



Mit Energie in die Zukunft

Mathematik in der Elektrizitätsversorgung oder Ohne Mathematik bleibt es dunkel

Dr. Ing. Eric Jennes
Bereichsleiter Technischer Service





Agenda

- Kurzvorstellung ÜWAG

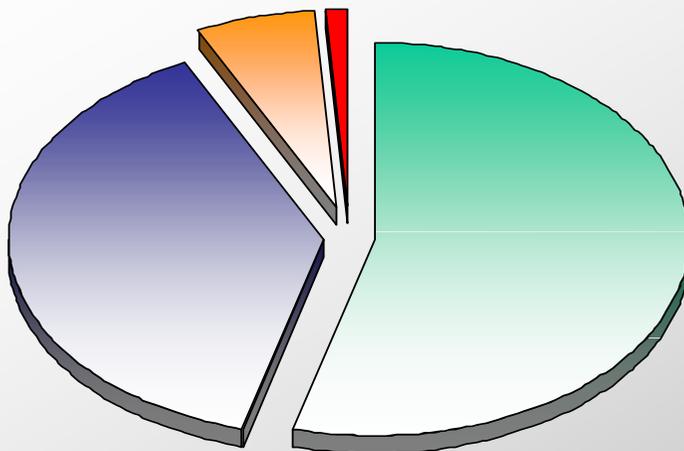
- ① Am Anfang steht eine Investition
- ② Die Sache mit der Induktion
- ③ Die Spannung schwankt und ist komplex
- ④ Achtung Unbekannte
- ⑤ Die Schönheit der Elektrotechnik
- ⑥ Zurück zu den Grundlagen

Finanzmathematik
Differential-/Integralrechnung
komplexe Rechnung
Gleichungssysteme
Vektoren
Grundrechenarten

- Zusammenfassung und Fazit

Die ÜWAG: Aktiengesellschaft in kommunaler Hand

Anteilsstruktur



Landkreis Fulda 52,06%

Stadt Fulda 41,16 %

Main-Kinzig-Kreis 5,71 %

Landkreis Hersfeld-Rotenburg 1,07 %

Die ÜBERLANDWERK FULDA AKTIENGESELLSCHAFT ist ein kommunales Unternehmen. **Alleiniger Aktionär ist der Zweckverband Überlandwerk Fulda-Hünfeld-Schlüchtern**, in dem sich die Stadt Fulda und drei Landkreise zusammengeschlossen haben.

Die ÜWAG-Gruppe



Drei Bereiche:

- Energiewirtschaft
- Technischer Service
- Zentrale Dienste

ÜWAG NETZ GMBH



Wir bewegen mehr.

ÜVG

ÜWAG
Bus GmbH

VGF
Verkehrsgesellschaft
Region Fulda mbH

Energieversorgung

Dienstleistungen

ÖPNV



Kennzahlen zum Netzgebiet



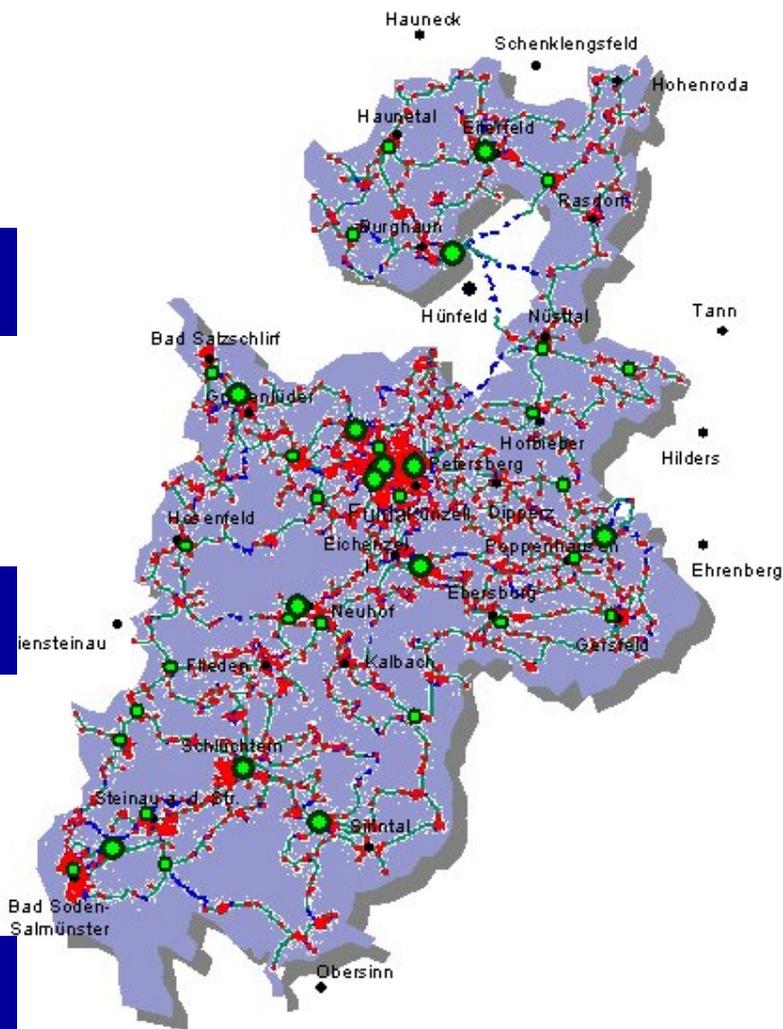
13
Umspannwerke



rd. 1.700 km
20-kV-Leitungen



rd. 2.000
Trafostationen



rd. 4.300 km
1-kV-Leitungen



rd. 64.500
Hausanschlüsse



25
Schaltstationen



Agenda

- Kurzvorstellung ÜWAG

- ① Am Anfang steht eine Investition
- ② Die Sache mit der Induktion
- ③ Die Spannung schwankt und ist komplex
- ④ Achtung Unbekannte
- ⑤ Die Schönheit der Elektrotechnik
- ⑥ Zurück zu den Grundlagen

Finanzmathematik
Differential-/Integralrechnung
komplexe Rechnung
Gleichungssysteme
Vektoren
Grundrechenarten

- Zusammenfassung und Fazit

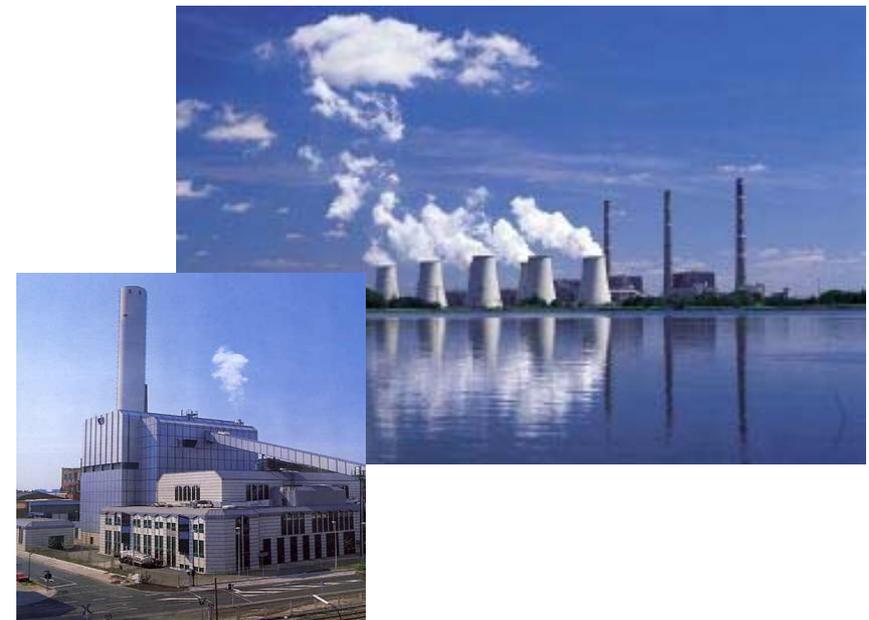


Am Anfang steht eine Investition

Benötigte Mathematik und Anwendungsbeispiele

- Mathematik: Finanzmathematik, Zins und Zinseszins, Potenzen
- Anwendung: Überprüfung der Wirtschaftlichkeit einer Investition, z.B. Kraftwerk; Vergleich verschiedener Investitionsvorhaben

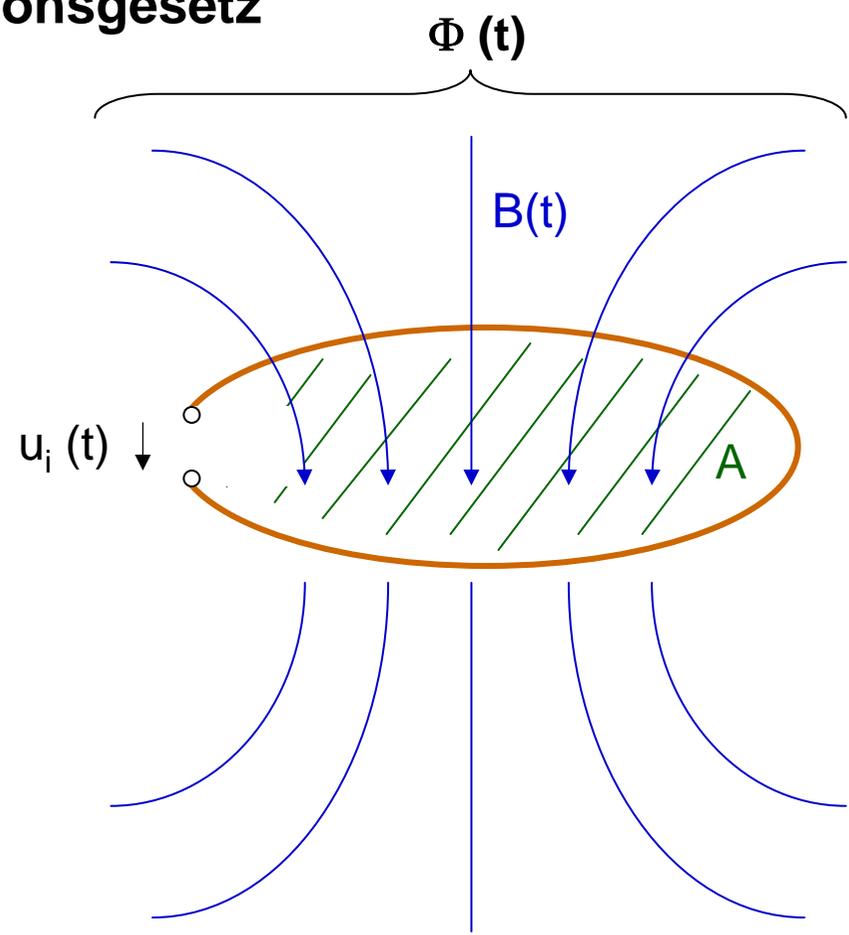
Bau eines GuD-Kraftwerkes														
Parameter														
Ermittlungskosten	600 €/kW													
Nennleistung	150 MW													
Anschaffungsauszahlung A ₀	90.000.000 €													
Wirkungsgrad	0,58													
Benutzungstunden	7.000 h/a													
Brennstoffpreis	15 €/MWh													
Fixkosten	3% der Investitionssumme													
Betriebskosten	2% der Investitionssumme													
Strompreis	39 €/MWh													
Nutzungsdauer n	20 Jahre													
Kalkulationszins i	8,0%													
Diskontfaktor q	1,080													
Nennbarwertfaktor	9,818													
Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Auszahlungen														
Anschaffungsauszahlung	-45.000.000	-36.000.000	-9.000.000											
Fixkosten	0	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000
Betriebskosten	0	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000	-1.800.000
Brennstoffkosten	0	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172	-27.155.172
Einzahlungen														
Umsatzerlöse	0	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000	40.950.000
Zahlungssaldo	-45.000.000	-26.705.172	294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828	9.294.828
Diskontierungsfaktor	1,000	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	0,429	0,397	0,367
Barwertige Zahlungen	-45.000.000	-24.727.011	252.767	7.378.534	6.831.976	6.325.903	5.857.318	5.423.443	5.021.706	4.649.728	4.305.304	3.986.392	3.691.104	3.424.104
Barwerte (kumuliert)	-45.000.000	-69.727.011	-69.474.244	-62.095.711	-55.263.735	-48.937.831	-43.080.513	-37.657.071	-32.635.365	-27.985.637	-23.680.333	-19.693.941	-16.002.837	-12.500.000
Kapitalwert														
Kapitalwert	5.208.605													
Annuität	530.508													
Amortisationszeit (dyn)	17,5 Jahre													
Interner Zinsfuß	8,9%	8,0%												





Die Sache mit der Induktion

Induktionsgesetz



$$\Phi(t) = \iint_A B(t) \cdot dA$$

$$u_i(t) = -\frac{d\Phi}{dt}$$

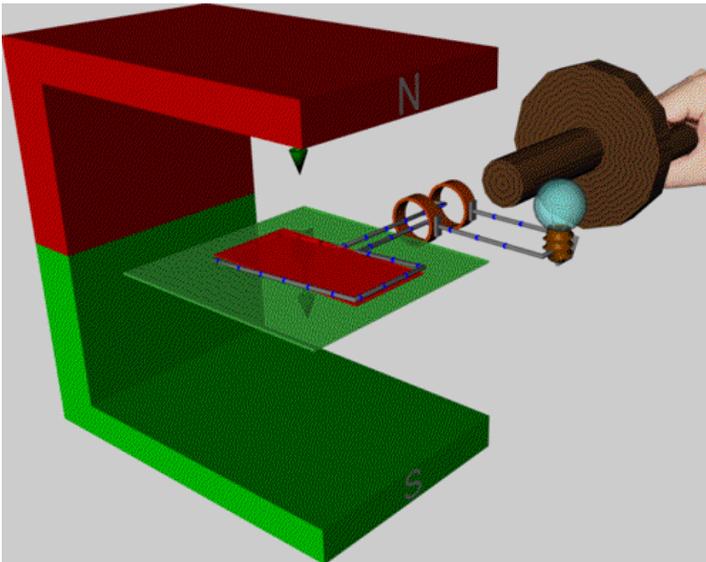
- B: magnetische Flussdichte
- Φ: magnetischer Fluss
- u: elektrische Spannung



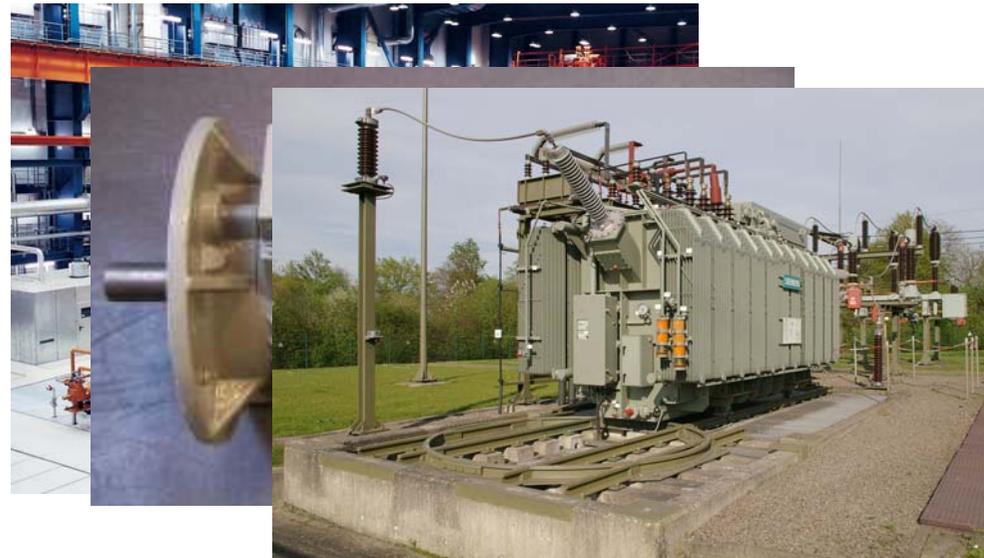
Die Sache mit der Induktion

Benötigte Mathematik und Anwendungsbeispiele

- Mathematik: Integral- / Differentialrechnung
- Anwendung: Stromerzeugung (Generatoren), Antriebe (Motoren)
Spannungswandler (Transformatoren)



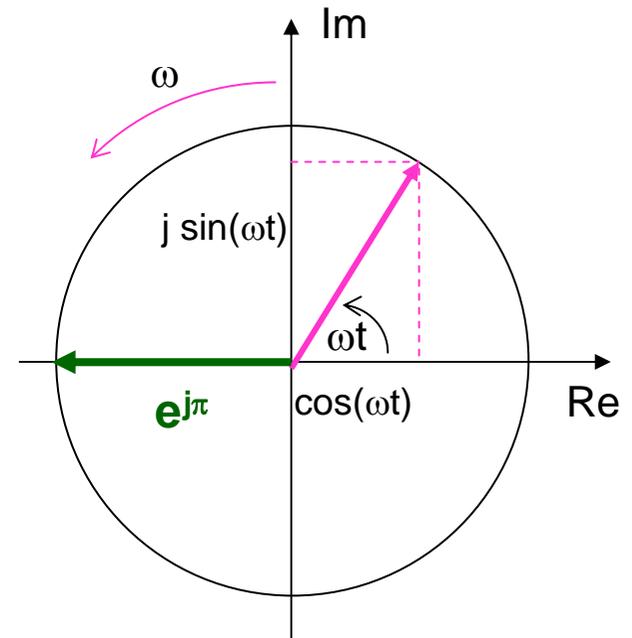
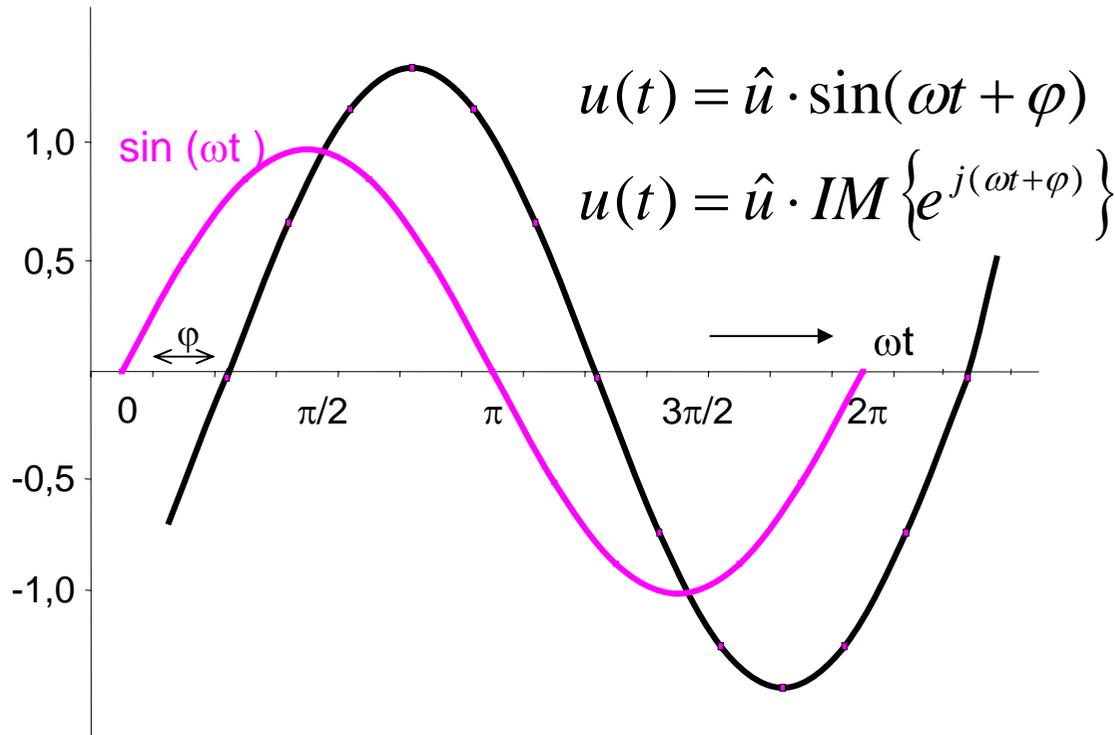
Quelle: wikipedia.de





Die Spannung schwankt und ist komplex

Sinusförmige Vorgänge, Drehzeiger und komplexe Größen



Eulersche Formel:

$$e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t)$$

⇒

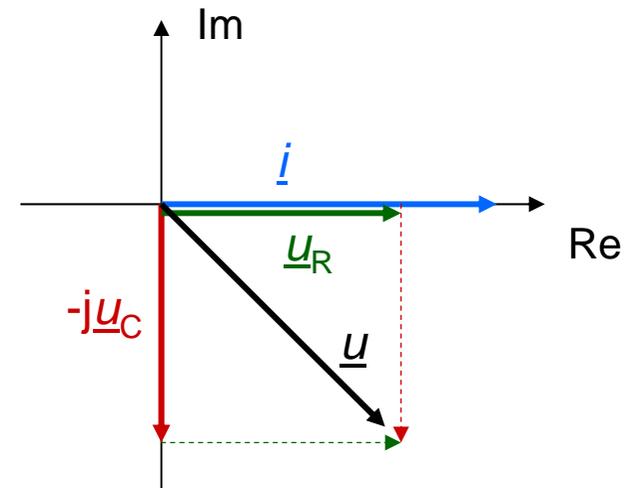
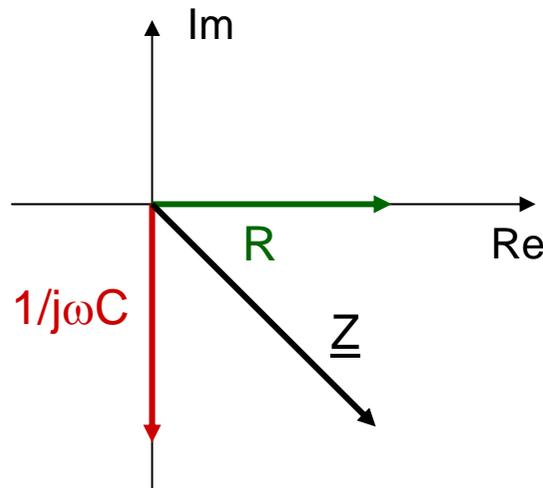
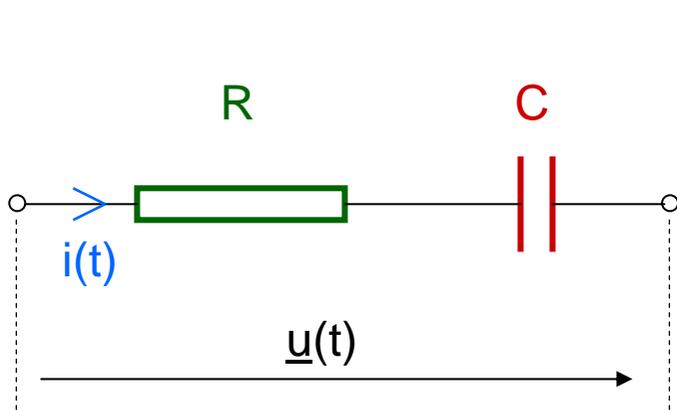
$$\sin(\omega t) = \text{Im} \left\{ e^{j\omega t} \right\}$$



Die Spannung schwankt und ist komplex

Benötigte Mathematik und Anwendungsbeispiele

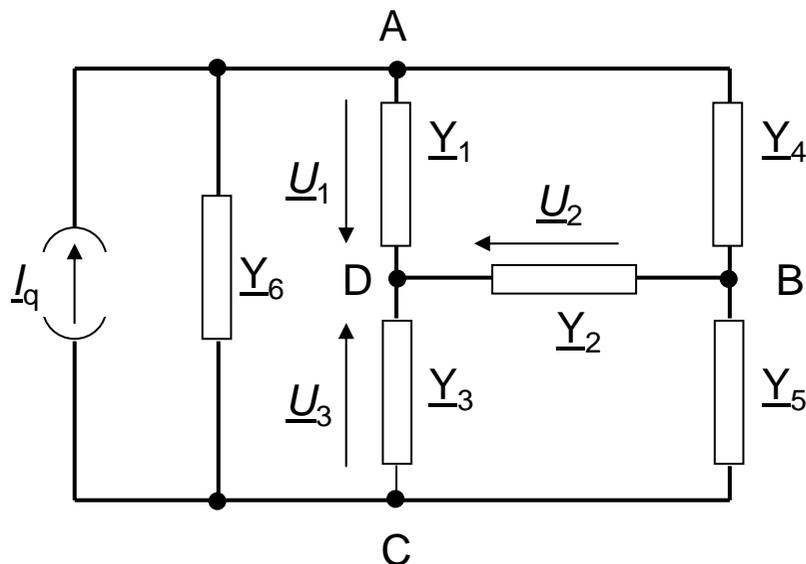
- Mathematik: Trigonometrische Funktionen, komplexe Zahlen
- Anwendung: Berechnung von Schaltungen bei sinusförmigen Vorgängen





Achtung Unbekannte

Berechnung von Netzen - Knotenpotentialverfahren



	\underline{U}_1	\underline{U}_2	\underline{U}_3	
Knoten A	$\underline{Y}_1 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_6$	$-\underline{Y}_4$	$-\underline{Y}_6$	I_q
Knoten B	$-\underline{Y}_4$	$\underline{Y}_2 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5$	$-\underline{Y}_5$	0
Knoten C	$-\underline{Y}_6$	$-\underline{Y}_5$	$\underline{Y}_3 + \underline{Y}_5 + \underline{Y}_6$	$-I_q$

$\underline{U}_1 \dots \underline{U}_3$: unbekannte Spannungen

$\underline{Y}_1 \dots \underline{Y}_6$: komplexe Admittanzen

I_q : Quellenstrom

3 Gleichungen

3 Unbekannte

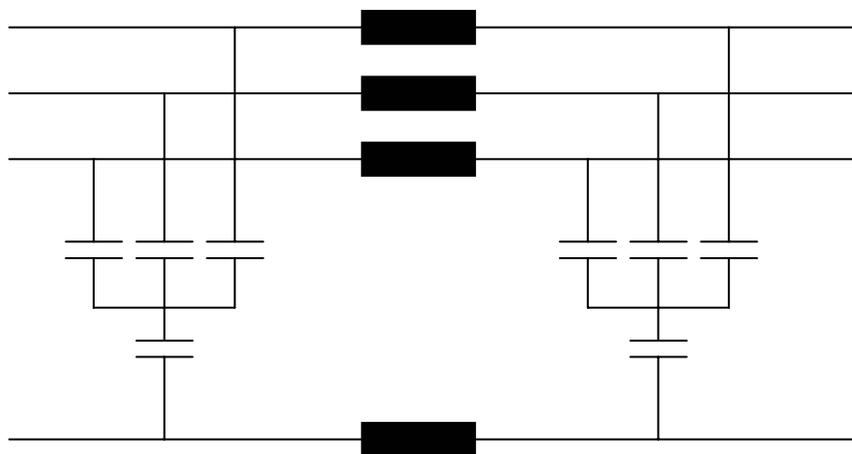
⇒ **Problem lösbar**



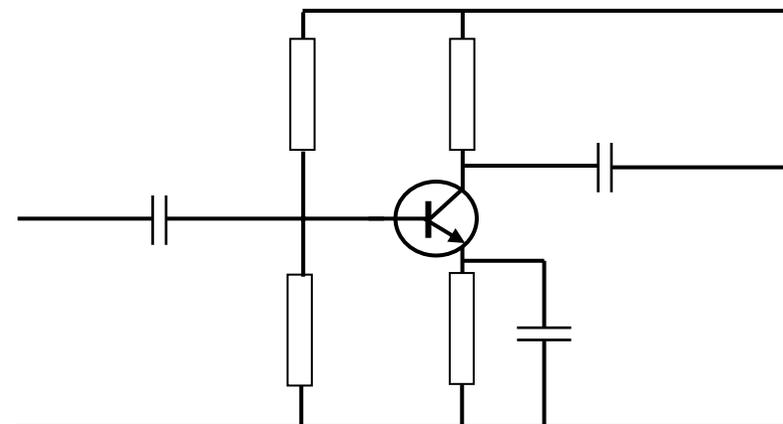
Achtung Unbekannte

Benötigte Mathematik und Anwendungsbeispiele

- Mathematik: Lineare Gleichungssysteme, Matrizenrechnung
- Anwendung: Netzwerkberechnungen aller Art: Lastflussberechnung, Kurzschlussstromberechnung, Auslegung elektronischer Schaltungen



Ersatzschaltbild der verlustlosen Drehstromfreileitung



Verstärkerschaltung



Die Schönheit der Elektrotechnik

Maxwellsche Gleichungen

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = \iint_A \vec{S} \cdot \vec{n} \cdot dA + \frac{d}{dt} \iint_A \vec{D} \cdot \vec{n} \cdot dA$$

Durchflutungsgesetz

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \iint_A \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dA$$

Induktionsgesetz

$$\oiint_A \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dA = 0$$

Quellenfreiheit der magnetischen Flussdichte

$$\oiint_A \vec{D} \cdot \vec{n} \cdot dA = \iiint_V \rho \cdot dV$$

Quellen der elektrischen Verschiebungsdichte



Zurück zu den Grundlagen

Regulierung von Netznutzungsentgelten

$$EO_t = KA_{dnb,t} + (KA_{vnb,0} + (1 - V_t) \cdot KA_{b,0}) \cdot \left(\frac{VPI_t}{VPI_0} - PF_t \right) \cdot EF_t + Q_t$$

EO_t : Erlösobergrenze im Jahr t

$KA_{dnb,t}$: dauerhaft nicht beeinflussbare Kostenanteile im Jahr t

$KA_{vnb,0}$: vorübergehend nicht beeinflussbare Kostenanteile im Jahr 0

$KA_{b,0}$: beeinflussbare Kostenanteile im Jahr 0

V_t : Verteilungsfaktor im Jahr t

VPI_t : Verbraucherpreisgesamtindex im Jahr t

PF_t : Genereller sektoraler Produktivitätsfaktor im Jahr t

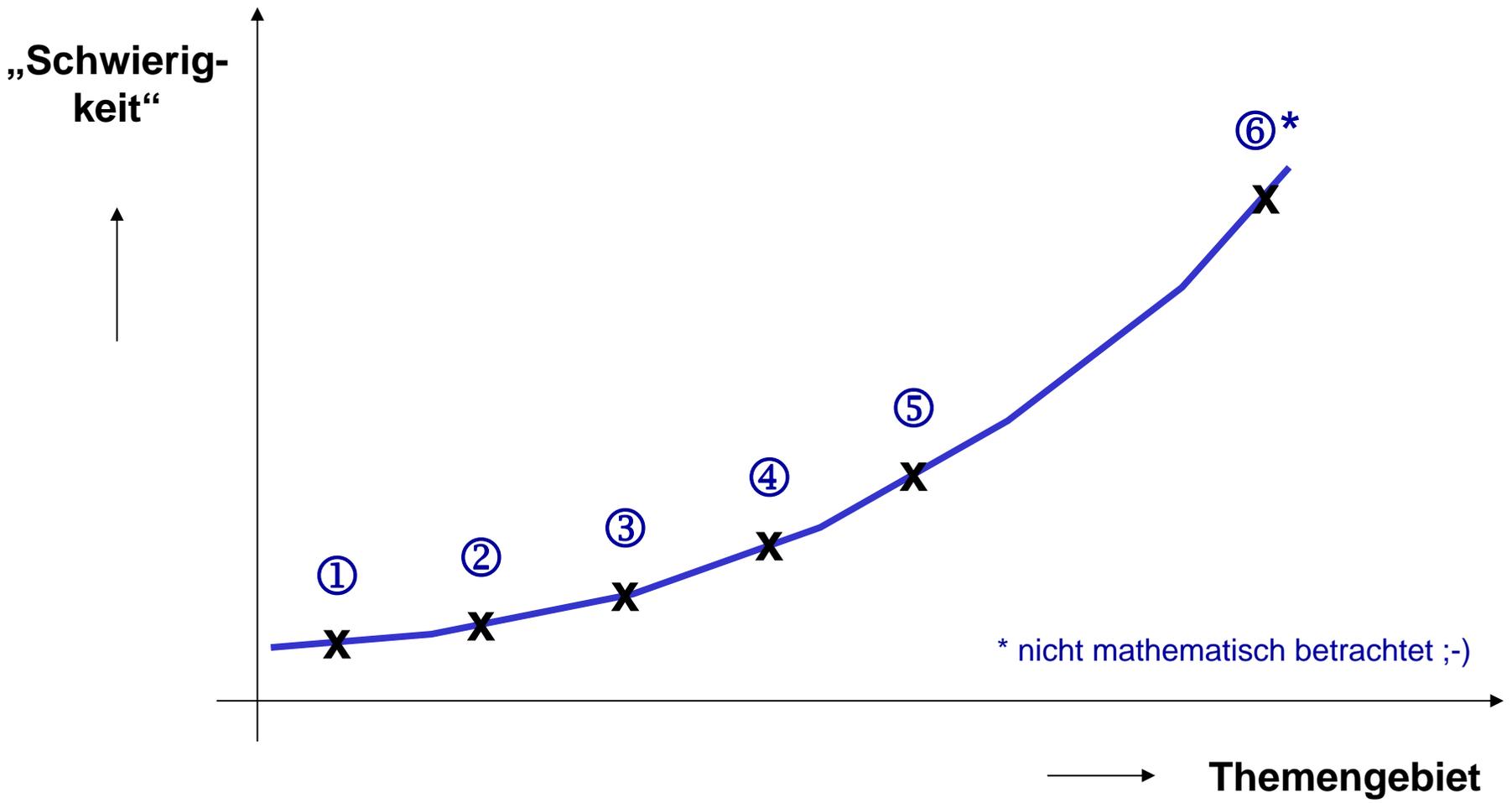
EF_t : Erweiterungsfaktor im Jahr t

Q_t : Qualitätsfaktor im Jahr t

- Mathematik: Addition, Multiplikation
- Anwendung: Anreizregulierung
- Schwierigkeit: rechtliche Definition bzw. Ermittlung der Summanden/Faktoren



Reihung der Themengebiete



Agenda

- Kurzvorstellung ÜWAG

- ① Am Anfang steht eine Investition
- ② Die Sache mit der Induktion
- ③ Die Spannung schwankt und ist komplex
- ④ Achtung Unbekannte
- ⑤ Die Schönheit der Elektrotechnik
- ⑥ Zurück zu den Grundlagen

Finanzmathematik
Differential-/Integralrechnung
komplexe Rechnung
Gleichungssysteme
Vektoren
Grundrechenarten

- Zusammenfassung und Fazit



Zusammenfassung und Fazit

- In der Elektrizitätsversorgung und der Elektrotechnik im allgemeinen ist Mathematik ein unverzichtbares Hilfsmittel

⇒ ohne Mathematik bleibt es dunkel !



Mit Energie in die Zukunft

**„Die Mathematik befriedigt den Geist
durch ihre außerordentliche Gewissheit“**

Johannes Kepler (1571 – 1630), dt. Astronom



Überlandwerk Fulda Aktiengesellschaft
Bahnhofstr. 2
36037 Fulda
Tel. 0661 12 – 302
Fax. 0661 12 – 255
eric.jennes@uewag.de

