

# **Die Entwicklung der Analogrechentechnik in Thüringen und Sachsen**

**Christine Krause  
Technische Universität Ilmenau**

**3. Greifswalder Symposium zur Entwicklung der Rechentechnik und  
12. Internationales Treffen für Rechenschieber- und Rechenmaschinensammler IM2006**

**Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald  
28. September bis 1. Oktober 2006**

# Einteilung der Rechengерäte

## nach der grundsätzlichen Darstellungsweise der zu verarbeitenden Information

### Digitalrechner

### Analogrechner

#### Darstellung der mathematischen Größen mit Ziffern

#### Darstellung der mathematischen Variablen durch physikalische Größen

##### • mechanisch arbeitende Digitalrechner

- **Ziffern** werden dargestellt durch die Anzahl von **Zähnen** speziell aufgebauter Zahnräder (dekadische Zählräder, Staffelwalzen, Sprossenräder) oder Zahnstangen
- **Rechenoperationen** werden ausgeführt durch Drehbewegungen oder geradlinige Bewegungen

##### • mechanisch arbeitende Analogrechner

- **Variablen** werden dargestellt durch **Strecken** und **Drehwinkel** (von Seilrollentrieben, Gelenktrieben, Zahnstangen- oder Zahnradtrieben, Schnecken- oder Spindeltrieben, Zylinder-Schneidenrad-Trieben u. ä.)
- **Rechenoperationen** werden ausgeführt durch Drehbeweg. oder geradlinige Bewegungen

##### • elektromechan. und elektron. Digitalrechner

- **Ziffern** und **Rechenoperationen** werden erzeugt durch **Impulsfolgen** oder **Magnetisierungszustände** von Relais, Röhren, Ringkernen, Transistoren u. ä.
- Ein- und Ausgabe im **Dezimalsystem**
- interne Verarbeitung im **Dualsystem**

##### • elektronische Analogrechner

- **Variable** werden dargestellt durch **elektrische Spannungen** (abhängige Variable) und **Zeit** (unabhängige Variable)
- **Rechenoperationen** werden durchgeführt durch das **aufgebaute physikalische Modell**

**diskrete Arbeitsweise**

**Erhöhung der Genauigkeit möglich**

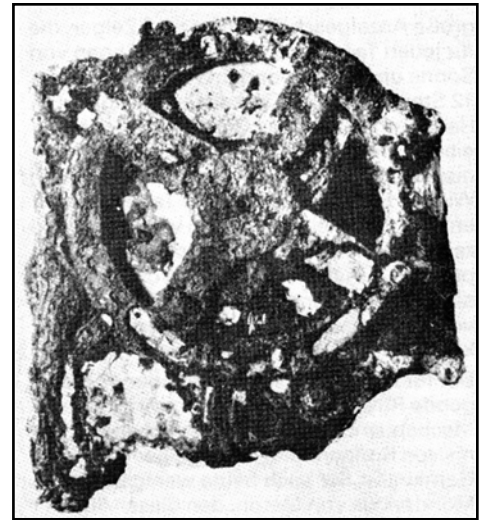
**kontinuierliche Arbeitsweise**

**begrenzte Genauigkeit**

# Historischer Abriss analoger Rechengenäte

Räderwerk von Antikythera

82 v.u.Z.



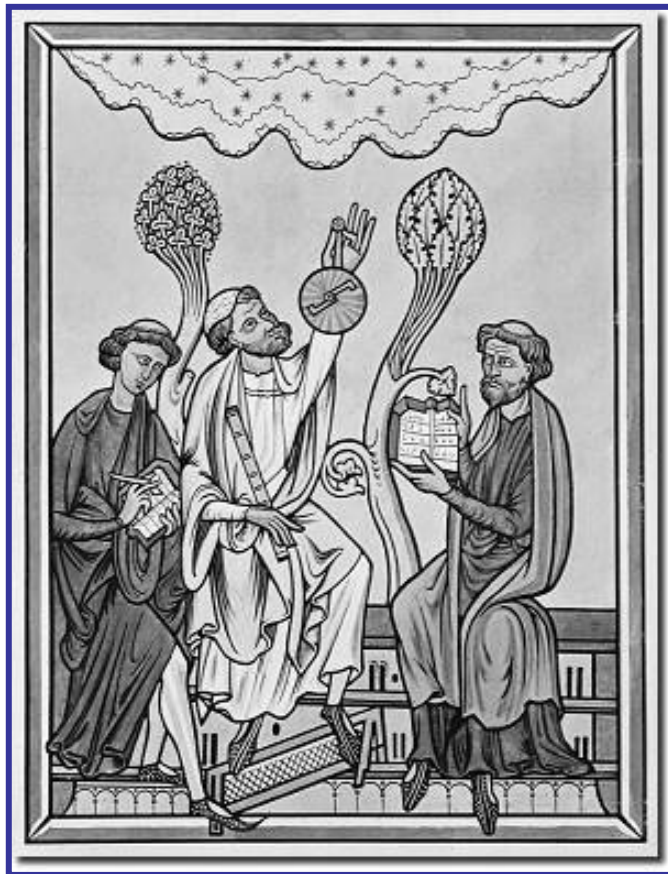
## Historischer Abriss analoger Rechengenäte (2)

Räderwerk von Antikythera

82 v.u.Z.

Astrolabien

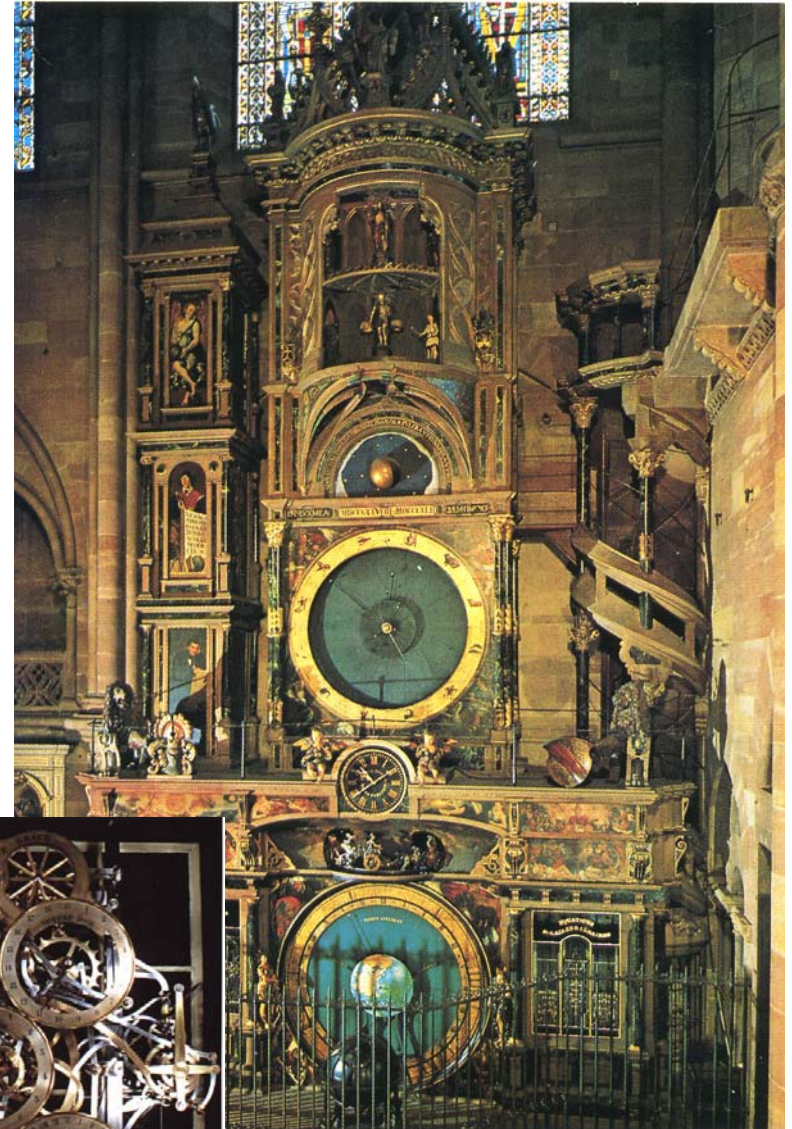
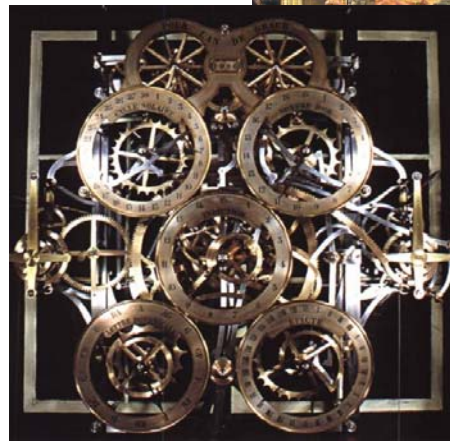
ca. 700





# Historischer Abriss analoger Rechengeräte (3)

Räderwerk von Antikythera	82 v.u.Z.
Astrolabien	ca. 700
astronomische Uhren	14. Jh.



## Historischer Abriss analoger Rechengерäte (4)

<b>Räderwerk von Antikythera</b>	<b>82 v.u.Z.</b>
<b>Astrolabien</b>	<b>ca. 700</b>
<b>astronomische Uhren</b>	<b>14. Jh.</b>
<b>Proportionalzirkel</b>	<b>17. Jh.</b>





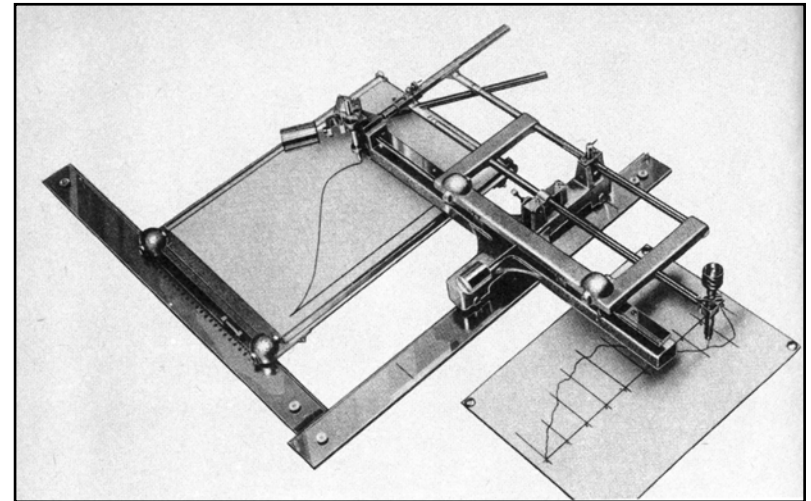
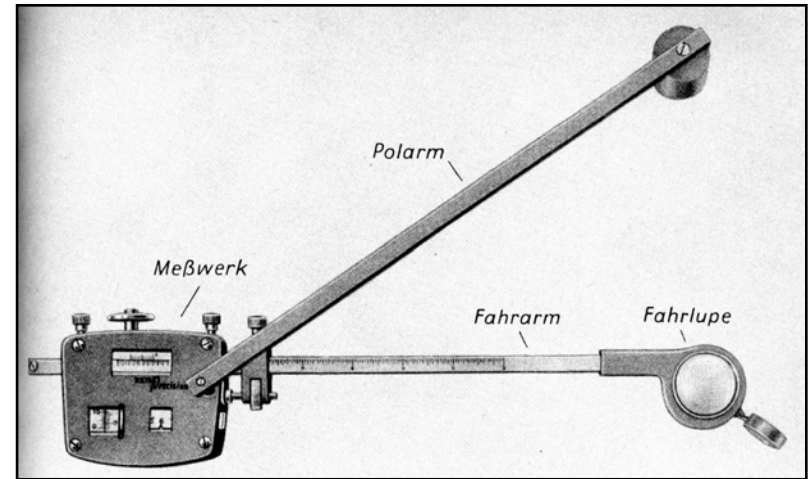
# Historischer Abriss analoger Rechengenäte (5)

<b>Räderwerk von Antikythera</b>	<b>82 v.u.Z.</b>
<b>Astrolabien</b>	<b>ca. 700</b>
<b>astronomische Uhren</b>	<b>14. Jh.</b>
<b>Proportionalzirkel</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>logarithmischer Rechenstab</b>	<b>17. Jh.</b>



## Historischer Abriss analoger Rechengерäte (6)

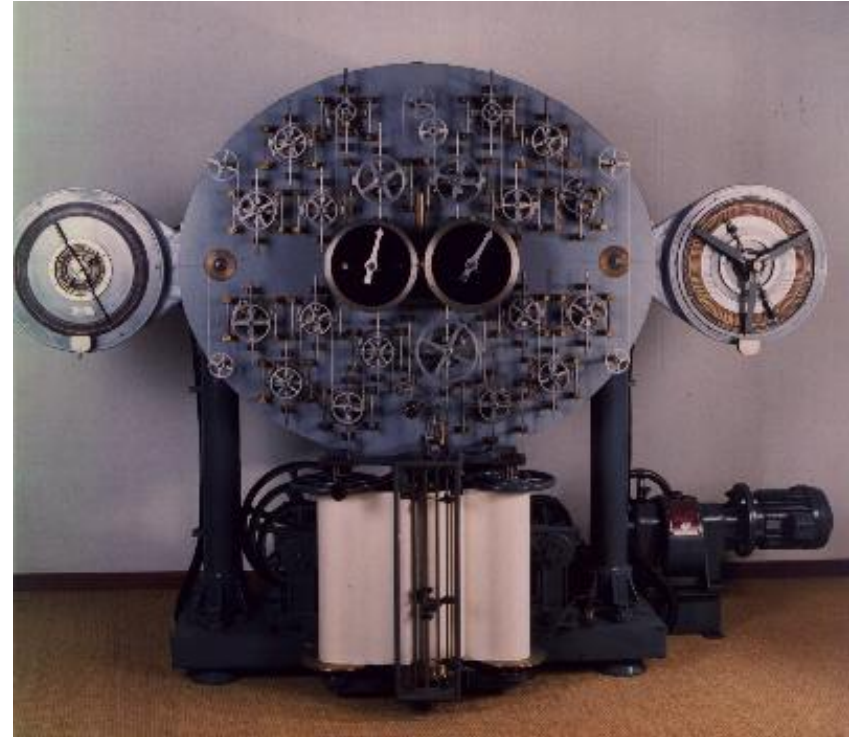
<b>Räderwerk von Antikythera</b>	<b>82 v.u.Z.</b>
<b>Astrolabien</b>	<b>ca. 700</b>
<b>astronomische Uhren</b>	<b>14. Jh.</b>
<b>Proportionalzirkel</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>logarithmischer Rechenstab</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>Planimeter</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>Integraphen</b>	<b>19. Jh.</b>





## Historischer Abriss analoger Rechengeäte (7)

<b>Räderwerk von Antikythera</b>	<b>82 v.u.Z.</b>
<b>Astrolabien</b>	<b>ca. 700</b>
<b>astronomische Uhren</b>	<b>14. Jh.</b>
<b>Proportionalzirkel</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>logarithmischer Rechenstab</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>Planimeter</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>Integraphen</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>Harmonische Analysatoren und Synthesatoren</b>	<b>19. Jh.</b>



## Historischer Abriss analoger Rechengерäte (8)

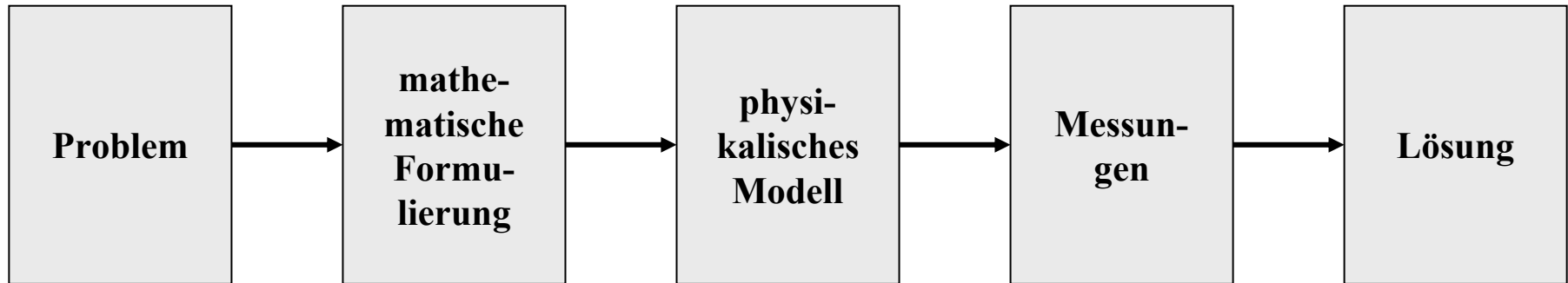
<b>Räderwerk von Antikythera</b>	<b>82 v.u.Z.</b>
<b>Astrolabien</b>	<b>ca. 700</b>
<b>astronomische Uhren</b>	<b>14. Jh.</b>
<b>Proportionalzirkel</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>logarithmischer Rechenstab</b>	<b>17. Jh.</b>
<b>Planimeter</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>Integraphen</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>Harmonische Analysatoren und Synthesatoren</b>	<b>19. Jh.</b>
<b>mechanische Analogrechner</b>	<b>20. Jh.</b>
<b>elektronische Analogrechner</b>	<b>20. Jh.</b>

**Prinzip der Rückkopplung, 1876**  
Lord Kelvin (William Thomson)  
(1824 – 1907)

**Der Ausgang eines Elementes,  
das am Ende einer Kette von  
Elementen liegt, wird mit dem  
Eingang des Anfangselementes  
der Kette verbunden.**

**Grundidee für den Bau  
von Analogrechnern**

# Prinzip der Analogrechnertechnik



Ist ein technisches Problem mathematisch formuliert, so schaltet man auf dem Analogrechner so viele Rechenelemente zu einem System zusammen wie mathematische Operationen auszuführen sind.

Die mathematische Beschreibung dieses physikalischen Modells muss mit der mathematischen Formulierung des technischen Problems übereinstimmen.

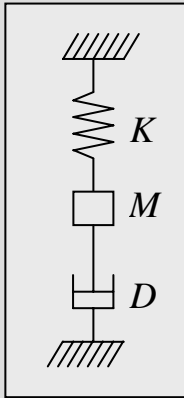
Die Lösung der gestellten Aufgabe ergibt sich dann durch Messung am analogen System.

Rechenschaltung

$\hat{=}$

Programm

**Beispiel:  
mechanischer  
Schwinger**

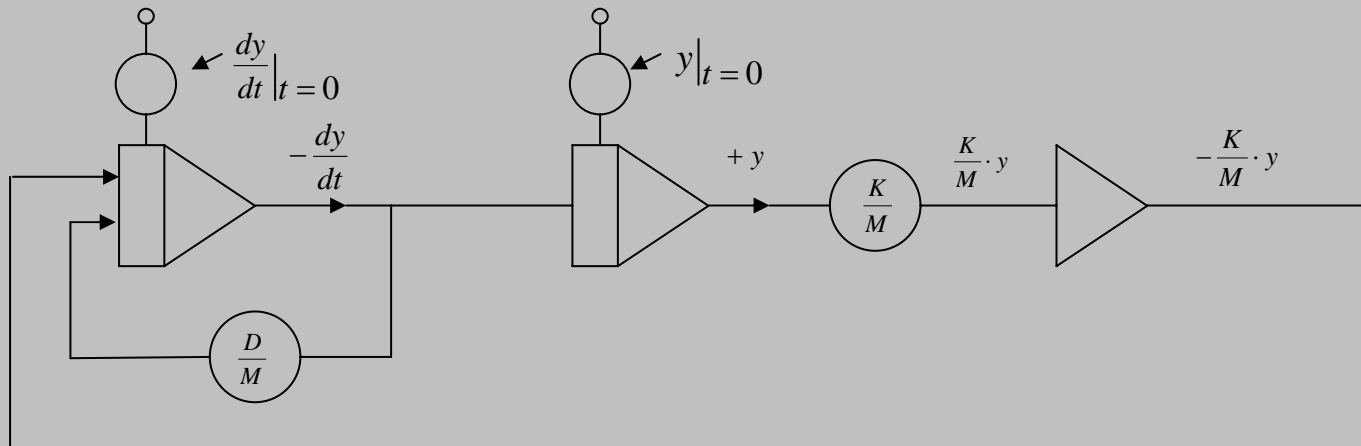
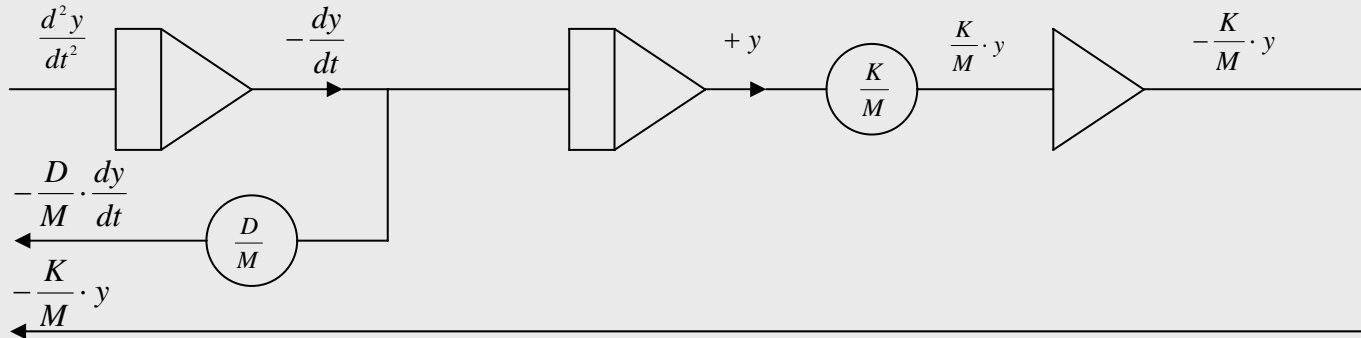


$$M \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + D \cdot \frac{dy}{dt} + K \cdot y = 0$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{D}{M} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{K}{M} \cdot y = 0$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{D}{M} \cdot \frac{dy}{dt} - \frac{K}{M} \cdot y$$

rechte  
Seite  
der  
DGL





# Spezielle Analogrechner / Universelle Analogrechner

## mechanische Analogrechner

Verkopplung von  
**Integriergetrieben**  
(Reibradprinzip, Schneidenradprinzip)  
mit  
**Rechengetrieben**  
(Additions- und Multiplikationsgetriebe)

**Drehmomentenverstärker**  
zentraler Antrieb

**Ein- und Ausgabe:**  
**Koordinatentische**

## elektronische Analogrechner

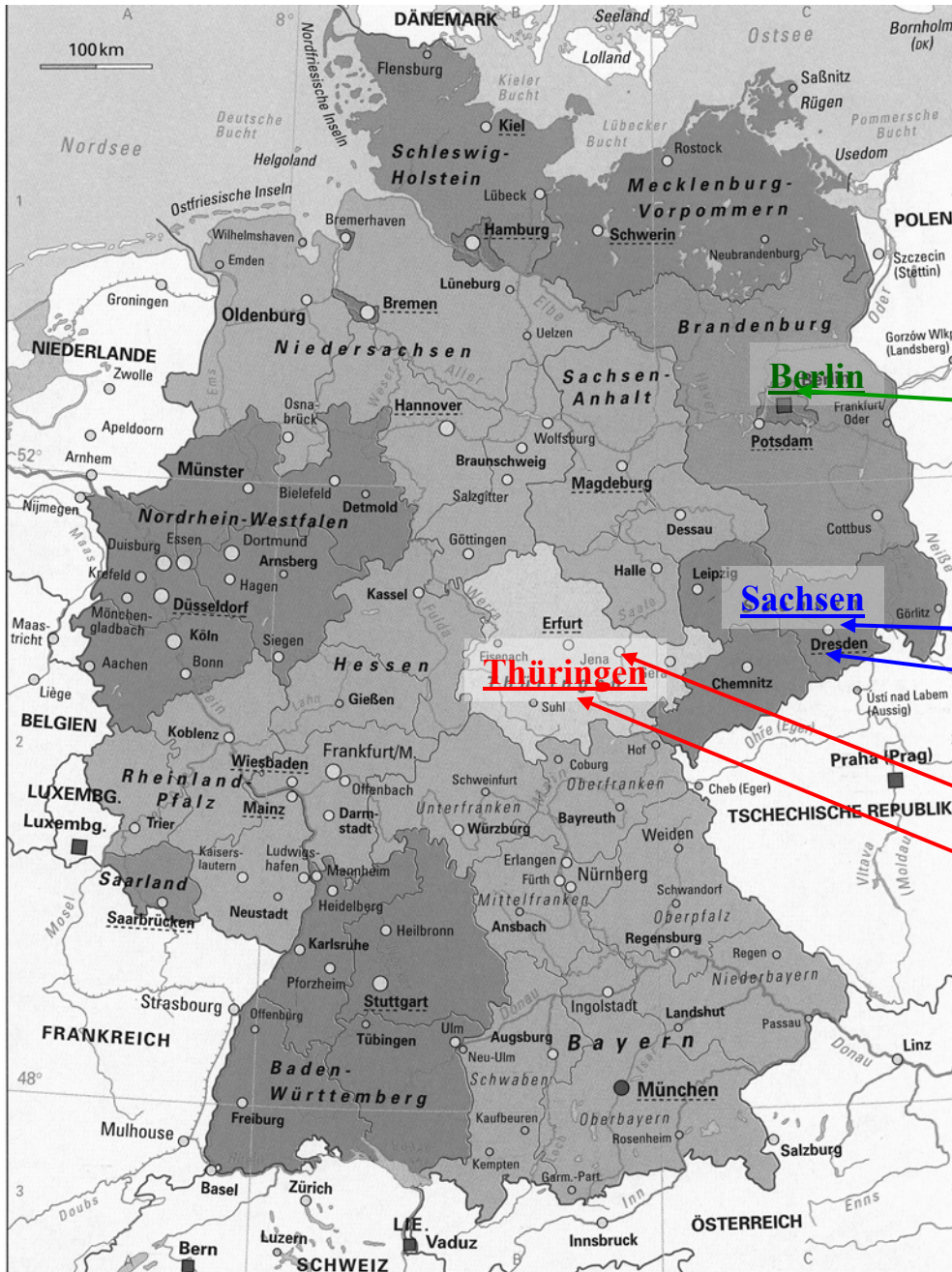
**elektronische Verstärker auf der Basis**  
**von Elektronenröhren oder Transistoren**

**Potentiometerfeld**  
**Programmierfeld**

**Eingabe: Steuerfeld (Anfangsbedingungen)**

**Ausgabe:**  
**Elektronenstrahl-Oszillographen**  
**XY-Koordinatenschreiber**  
**Digitalvoltmeter**  
**Zeitschreiber**

# Die Entwicklung der Analogrechen-technik im Osten Deutschlands



Berlin

- Berlin

Sachsen

- Rossendorf
- Glashütte

Thüringen

- Jena
- Ilmenau

# Mechanische Integrieranlagen in Deutschland (Auswahl)

- 1938 – 1947** Differentialgleichungsmaschine IPM-Ott  
(TH Darmstadt / Fa. Ott in Kempten)  
am **Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt**
- 1954** Integrieranlage Göttingen  
(Sauer/Brückner/Fa. Askania Berlin / Fa. Schoppe & Faeser Minden)  
am **Institut für Instrumentelle Mathematik Bonn**
- 1955** Integrieranlage Göttingen  
(Sauer/Brückner/Fa. Askania Berlin / Fa. Schoppe & Faeser Minden)  
am **Mathematischen Institut der Siemens-Schuckert-Werke Erlangen**
- 1959** Mechanische Integrieranlage  
am **Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**Mechanische Integrieranlage  
am Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik (IfAMM)  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**geistiger Vater:**

Prof. Dr. Ernst Weinel, Direktor des IfAMM

**theoretische Grundlagen:**

Diplomarbeiten von L. Seifert

H. Peuker

**technische Ausführung:**

Hans und Rolf Hammerschmidt,

Werkstatt des Institutes für Angewandte Optik

**Inbetriebnahme:**

Februar 1959

**Nutzung:**

in erster Linie für Ausbildungszwecke



# **Mechanische Integrieranlage am Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik (IfAMM) der Friedrich-Schiller-Universität Jena (2)**

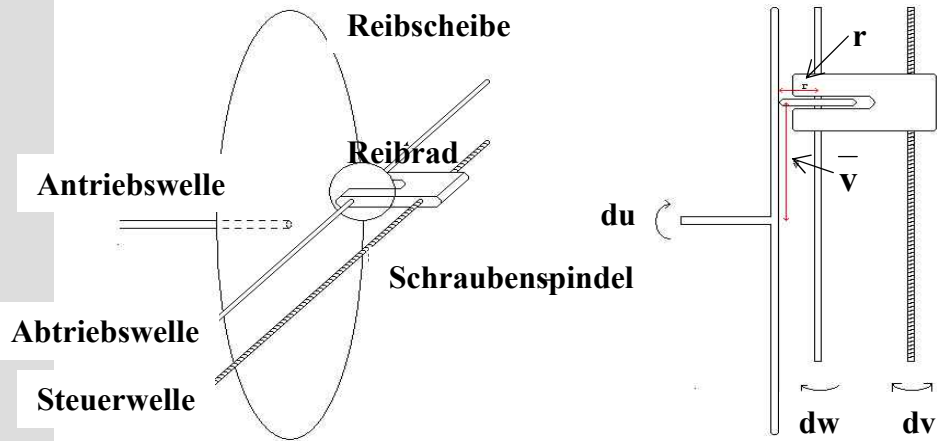
## **Aufgabengebiete:**

- Lösung linearer und nichtlinearer DGL-Systemen bis 3. Ordnung
- Lösung linearer Gleichungssysteme  
(durch Zurückführung auf DGL-Systeme)

## **Ungenauigkeit:**

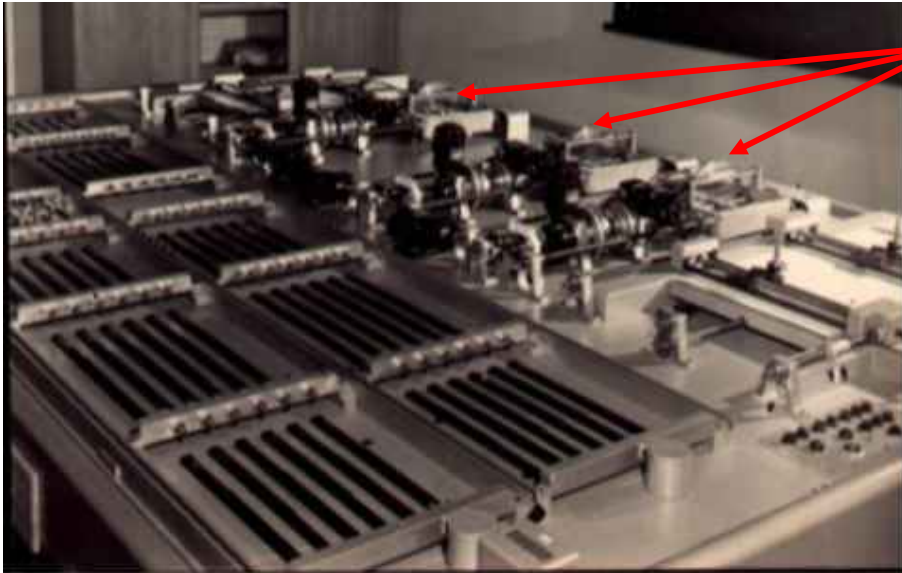
unter 1% (bei zusätzlichem Aufwand für die Justierung)

# Mechanik (Gonella-Reibrad-Integrator)

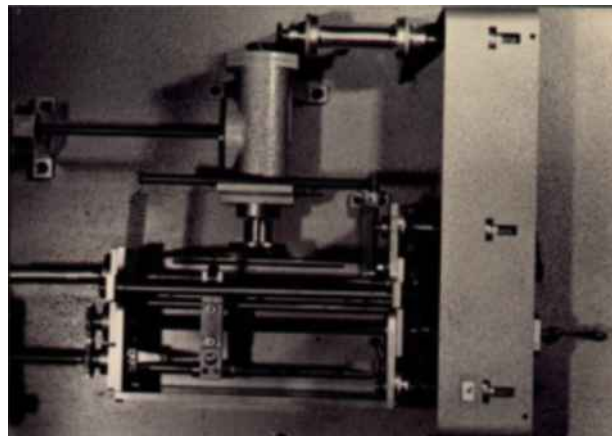
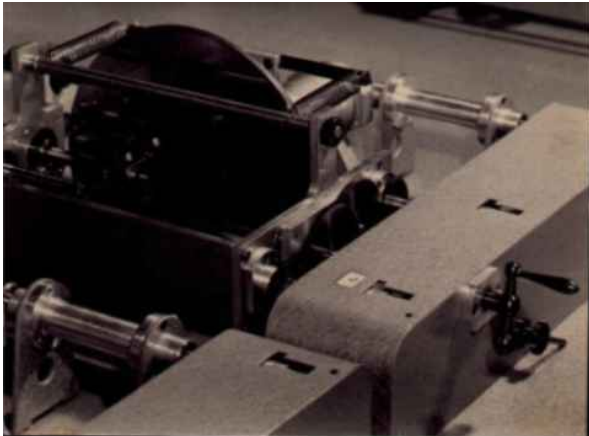


$$W - W_0 = \int_{u_0}^u v du$$

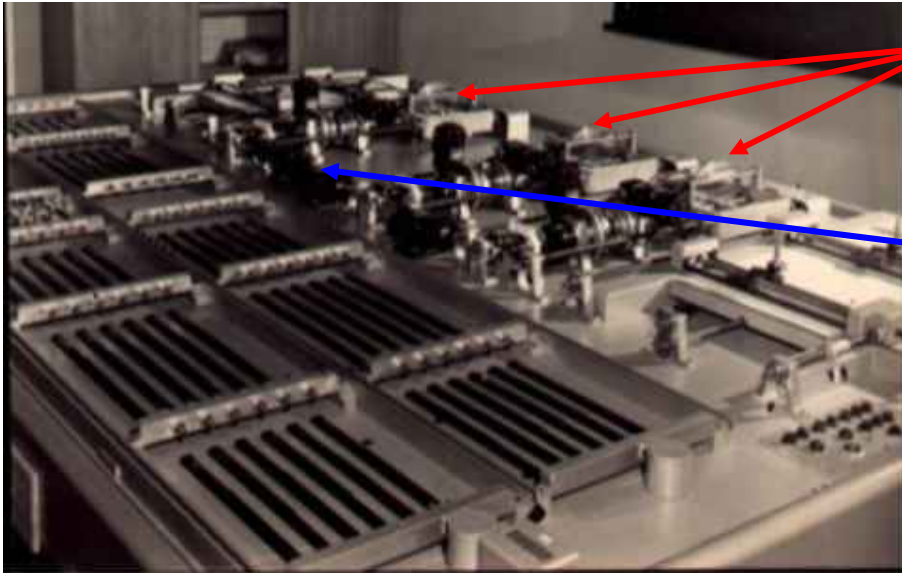
# Aufbau der mechanischen Integrieranlage



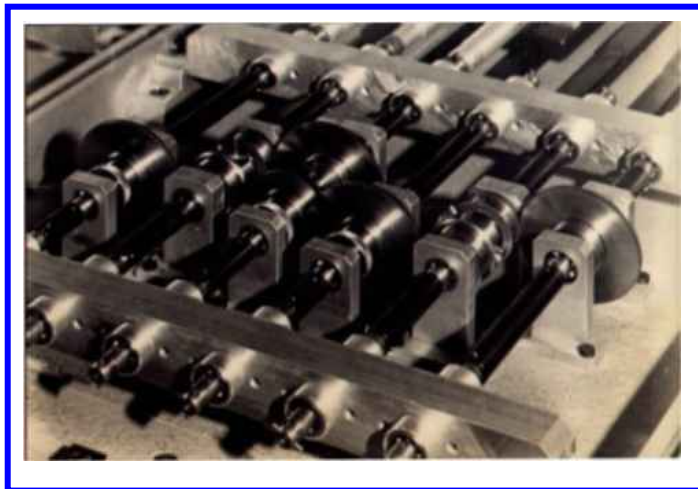
- 3 Gonella-Reibrad-**Integratoren** mit Drehmomentenverstärkern und Getrieben zum Ausgleich der Umkehrlose



## Aufbau der mechanischen Integrieranlage (2)

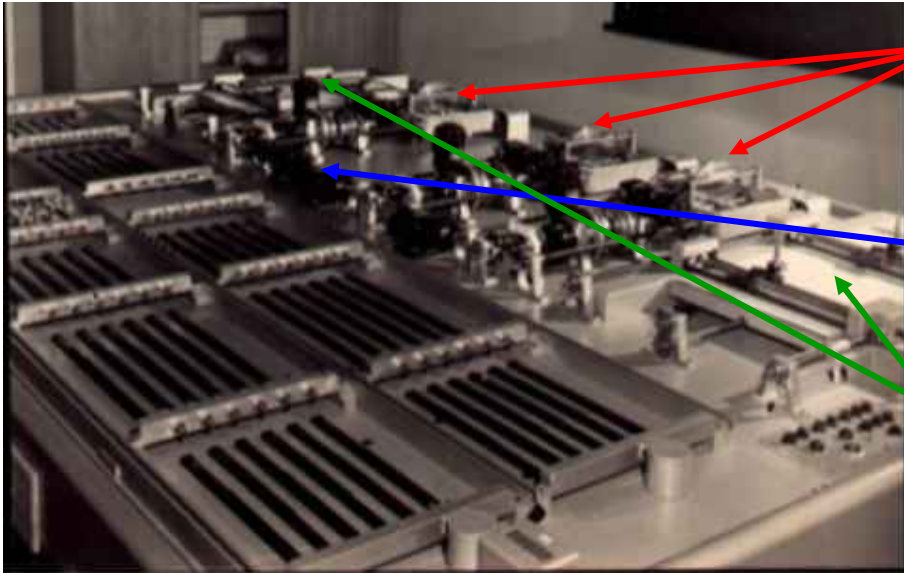


- 3 Gonella-Reibrad-**Integratoren** mit Drehmomentenverstärkern und Getrieben zum Ausgleich der Umkehrlose
- 1 **Addiergetriebe** für die Addition von drei bzw. zweimal zwei Summanden





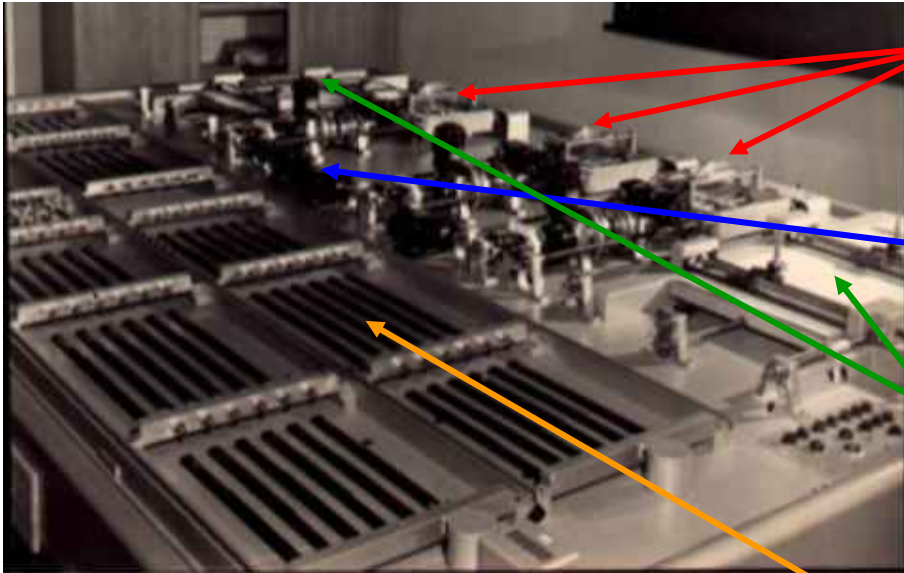
## Aufbau der mechanischen Integrieranlage (3)



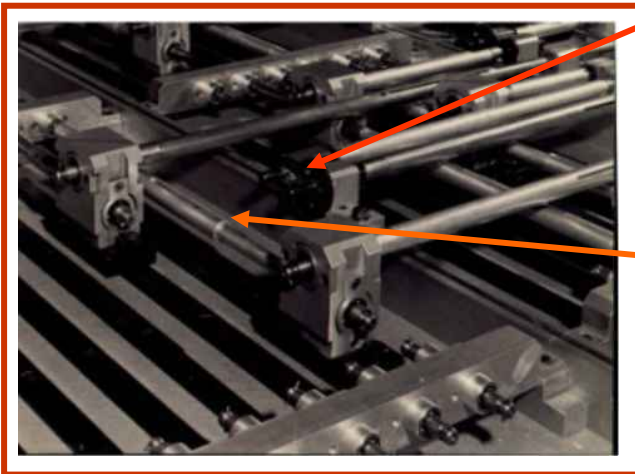
- 3 Gonella-Reibrad-**Integratoren** mit Drehmomentenverstärkern und Getrieben zum Ausgleich der Umkehrlose
- 1 **Addiergetriebe** für die Addition von drei bzw. zweimal zwei Summanden
- 2 **Doppel-Funktionstische** zur graphischen Aufzeichnung der Lösungskurven (je eine Abszissen- u. zwei Ordinatenachsen)



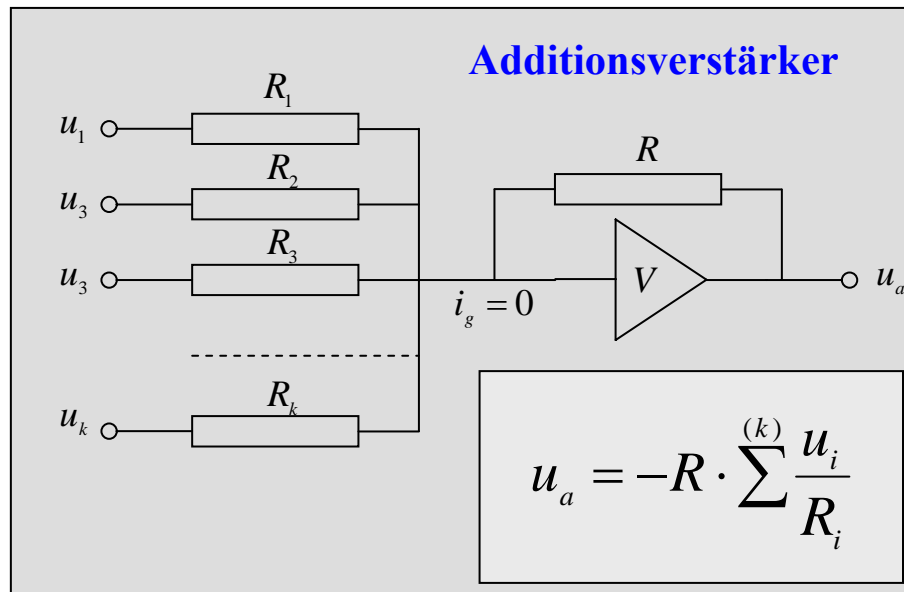
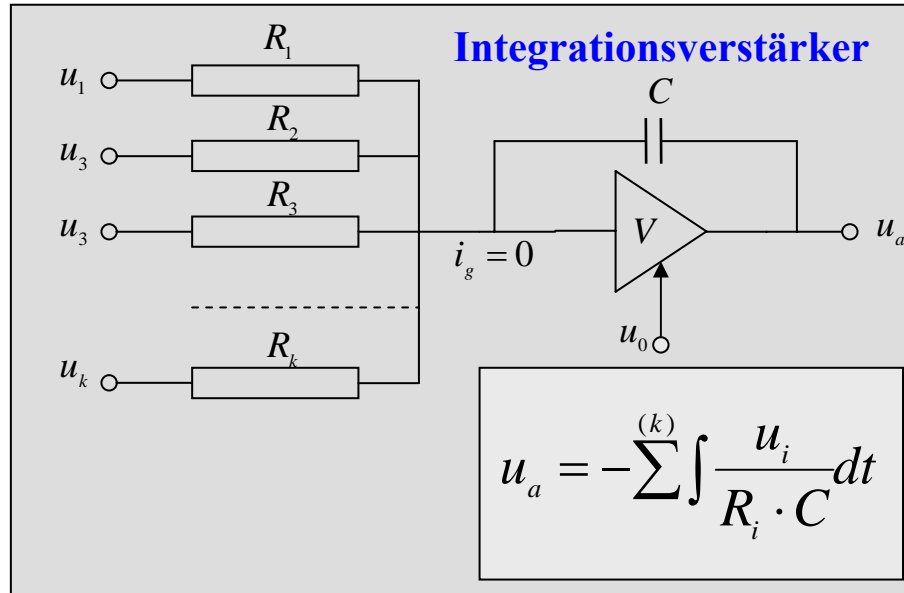
## Aufbau der mechanischen Integrieranlage (4)



- 3 Gonella-Reibrad-**Integratoren** mit Drehmomentenverstärkern und Getrieben zum Ausgleich der Umkehrlose
- 1 **Addiergetriebe** für die Addition von drei bzw. zweimal zwei Summanden
- 2 **Doppel-Funktionstische** zur graphischen Aufzeichnung der Lösungskurven (je eine Abszissen- u. zwei Ordinatenachsen)
- 21 variable **Konstantenmultiplikatoren**
- **Kopplungsfeld** mit **Teleskopwellen** zur Verkopplung der Rechenelemente und zum Richtungs- und Vorzeichenwechsel



# Elektronik



# Elektronische Analogrechner in Deutschland (Auswahl)

- 1941** erster elektronischer Analogrechner der Welt (Röhrentechnik)  
entwickelt von **Helmut Hoelzer** (geb. in Bad Liebenstein/ Thüringen)  
Raketenforschungszentrum Peenemünde / Forsthaus Neu-Pudagla(Usedom)  
A4 (V2)-Entwicklung
- 1959** **UNIMAR**  
Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau Berlin
- 1959** **EARI / EAR6** (Röhrentechnik)  
Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau / Glashütte
- 1961** **RAT 700 / RAT 742** (Transistortechnik)  
Telefunken Ulm
- 1963** **endim 2000** (Röhrentechnik)  
Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau /  
Zentralinstitut für Kernphysik Rossendorf / ... / Glashütte

# Der elektronische **U**niversale **M**odell- und **A**nalogrechner **U**NIMAR

## **Entwicklung und Erprobung:**

Analogrechenzentrum und Institut für Regelungstechnik  
im VEB Wissenschaftlich-technisches Büro für Gerätebau Berlin

## **Abschluss der Entwicklung:**

Frühjahr 1959

## **Vorstellung** (der Vorgängermodelle als Modellregelkreise):

Leipziger Frühjahrmessen 1957 und 1958





# Der elektronische Universale Modell- und Analogrechner UNIMAR (2)

## **Charakteristik:**

universeller Analogrechner  
sowohl mit repetierender Arbeitsweise als auch mit Langzeit-Betrieb

Aufbau nach dem Baukastenprinzip

## **Aufgabengebiete:**

- Lösung von Differentialgleichungen
- Modellregelkreis

## **Ungenauigkeit:**

unter 1%

# Die **e**lektronische **A**nalogie**r**echenanlage **I**lmenau **E**ARI

## **Entwicklung, Konstruktion und Fertigung des Prototypen:**

Ilmenauer Forschungsgruppe unter Leitung des Physikers Prof. Dr. Helmut Winkler,  
Direktor des Instituts für Physik der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau (HfE)

(auf der Grundlage einer dreiseitigen Abstimmung zwischen der FSU Jena,  
der TU Dresden und der HfE Ilmenau)

## **Abschluss der Entwicklung:**

Frühjahr 1959

## **Vorstellung:**

IV. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der HfE Ilmenau, Oktober 1959

## **Produktion einer Nullserie des Prototypen als EAR 6:**

Rechenmaschinenwerk „Archimedes“ Glashütte/Sachsen

(der Betrieb stellte sich damit von der Fertigung mechanischer Rechner auf  
die Produktion elektronischer Rechenanlagen um)

# Die elektronische Analogierechenanlage Ilmenau EARI (2)

## **Charakteristik:**

universeller Kurzzeit-Analogrechner mit repetierender Arbeitsweise

Aufbau nach dem Baukastenprinzip  
(15 verschiedene zusammenfügbare Baugruppen)

## **Aufgabengebiete:**

- Lösung linearer und nichtlinearer DGL-Systemen (einschließlich der Rand- und Eigenwertprobleme)
- Lösung partieller DGL
- Lösung algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme

## **Ungenauigkeit:**

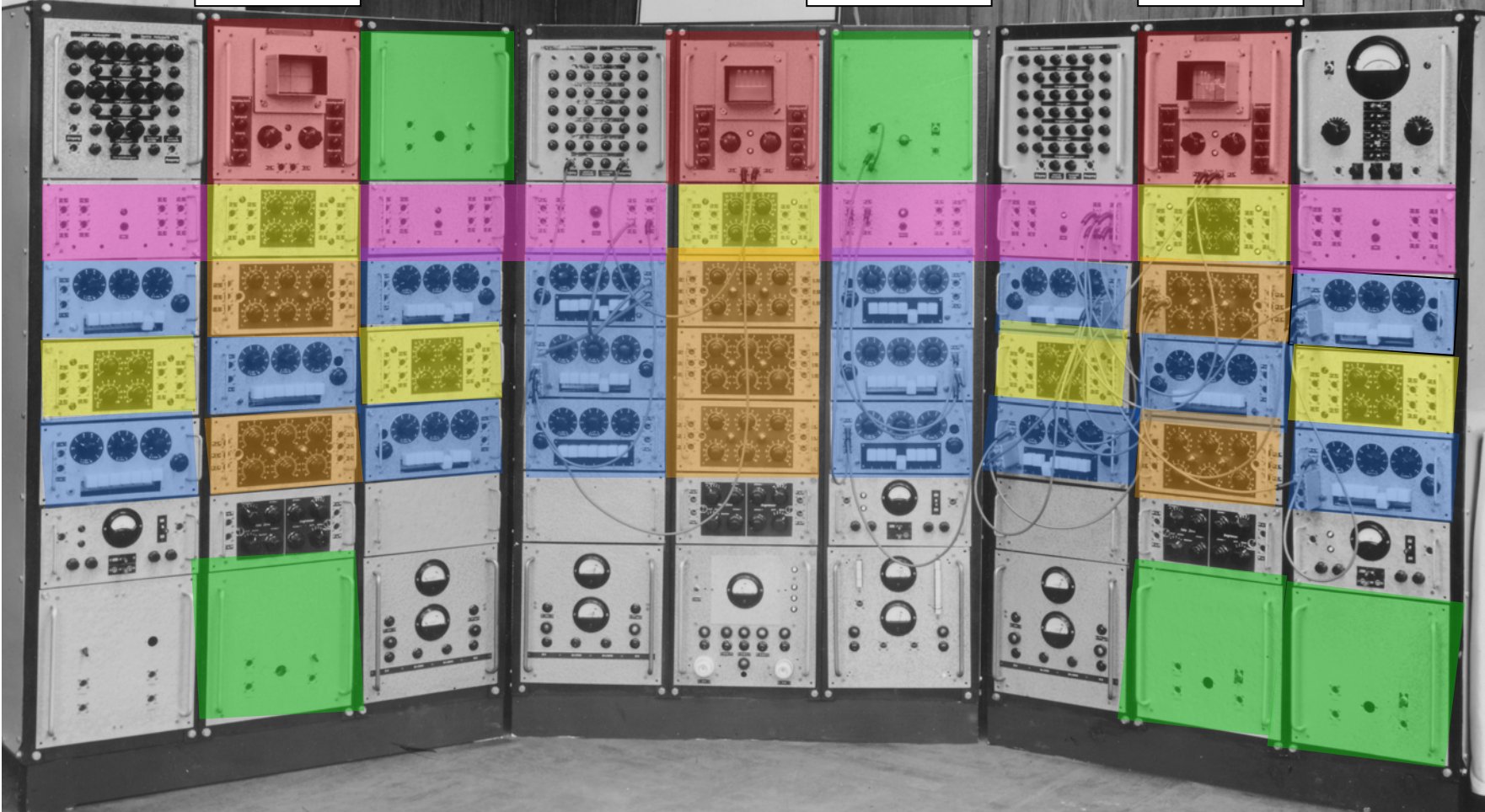
unter 1%

**Zusatzteil**

**Zentralteil**

**Zusatzteil**

Elektronische Analoge-Rechenanlage (EAR)  
im Institut für Physik der  
Technische Universität Braunschweig  
Jahreszahl: 1970



**Integration**

**Multiplikation**

**Addition**

**Ausgabe:  
Oszillogr.**

**Funktionsmultiplikation**

**Vorzeichenumkehr**



# Der elektronische Analogrechner endim 2000

## Entwicklung und Konstruktion:

mehrere Entwicklungszentren, besonders:

- Institut für Physik der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau (Prof. Dr. Helmut Winkler),
- Abteilung Technik des Zentralinstituts für Kernphysik Rossendorf (Dr. Faulstich)

## Abschluss der Entwicklung:

1. Halbjahr 1963

## Serienfertigung (etwa 20 Geräte):

VEB Rechenelektronik Glashütte/Sachsen



## Der elektronische Analogrechner endim 2000 (2)

### **Charakteristik:**

universeller Langzeit-Analogrechner  
modulare Bauweise

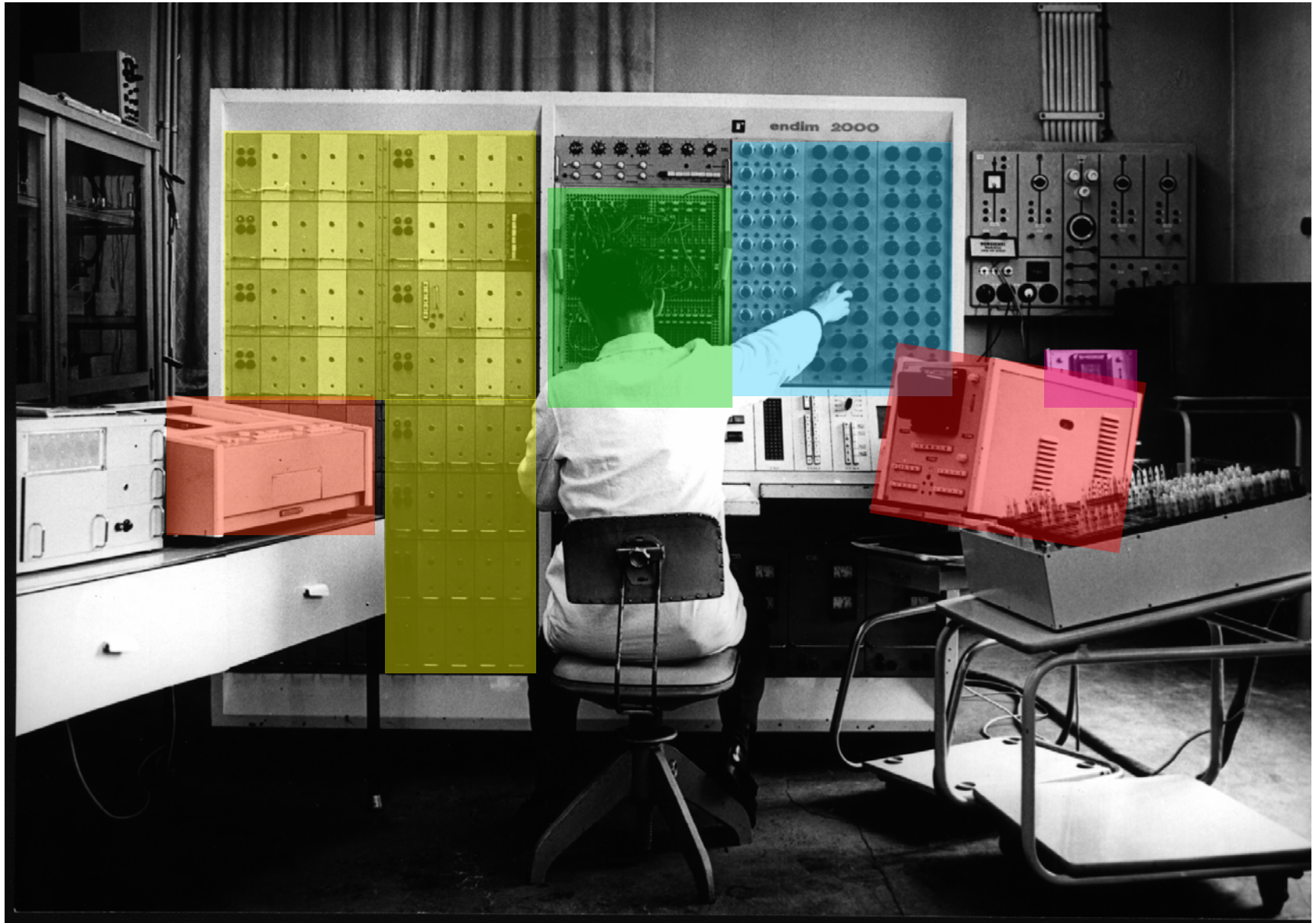
### **Aufgabengebiete:**

Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen

### **Ungenauigkeit:**

etwa 1%

# Der elektronische Analogrechner endim 2000 (3)



Steckbrett

Potentiometer

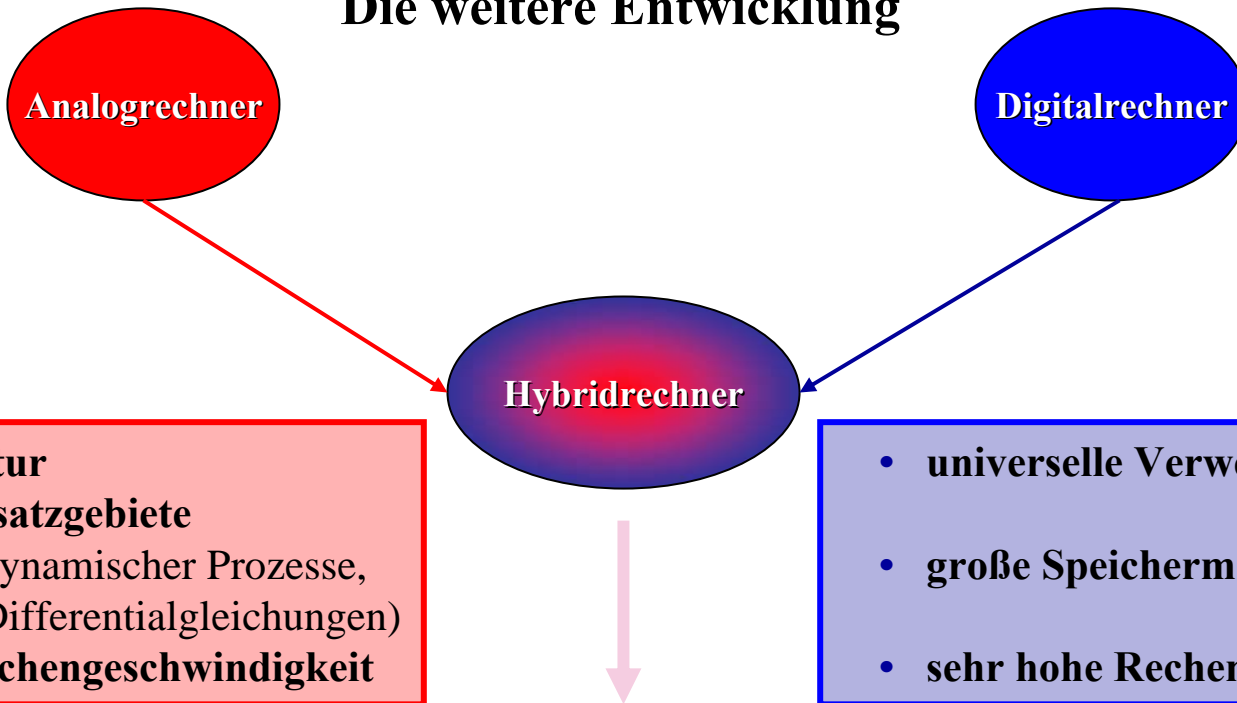
Ausgabe:  
Voltmeter

Ausgabe:  
Oszillograph

Ausgabe:  
Plotter

Module

# Die weitere Entwicklung



- **Modellstruktur**
- **spezielle Einsatzgebiete**  
(Simulation dynamischer Prozesse,  
Lösung von Differentialgleichungen)
- **sehr hohe Rechengeschwindigkeit**

- **universelle Verwendbarkeit**
- **große Speichermöglichkeiten**
- **sehr hohe Rechengenauigkeit**

- Vergrößerung der **Rechengenauigkeit** des **Analogrechners** unter Beibehaltung seiner **Rechnerorganisation** durch Verwendung **digital** arbeitender Rechelemente (z. B. digitale Integrieranlagen)
- Vergrößerung der Flexibilität durch Übernahme der Organisation des **Digitalrechners**
- Vergrößerung der **Rechengeschwindigkeit** und **Anpassungsfähigkeit** des **Digitalrechners** durch Einbeziehung von **Analogrecheneinheiten** bzw. **vollständigen Analogrechnern**, von **AD-** und **DA-Wandlern** und **Kopplungssystemen** zur Verwendung als **Prozess-Kontrollrechner** und **Simulator**

→ **Hybride Rechenanlage**

**Die Analogrechentechnik war eine Episode in der Geschichte der Informatik.**

**Sie hatte für viele Anwendungen ihre Berechtigung  
und besaß eine besondere Bedeutung.**

**Durch den enormen Fortschritt der Mikroelektronik und die damit  
verbundenen neuen Möglichkeiten für die Digitalrechentechnik wurde  
die Analogrechentechnik weitgehend verdrängt.**

**Aber es gibt durchaus Einsatzfelder, in denen sie wieder wichtig werden kann.**