Größen besitzen) durchführt. Außerdem kann das Planimeter in jedem Zahnrad an zwei unterschiedlichen Stellen (um 90 Grad gedrehte Position) eingehängt werden, eine Stelle für die Sinus-Koeffizienten  $a_i$  und die andere Stelle für die Kosinus-Koeffizient  $b_i$ .

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht aller für eine harmonische Analyse benötigten Komponenten. In diesem Fall sind ein Planimeter (1) und das hölzerne Podest (3) Teil des gelieferten Geräts. Eine Anleitung (4) zu diesem Gerät findet man im Internet (siehe [Ott1931-1], oder als französische Version in [Ott1931-2]).

Die zuvor beschriebene Handhabung des Analysators zeigt, dass man das Gerät bedienen kann, ohne die mechanische und mathematische Theorie hinter dem Instrument zu verstehen. Wer sich von der Korrektheit der durch das Gerät erzeugten Messungen überzeugen möchte, muss sich jedoch intensiv mit der mechanischen und mathematischen Theorie der Analysatoren auseinandersetzen (siehe [Mad1909]). Für ein vollständiges Verständnis ist zusätzlich auch die Theorie der Planimeter von Bedeutung (siehe hierzu [HerZer2002]). Selbst mit einem tiefen Verständnis der Theorie der Geräte ist es kaum vorstellbar, wie es Mader geschafft hat, die mathematische Theorie in so genialer Form in Mechanik umzusetzen.

Um einen Eindruck von der mechanischen Wirkungsweise der Harmonischen Analysatoren zu erlangen, sei hier auf die interaktive Animation von Andries de Man [deM2019] hingewiesen. In der Animation kann man unterschiedliche Kurven zur Analyse festlegen. Anschließend wählt man eine Zahnradscheibe aus und führt den Fahrstift entlang der Kurve. Dabei sieht man, wie sich die gesamte Konstruktion bewegt und das angeschlossene Planimeter antreibt.

#### 4. Varianten von Harmonischen Analysatoren

Die zuvor beschriebenen Analysatoren sind die einfachsten Geräte ihrer Art. Die Hersteller, insbesondere die Firma Ott, brachten eine kleine Anzahl an Modellvarianten heraus.



Abb. 7: Mader-Ott Analysator mit zwei Sätzen mit je 48 Zahnrädern [Com2017-1] (Mit freundlicher Genehmigung des Computer History Museum, Mountain View, CA, USA).

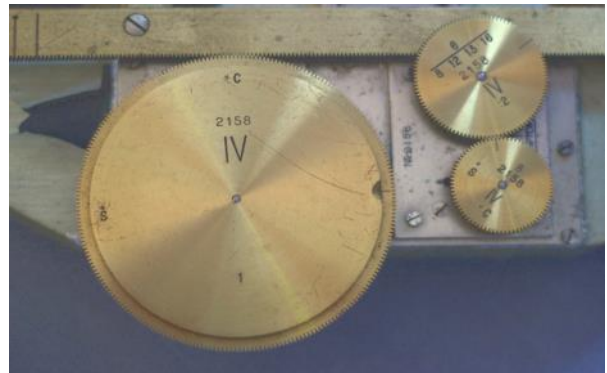


Abb. 8: Zahnräder für Koeffizienten  $a_1$  und  $b_1$  (links), sowie  $a_8$  und  $b_8$  (rechts). Das obere rechte Rad ist ein Zwischenzahnrad. Die Zahnstange ist die horizontale Metallschiene oben (Quelle: Sammlung Zerfowski).

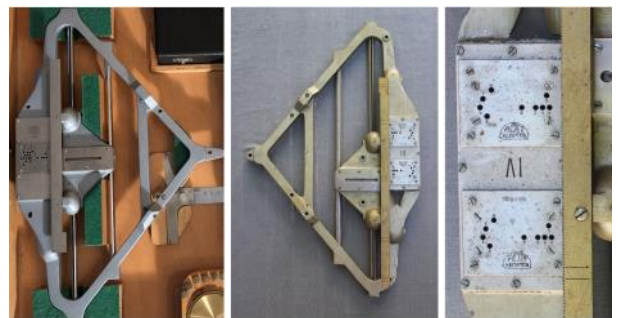


Abb. 9: Wagen mit einer Lochplatte (links) und mit zwei Lochplatten (Mitte). Doppelte Lochplatte (rechts) mit nummerierten Löchern für entsprechende Zahnräder.

Die Unterschiede bestanden in:

- Anzahl der mitgelieferten, unterschiedlich großen Zahnräder (siehe Abb. 7), womit mehr Koeffizienten der Fourierreihe bestimmt werden konnten,
- Verwendung einer doppelten Lochplatte (siehe Abb. 9), in der parallel unterschiedliche Zahnräder eingesetzt werden konnten, so dass zwei Planimeter parallel beim Abfahren der Kurve betrieben werden konnten und somit zwei Ko-



- effizienten in einem Durchlauf bestimmt wurden,
- und die Anzahl der parallel betriebenen großen Schlitten (Abb. 10 und 11), um noch mehr Planimeter parallel zu verwenden und um in einem Durchlauf noch mehr Koeffizienten simultan zu bestimmen. Die maximal bekannte Ausbaustufe konnte gleichzeitig 14 Planimeter antreiben.

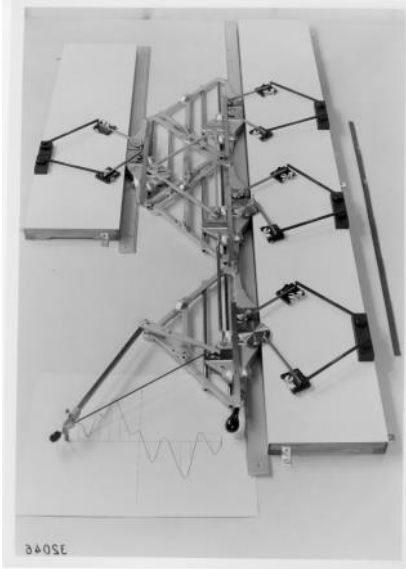
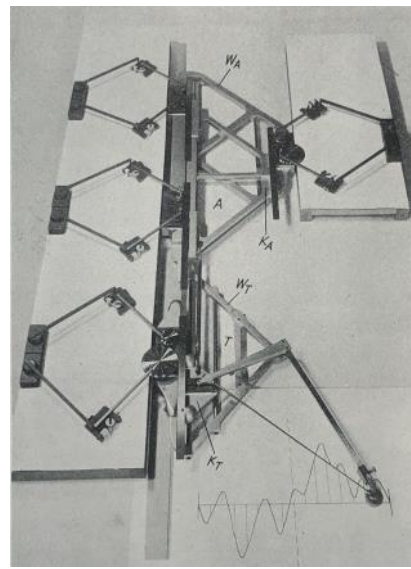


Abb. 10 (links): 8-fach Harmonischer Analysator betriebsfertiger Aufbau. Quelle: Foto der Firma Ott vom 3. April 1941. Bereitgestellt von Prof. Fischer.  
Abb. 11 (rechts): 8-fach Ott Analysator [Wil1943], erweiterbar bis zu 14-fach Analysator. Im Vergleich zum Gerät in Abb.10 wurden die hinteren drei Schlitten in einen Schlitten integriert.



In Summe wurden lediglich zwischen 55 und 60 Analysatoren durch Stanley & Co., Limited gefertigt (Quelle: [Fis2019]).

Zu den Stanley Analysatoren ist relativ wenig bekannte. Laut Professor Fischer [Fis2019] existieren zumindest drei Geräte im Science Museum London.

## 5. Stanley Harmonische Analysatoren

Neben den zuvor erwähnten Analysatoren von Stärz und Ott, sollen hier noch die von 1950 bis 1965 gefertigten Geräte von W. F. Stanley & Co., Limited (London) erwähnt werden (siehe Abb. 16 und [Kir1950]).

Gemäß [Sta19??-1] bot die Firma drei Varianten mit folgenden unterschiedlichen Funktionen an:

- U8101: Mit einfacher Lochplatte inklusive einem Planimeter, für bis zu 6 Sinus- und Kosinus-Koeffizienten.
- U8102: Ähnlich zu U8101, aber mit zwei Lochplatten, zwei Planimetern und zwei Zahnradsätzen.
- U8103: Ähnlich zu U8102, aber mit zwei Zahnradsätzen für bis zu 18 Sinus- und Kosinus-Koeffizienten.



Abb. 12: Aufbewahrungskiste 8-fach Mader-Ott Harmonischer Analysator (SN 2155 bis 2158, Sammlung Zerfowski).

## 6. Zusammenfassung zu Mader-basierten Harmonischen Analysatoren

In diesem abschließenden Kapitel geben wir noch eine (unvollständige) Übersicht der Varianten der Mader-Ott Analysatoren an. Die Fertigung lief von 1929 bis ca. 1975. In dem Fertigungszeitraum wurden Seriennummern von 2001 bis 2500 (Fertigungsjahre 1929-1961) und 69001 bis 69100 (Fertigungsjahre zwischen 1962 und ca. 1972) vergeben [Fis2019]. In Summe kann somit davon ausgegangen werden, dass weniger als 600 solcher Geräte gefertigt wurden, insbesondere da die Mehrfach-Analysatoren pro Wagen jeweils eine eigene Seriennummer besitzen.

Das Portfolio der verschiedenen Mader-Ott Varianten ist in Abb. 14 dargestellt. Obwohl der 8-fach Analysator, Pezik genannt, in [Ott19??-2] erwähnt wird, wird die 8-fach Version mit 4 Zahnradsätzen (Abb. 12) nicht gelistet. Die Variante mit dem verlängerten Fahrarm (Abb. 13), Pireb genannt, wird in [Ott19??-2] aufgeführt.



Abb. 13: Montierte Fahrarm-erweiterung (rechts) (Quelle: Sammlung Zerfowski).

Device types	Analyser rod for determination of single sine and cosine coefficients of one harmonic:	Single analyser for determination of single sine and cosine coefficients of one harmonic:  1 set of gears 1 planimeter	Double analyser for determination of single sine and cosine coefficients of two harmonics:		8-fold analyser for simultaneous determination of sine and cosine coefficients for the same harmonics:  2 sets of gears 8 planimeters
			for simultaneous determination of sine and cosine coefficients for the same harmonics:  2 sets of gears 2 planimeters		
Gear set for the first 6 harmonics	No. 200 <i>Peran</i>	No. 210 <i>Pesap</i>	No. 210 A <i>Petar1</i>	--	
Gear set for the first 9 harmonics	No. 202 <i>Perir</i>	No. 212 <i>Pesem</i>	No. 212 A <i>Petex</i>	--	
Gear set for the uneven harmonics 1-25 and even harmonics 2-18	No. 204 <i>Perut</i>	No. 214 <i>Pesis</i>	No. 214 A <i>Petir</i>	No. 214 B <i>Peweg</i>	
Gear set for the uneven harmonics 1-31 and even harmonics 2-18		No. 216 <i>Pesot</i>	No. 216 A <i>Petov</i>	No. 216 B <i>Pewox</i>	
Gear set for all uneven and even harmonics 1-33		No. 218 <i>Pesur</i>	No. 218 A <i>Petum</i>	No. 218 B <i>Pewur</i>	<i>Pezik</i>
Source of information	[Ott19??-1]		[Ott19??-2] (after 1949)		

Seitens der Gebrüder Stürzl wurden ca. 200 Geräte hergestellt, Ott fertigte weniger als 600 Analysatoren und Stanley's produzierte ca. 60 Instrumente. In Summe liegt die Anzahl der gefertigten Mader-basierten Harmonischen Analysatoren somit wahrscheinlich unter 900 Exemplaren (siehe Abb. 16).

Abb. 14: Übersicht Mader-Ott Analysatoren ([Ott19??-1], [Ott19??-2]).

Dem Autor sind aktuell 18 noch existierende Exemplare bekannt. Eine detaillierte Übersicht hierzu ist in Zer2019] zu finden.

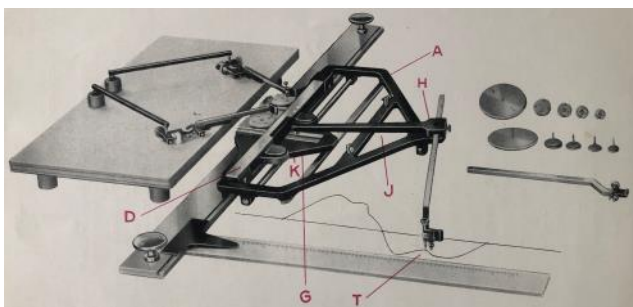
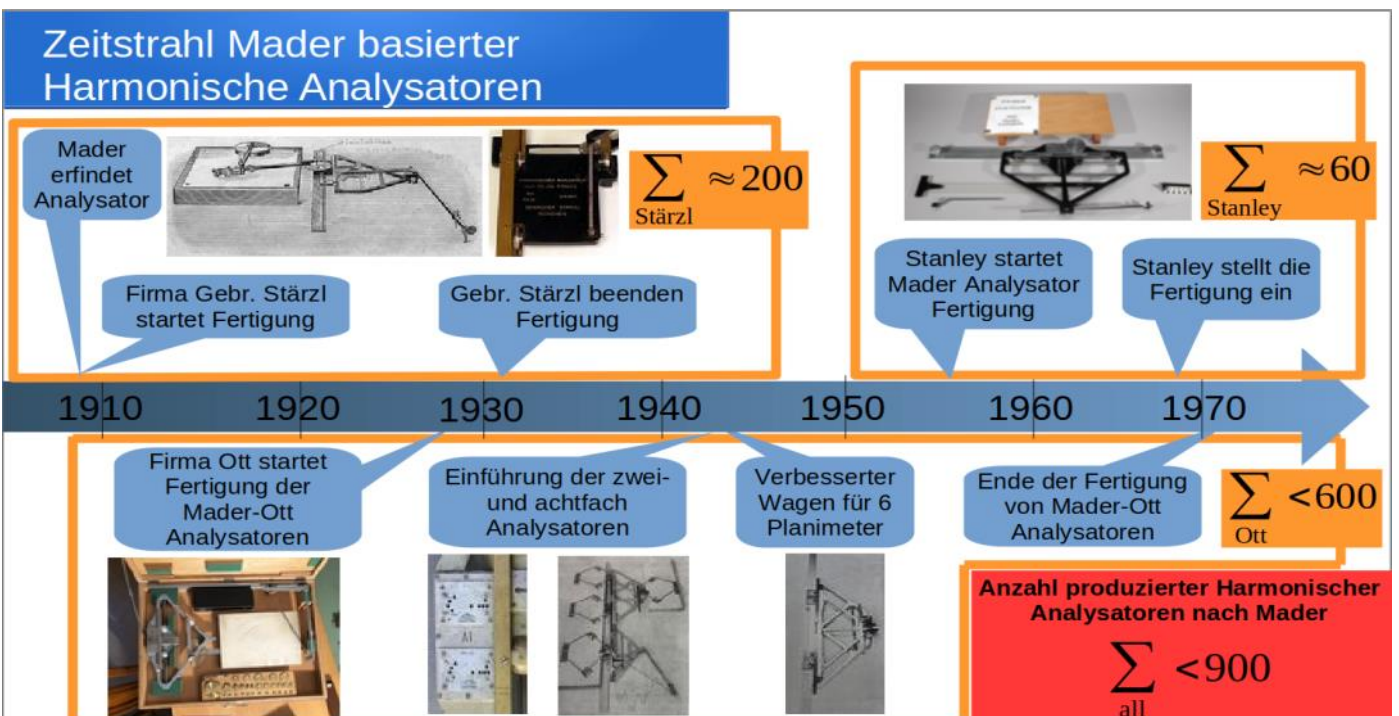


Abb. 15: Stanley Harmonischer Analysator [Sta19??-1].

Abb. 16: Zeitstrahl der Produktion Harmonischer Analysatoren



### 7. Literatur

[Com2017-1] Computer History Museum: Harmonic Analyser, Mountain View, California. Catalog Number 102756991. Zeigt einen Mader-Ott Harmonischen Analysator Seriennummer 2257 aus dem Jahr 1947. Die hölzerne Aufbewahrungsbox besitzt die Abmaße 88 x 58 x 8 cm und enthält 2 Sätze von 48 Zahnrädern. [www.computerhistory.org/collections/catalog/102756991](http://www.computerhistory.org/collections/catalog/102756991)

[Com2017-2] Computer Museum University of Amsterdam: Mechanical harmonic analyzer, Catalog Number 01.40. Zeigt einen Mader Analysator mit 20 Zahnrädern. [ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/harmonanal.html](http://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/harmonanal.html)

[deM2019] de Man, Andries, Mader-Ott Harmonic Analyser. Interaktive Animation der Verwendung Harmonischer Analysatoren. Teil der elektronischen Ausgabe der Proceedings of the IM2019. [www.rekeninstrumenten.nl/im2019/maderott.html](http://www.rekeninstrumenten.nl/im2019/maderott.html)

[Deu2019] Deutsche Bundesbank: Kaufkraftäquivalente historischer Beträge in deutschen Währungen. Bem.: Umrechnung historischer Währungswerte. [www.bundesbank.de/resource/blob/615162/a52b231886b66bdaaf90f26fa12cb335/mL/kaufkraftaequivalente-historischer-betraege-in-deutschen-waehrungen-data.pdf](http://www.bundesbank.de/resource/blob/615162/a52b231886b66bdaaf90f26fa12cb335/mL/kaufkraftaequivalente-historischer-betraege-in-deutschen-waehrungen-data.pdf)



[Fis2019] Fischer, Joachim: Persönliche Kommunikation mit Detlef Zerfowski.

[Fou1822] Fourier, Jean Baptiste Joseph: *Théorie analytique de la chaleur*, Paris, 1822. <https://archive.org/details/thorieanalytiqu0fourgoog/>

[Fre1878] Freeman, Alexander: *The Theory of Heat*. Edited for the Syndics of University Press, Cambridge, 1878. Übersetzung von [Four1822] <https://archive.org/stream/analyticaltheor01fourgoog>

[HerZer2002] Zerfowski, Detlef and Herden, Susanne: *Geodätisches Rechnen. Eine analoge Rechenmaschine im Büro: das Planimeter*, Historische Bürowelt, 2002, Nr. 63, Seiten 17-19.

[Kir1950] Kirkby, S.: *The Stanley Harmonic Analyser*, W. F. Stanley & Co., Limited, New Eltham, London, ca. 1950, 20 Seiten.

[Mad1909] Mader, Otto: *Ein einfacher harmonischer Analysator mit beliebiger Basis*, Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 30, Nr. 36, 1909, Seiten 847-849. [https://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/pdfs/analyzer\\_pri.pdf](https://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/pdfs/analyzer_pri.pdf)

[Ori1906] Orlich, Ernst Max: *Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven*, Vieweg & Sohn, Braunschweig, Elektrotechnik in Einzeldarstellungen, Vol. 7, 1906. Bem.: 117 Seiten. Beschreibt Harmonische Analysatoren von Henrici und Coradi, Sharp, Yule und Le Conte, Wiechert und Sommerfeld, Michelson und Stratton, Terada.

[Ott1931-1] Ott, A.: *Der harmonische Analysator Mader-Ott*, Mathematisches Institut A. Ott, Kempten, Nr. M Ad. 341 2054/4, February 1931. Bem.: 20 Seiten. Siehe auch die französische Übersetzung [Ott1931-2]. [http://modellsammlung.uni-goettingen.de/data/Texts/M5/357-374\\_Der\\_harmonische\\_Analysator\\_von\\_Mader-Ott\\_Ott.pdf](http://modellsammlung.uni-goettingen.de/data/Texts/M5/357-374_Der_harmonische_Analysator_von_Mader-Ott_Ott.pdf)

[Ott1931-2] Ott, A.: *L'Analyseur Harmonique Mader-Ott*, Institut pour l'Étude et la Construction d'Instruments de Mathématiques, Kempten, Bavière, Brochure Af. 341, ca. 1931.

[Ott19??-1] Ott, A.: *Liste 301, Section "Harmonischer Analysator Mader-Ott"*, Firma A. Ott, Kempten, Bayern, Seiten 19-20.

[Ott19??-2] Ott, A.: *Harmonischer Analysator Mader-Ott*, Firma A. Ott, Kempten, Bayern, Nr. MLd 477, II, 0,5717. Bem.: Zweiseitige Werbung. Enthält eine Tabelle der unterschiedlichen Mader-Ott Analysator Modelle.

[Sta19??-1] Stanley Co.: *Harmonic Analysers for the analysis of complex periodic curves*, W. F. Stanley & Co., Limited, New Eltham, London.

Bem.: 6 Seiten Werbung der Stanley Harmonischen Analysatoren (Mader Type) U8101, U8102 und U8103.

[Sta19??-2] Gebrüder Stürzl: *Gebrauchsanweisung zum Harmonischen Analysator nach Dr. ing. O. Mader, 19??*. [https://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/pdfs/analyzer\\_pri.pdf](https://ub.fnwi.uva.nl/computermuseum/pdfs/analyzer_pri.pdf)

[Tho1881] Thomson, William (Lord Kelvin): *The Tide Gauge, Tidal Harmonic Analyser, and Tide Predictor*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 65, Session 1880-81, Paper Nr. 1778, Seiten 2-25, 1881. <https://doi.org/10.1680/imotp.1881.22262>

[Wil1943] Willers, Friedrich Adolf: *Mathematische Instrumente*, R. Oldenbourg Verlag, München, Berlin, 1943. Bem.: 272 Seiten, 196 Abbildungen.

[Zer2012] Zerfowski, Detlef: *Unser weltweites Wissen über mechanische Rechenmaschinen, Rechenschieber und andere Rechenhilfsmittel*. Der Versuch einer umfassenden Übersicht des Wissens aus Vergangenheit und Gegenwart. Our World-wide Knowledge on Calculating Machines, Slide Rules and Calculating Tools. An Approach for a Comprehensive Overview of the Knowledge from Past until Present, Selbstverlag (bestellbar beim Autor), Bangalore, India, 2012. Bem.: Bibliographie und Zugang zu entsprechender Online Datenbank mit mehr als 170 Referenzen zu Harmonischen Analysatoren. <https://www.zerfowski.com/BibQuery/book.php>

[Zer2019] Zerfowski, Detlef: *Calculating Waves - not only on the Beach. Mechanical Calculation of Harmonic Waves by Harmonic Analysers*, IM 2019. Calculating on the Beach. Proceedings of the 25th International Meeting of Collectors of Historical Calculating Instruments, 20.-22. September 2019.

#### Bemerkungen:

1. Bei diesem Beitrag handelt es sich um eine gekürzte, übersetzte Version von [Zer2019].
2. Alle Internetlinks im Literaturverzeichnis abgerufen am 24. Februar 2022.

## Aus dem Fotoalbum\*: Thaleswerk 1924



*Thaleswerk 1924:  
Haupteingang*



*Thaleswerk 1924:  
Rückansicht*

\*gemäß Vorbesitzer sollen die Fotos von Emil Schubert, Mitgründer und Geschäftsführer des Thaleswerks, stammen.