

Energietechnik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kapitel E Einleitung

Technische Universität Darmstadt
Institut für Elektrische Energiewandlung

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Andreas Binder



E Einleitung

Lernziele



Verständnis für die physikalischen Grundlagen zu den uns verfügbaren Energiequellen und Energievorräten sowie zum weltweiten und nationalen Energiebedarf

Kennenlernen der grundlegenden Energiewandlungsprozesse und der weltweiten und nationalen Energieflüsse

Einblicke in die Grundlagen der elektrischen Energieerzeugung, Versorgung und Verteilung, Beherrschung grundlegender Berechnungsverfahren

Grundlegendes Verständnis der Funktionsweise der erforderlichen Komponenten für die elektrische Energieversorgung im Verbundnetz

Kennenlernen möglicher Prinzipien für die Energiespeicherung zur nachhaltigen Nutzung unserer regenerativen Energiequellen



E Einleitung

Vorlesungsinhalt



E Einleitung

G Grundlagen (Wiederholung aus „Physik“ und „ET“)

R Ressourcen und Energieströme

B Bedarf und Wachstum

P Prozesse

T Transformatoren und Generatoren

V Elektrische Energieversorgung

S Speicher



E Einleitung

1. **Kontakt zum Institut**
2. **Prüfungsmodalitäten**
3. **Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen**
4. **Motivation: Warum Energietechnik lernen?**
5. **Energieeinheiten**
6. **Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“**
7. **Wie geht es weiter?**

E1 Kontakt zum Institut

Adresse



Energietechnik

Andreas Binder
Institut für Elektrische Energiewandlung
Technische Universität Darmstadt

Landgraf-Georg-Straße 4
D-64283 Darmstadt
Tel.: 06151-16-24181 oder -24182, Fax: -24183
E-Mail: abinder@ew.tu-darmstadt.de

M.Sc. Martin Schuster
Tel.: 06151-16-24191 bzw. -24181, Fax -24183
E-Mail: mschuster@ew.tu-darmstadt.de



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. Energieeinheiten
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E2 Prüfungsmodalitäten

Randbedingung der Klausur



- Schriftlich
- Dauer 2 Stunden (120´)
- Aufbau:
 - Drei Berechnungsaufgaben (3 x 30´ = 90´)
 - Drei Theoriefragen (3 x 10´ = 30´)
- Zwei Prüfungstermine pro Jahr



E2 Prüfungsmodalitäten

Vorkenntnisse, Lernbehelfe



a) Vorkenntnisse:

- Vorlesung “Elektrotechnik und Informationstechnik 1 + 2“
(Küppers/Hanson u. Griepentrog)
- Vorlesung “Physik ETiT 1 + 2“
- Mathematik 1 + 2

**Wiederholung im
Kap. G**

b) Lernbehelfe:

- Besuch der Vorlesung und der begleitenden Übung & Tutorial
- Rumpf-Skript “Energietechnik” Download (MOODLE)
- Aufgabensammlung “Energietechnik” Download (MOODLE)
- Foliensatz “Energietechnik” Download (MOODLE)
- Demo-Videos über MOODLE Link
- Exkursion

**Druckversion
bei *CityCopies*,
Holzstrasse 5**



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. Energieeinheiten
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E3 Literatur, verwendete Quellen, Formelzeichen

Gute Bücher über fundierte Grundlagen



Grundlagen der Elektrotechnik

Clausert Horst al. (G.Wiesemann/J.Stenzel/V.Hinrichsen):
Grundgebiete der Elektrotechnik 1 u. 2, Oldenbourg-Verlag, München, 11. Aufl., 2011

Theoretische Elektrotechnik

Küpfmüller, Karl; (Mathis, Karl; Reibiger, Albrecht): 19. Aufl., Springer, Heidelberg, 2013

Gerthsen Physik

Gerthsen, Christian; (Meschede, Dieter): 24. Aufl.; Springer, Heidelberg, 2013

Mathematik

Arens, Tilo u. a.: 2. Aufl.; Spektrum Akad. Verlag, 2012

Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau

Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, Jörg (Hsg.): 24. Aufl.; Springer-Vieweg, Heidelberg, 2014



E3 Literatur, verwendete Quellen, Formelzeichen Grundlagen, Komponenten und Systeme



Literaturliste in „Energietechnik – Aufgabensammlung: Einleitung“

z. B.

▪ **Komponenten:**

- [Fis] Fischer, R.: Elektrische Maschinen, 12. Auflage, Hanser-Verlag, München, 2004

▪ **Vertiefung zu Systemen:**

- [Qua] Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme, Hanser-Verlag, München, 9. Aufl., 2015
- [Boh] Bohn, T. (Hsg.): Elektrische Energietechnik, Handbuchreihe Energie, 4. Bd., Verlag TÜV Rheinland, 1987



E3 Literatur, verwendete Quellen, Formelzeichen

Formelzeichen - Das griechische Alphabet



- **Formelzeichen-Liste** in:
„Energietechnik – Aufgabensammlung: Einleitung“

z. B.:

Das griechische Alphabet

$A \alpha$	Alpha	$B \beta$	Beta	$\Gamma \gamma$	Gamma
$\Delta \delta$	Delta	$E \varepsilon$	Epsilon	$Z \zeta$	Zeta
$H \eta$	Eta	$\Theta \vartheta$	Theta	$I \iota$	Jota
$K \kappa$	Kappa	$\Lambda \lambda$	Lambda	$M \mu$	My (mue)
$N \nu$	Ny (nue)	$\Xi \xi$	Xi	$O \omicron$	Omikron
$\Pi \pi$	Pi	$\rho \rho$	Rho	$\Sigma \sigma$	Sigma
$T \tau$	Tau	$\Upsilon \upsilon$	Ypsilon	$\Phi \phi$	Phi
$X \chi$	Chi	$\Psi \psi$	Psi	$\Omega \omega$	Omega



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. Energieeinheiten
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E Einleitung

Motivation zur Energietechnik



- Warum muss sich die Menschheit mit Energietechnik beschäftigen?

Verlässliche und ununterbrochene Bereitstellung von
Energie

ist essenzielle Voraussetzung
für das Funktionieren der modernen Gesellschaft

→ Wohlstand und Frieden



E Einleitung

Motivation zur Energietechnik



■ Problemstellungen

1. Wachsende Weltbevölkerung (insb. in Entwicklungsländern), wachsender Lebensstandard vs. **Endlichkeit der Ressourcen**
2. **Ökologisches Gleichgewicht gefährdet: „Klimawandel“**

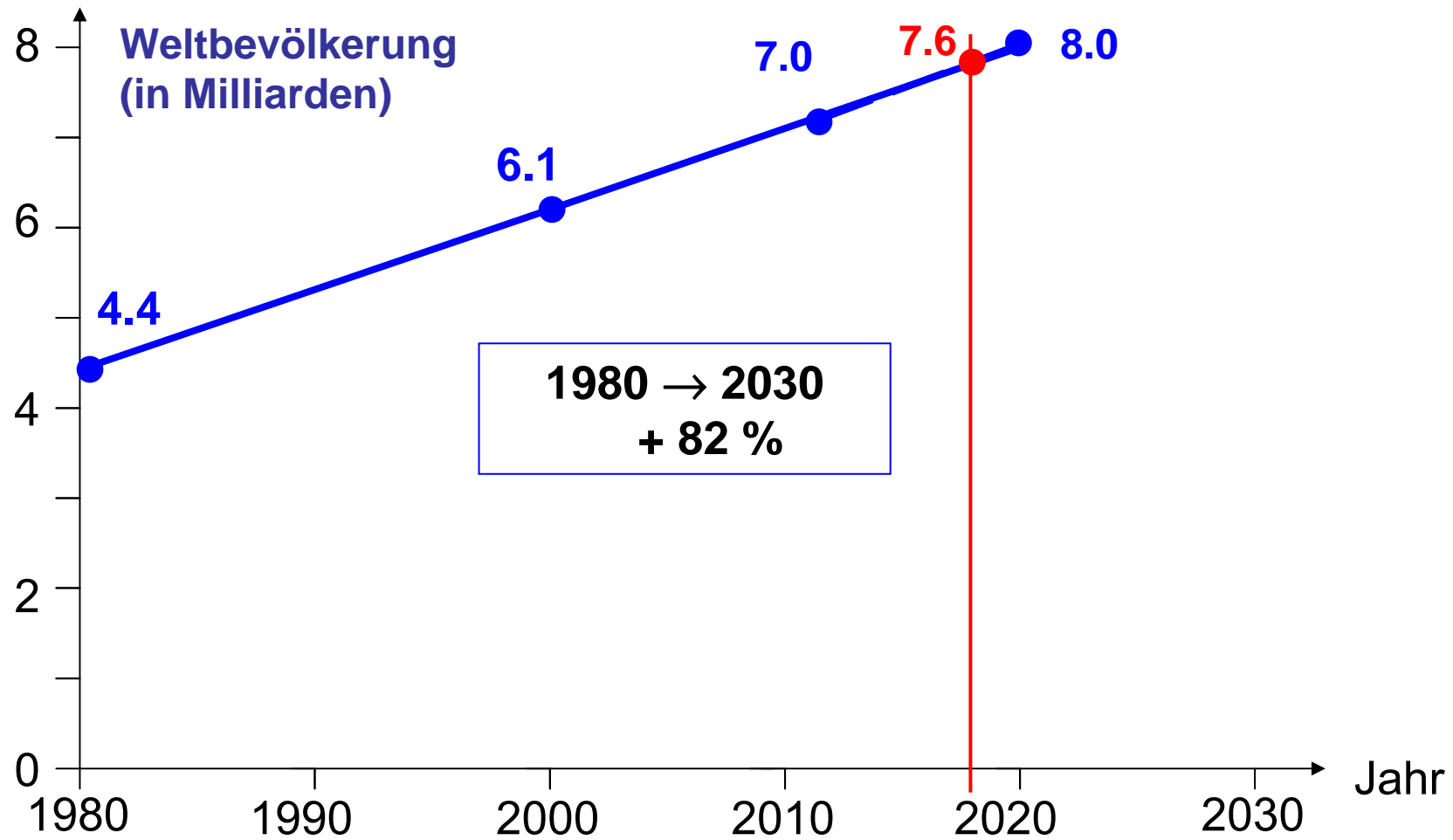
→ Zwang zur

- a) Effizienzsteigerung in der Energiewandlung,
- b) alternativen Energiegewinnung



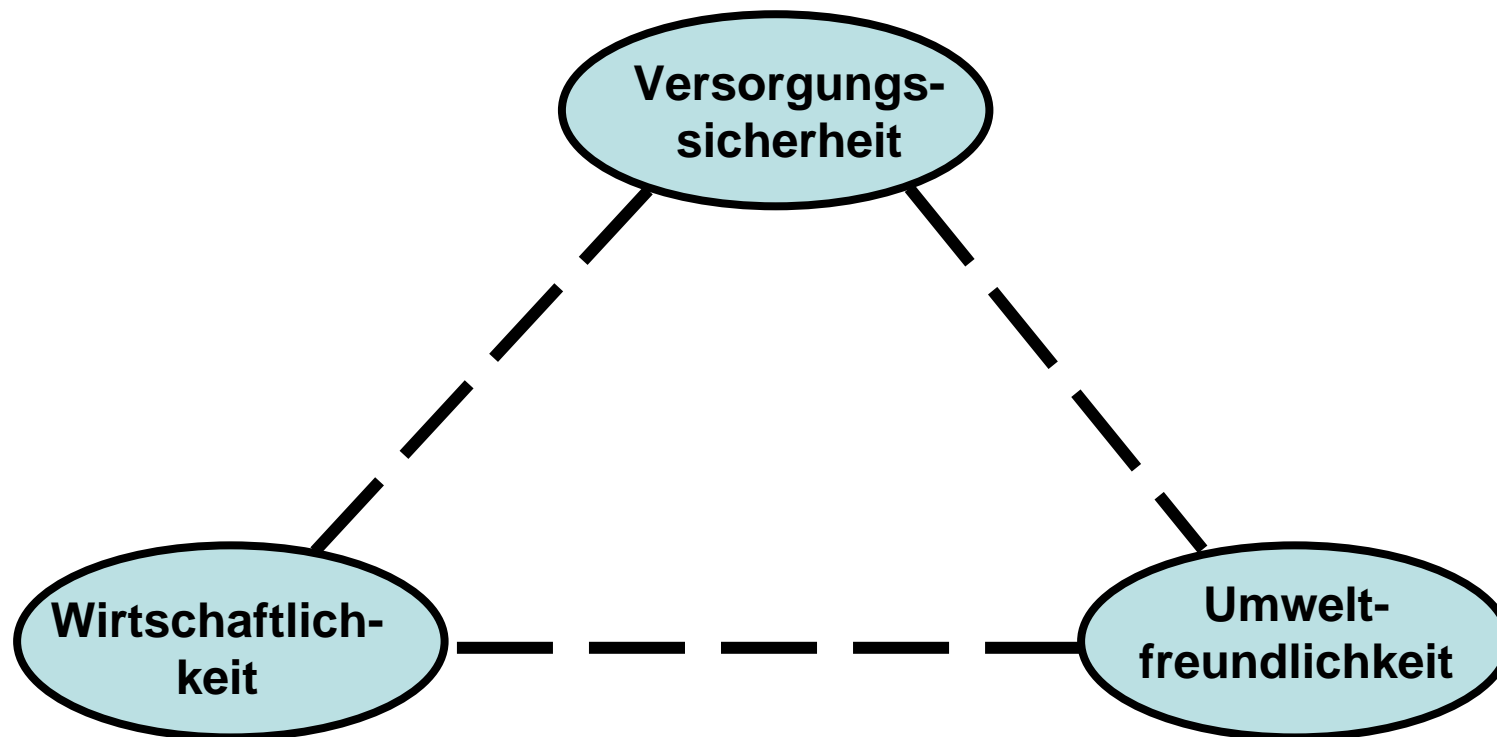
E Einleitung

Weltbevölkerungswachstum



E Einleitung

„Magisches Dreieck“ der Energieversorgung



Quelle: Riedle, K.: Effiziente Energiewende,
VDI-nachrichten, 14/15, 2017

E Einleitung

Beispiel: Verfügbarkeit elektrischer Energie



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Deutschland hat weltweit die beste **Verfügbarkeit** elektrischer Energie
- Statistische Maßzahl: "Nichtverfügbarkeit je Einwohner und Jahr"

Nichtverfügbarkeit (Beispiele):

System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Deutschland, 2016: 12.8 Minuten / (Einwohner · Jahr)

Großbritannien, 2006: 89 Minuten / (Einwohner · Jahr)

Spanien, 2007: 105 Minuten/ (Einwohner · Jahr)

USA, 2012 *): 154 Minuten / (Einwohner · Jahr)

Nichtverfügbarkeit:

Wahrscheinlichkeit, eine Einheit zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem nicht-funktionsfähigen Zustand anzutreffen

Quelle: Bundesnetzagentur, *) Power Grid Int.



E Einleitung

Deutschland: Einige Energie-Eckdaten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

EI. Brutto-Strombedarf: 16% des Primärenergieverbrauchs (2017), davon 33% aus regenerativen Quellen, aber teure Backup-Systeme (= konventionelle Kraftwerke) nötig, regen. Energieerzeugung: Hohe Kosten 24 Mrd. Euro/Jahr für Verbraucher, 48.56% aus Kohle und Kernkraft

Wärmewirtschaft: **Raumwärme:** ca. 33% des Primärenergieverbrauchs, Gebäudebestand 3.8 Mrd. m² Nutzfläche, Häusersanierungsrate z. Zt. nur 1% des Bestands p.a. (Dämmung, ...)

Industriesektor: Energiebedarf dominiert durch Antriebe und Prozesswärme, Energiekosten 8% der Brutto-Wertschöpfung der Betriebe, **steigende Energieeffizienz: -20%** spezifischer Energie-Bedarf seit 2006

Verkehr (Transport): Pkw, Lkw: Senkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs: ca. -20% seit 1996

Versorgungssicherheit: z. Zt. **breiter Energiemix:**

Kohle, Öl, Gas, Kernenergie, Wasser, Wind, Sonne, Biomasse, daher: sehr geringe **E-Energie-Nichtverfügbarkeit** 12 min je Person & Jahr

Zukunft: Kernkraftausstieg, Zurückfahren der Kohleverstromung wg. CO₂

Backup-Kraftwerke: Kurze Betriebszeiten = unwirtschaftlich = Abschaltung

E-Netzstabilität: Kosten für Stabilitäts-erhaltung (Abregelung, „Re-dispatch“, Reserve):

2010: 10 Mio. Euro ⇒ 2016: 1.07 Mrd. Euro (100-fach!)

Umwelt: 2017, D: 2.5% der globalen Treibhausgas-Emissionen (bei 1% der Weltbevölkerung)

Quelle: Riedle, K.: *Effiziente Energiewende*, VDI-nachrichten, 14/15, 2017



E Einleitung

Die Energiewende: Eckpfeiler des Energiekonzepts der Bundesregierung



	2020	2050
Treibhausgas-emissionen (1990)	-40 %	-80 %
Primärenergie-verbrauch (2008)	-20 %	-50 %
Wärmebedarf in Gebäuden (2008)	-20 %	-60 %
Stromverbrauch (2008)	-10 %	-25 %
Anteil Stromerzeugung aus EE am Bruttostromverbrauch	35 %	80 %
Anteil EE am Bruttoendenergieverbrauch	18 %	60 %
Elektroautos	1 Mio	5 Mio (2030)
Offshore-Windenergie	10 GW	25 GW (2030)

- **Beendigung der Kernenergienutzung** spätestens Ende 2022
- Dynamischer Ausbau der **erneuerbaren Energien (EE)** in allen Sparten (80 % des Verbrauchs in 2050)
- Zügiger Ausbau und **Modernisierung der Stromnetze**
- Steigerung der **Energieeffizienz** – insbesondere im Bereich der Gebäudeisolation (Wärme)
- **Senkung des Stromverbrauchs** mit modernen Technologien.



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. **Energieeinheiten**
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E5 Energieeinheiten

Energie und Leistung



Energie W :

Unterschiedliche Formen:

elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch, mechanisch, thermisch, chemisch, nuklear

Einheit: 1 Joule = 1 J = 1 Watt · Sekunde = 1 W·s

Andere Einheiten: Wh, kWh, SKE (Steinkohleeinheit), ...

1 k = 1000, 1 M = 1000 000, 1 G = 1000 000 000 = 10^9 , 1 T = 10^{12}

Leistung P :

Energie je Zeiteinheit: $P = W / t$, $P = \Delta W / \Delta t$, $P = dW / dt$

Unterschiedliche Formen:

Einheit: 1 Watt = 1 W

Andere Einheiten: PS (Pferdestärke) = 736 W, hp (U.S. horse-power), ...



E5 Energieeinheiten

SI-Basis-Einheiten

Einheit „Joule“ wird aus SI-Basis-Einheiten abgeleitet: $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$

Einheit	Bezeichnung	Umrechnung in J
J	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ J}$
Wh	Wattstunde	$1 \text{ Wh} = 3.6 \text{ kJ}$
cal	Kalorie	$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$
(kg) SKE	(Kilogramm) Steinkohleeinheit	$1 \text{ kg SKE} = 29\,308 \text{ kJ}$
oe	Oil Equivalent	$1 \text{ kg oe} = 41\,868 \text{ kJ}$
eV	Elektronenvolt	$1 \text{ eV} = 160.2 \text{ zJ} = 160.2 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
m ³ Erdgas	Kubikmeter Erdgas	$1 \text{ m}^3 \text{ Erdgas} = 31\,736 \text{ kJ}$

E5 Energieeinheiten

Leistungseinheiten

Einheit „Joule/Sekunde“ aus SI-Basis-Einheiten abgeleitet: $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W} = 1 \text{ Watt}$

Einheit	Bezeichnung	Umrechnung in W
W	Watt	$1 \text{ W} = 1 \text{ W}$
PS	Pferdestärke	$1 \text{ PS} = 735.75 \text{ W}$ $1 \text{ PS} = 75 \text{ kp} \cdot \text{m/s} = 75 \cdot 9.81 \text{ N} \cdot \text{m/s} = 735.75 \text{ W}$
hp	Horse-power (U.S.)	$1 \text{ hp} = 745.8 \text{ W}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s} = 550 \cdot 4.448 \text{ N} \cdot 0.3048 \text{ m/s} = 745.8 \text{ W}$

E5 Energieeinheiten

Häufig verwendete Vorsätze bei Energieeinheiten



Symbol	Name	Wert		Symbol	Name	Wert
Y	Yotta	10^{24}		d	Dezi	10^{-1}
Z	Zetta	10^{21}		c	Zenti	10^{-2}
E	Exa	10^{18}		m	Milli	10^{-3}
P	Peta	10^{15}		μ	Mikro	10^{-6}
T	Tera	10^{12}		n	Nano	10^{-9}
G	Giga	10^9		p	Piko	10^{-12}
M	Mega	10^6		f	Femto	10^{-15}
k	Kilo	10^3		a	Atto	10^{-18}
h	Hekto	10^2		z	Zepto	10^{-21}
da	Deka	10^1		y	Yokto	10^{-24}



E5 Energieeinheiten

Beispiel: Einheiten-Vorsätze



Beispiel:

a) 1 Exa-Joule = 10^{18} J = 1 000 000 000 000 000 000 J

b) 10 Tera-Wattstunden = 10 TWh = $10 \cdot 10^{12}$ Wh = 10 000 000 000 000 Wh

Frage:

Welche der beiden Energiemengen ist **größer**?

$$10 \text{ TWh} = 10 \cdot 10^{12} \cdot 3600 \text{ J} = 36 \cdot 10^{15} \text{ J} < 10^{18} \text{ J}$$

Antwort:

a) Ist größer als b) (28-fach) !



E5 Energieeinheiten

Bedeutung der Energie



1 kWh Energie: Welchen Nutzen haben wir davon?

PKW (Benzinmotor, Mittelklasse):	1.2 km Fahrtstrecke
LKW:	0.2 km Fahrtstrecke
Mensch zu Fuß (Läufer):	10.0 km Wegstrecke
PC-Arbeit:	5 h
Warm duschen:	5 Minuten
60°C-Wäsche, Waschmaschine A+	5 kg Wäsche waschen
Internet-Surfen:	100 Google-Suchanfragen
Wasser erwärmen:	10 Liter von 12°C auf 85°C
	20 Liter von 12°C auf 50°C
	30 Liter von 12°C auf 37°C

Quelle:

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE 2009



E5 Energieeinheiten

206 „Energiesklaven“ je Einwohner (D)



- Antikes Rom (100 n. Chr.):

- 20 Mio. römische Bürger/-innen & 120 Mio. Sklaven/-innen
6 Sklaven/-innen je römischer/-m Bürger/-in
- 1 „mittlerer“ Sklave leistet etwa $1/10$ PS = 75 W
- 8 Arbeitsstunden, ca. 360 Tage pro Jahr = 216 kWh pro Jahr
- Je römischer Bürgerperson verfügbar: $6 \cdot 216$ kWh = 1296 kWh pro Jahr

- Modernes Deutschland (2015 n. Chr.):

Primärenergie: 3 639 TWh
Je Einwohner/-in: $3\,639 \text{ TWh} / 81.8 \text{ Mio.} = 44.5 \text{ MWh}$

206 „Energiesklaven“ je Einwohner/-in *)

*) $206 = 44.5 \text{ MWh} / 216 \text{ kWh}$



E5 Energieeinheiten

„Graue“ Energie eines Geräts (Produkts)



„Graue“ Energie:

Jene Energiemenge, die (nicht bei der Nutzung, sondern) für **Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf, Recycling bzw. Entsorgung** eines Geräts (Produkts) benötigt wird.

Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert.

Beispiele: grobe Richtwerte!

Personal Computer:	4 000 kWh
PKW (Mittelklasse):	60 000 kWh
1 kg Bohnen (Import N-Afrika):	10 kWh
1 kg Bohnen (Inland):	1 kWh

Quelle: Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE 2009



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. Energieeinheiten
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E6 Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“



Elektrische Energietechnik ist „die“ Schlüsseltechnologie der Zukunft, denn sie

- ist nahezu universell einsetzbar,
- hat noch ungehobenes Nutzungspotential,
- ist eine der Säulen unseres Wohlstands,
- ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken,
- **nimmt deshalb weltweit an Bedeutung zu.**

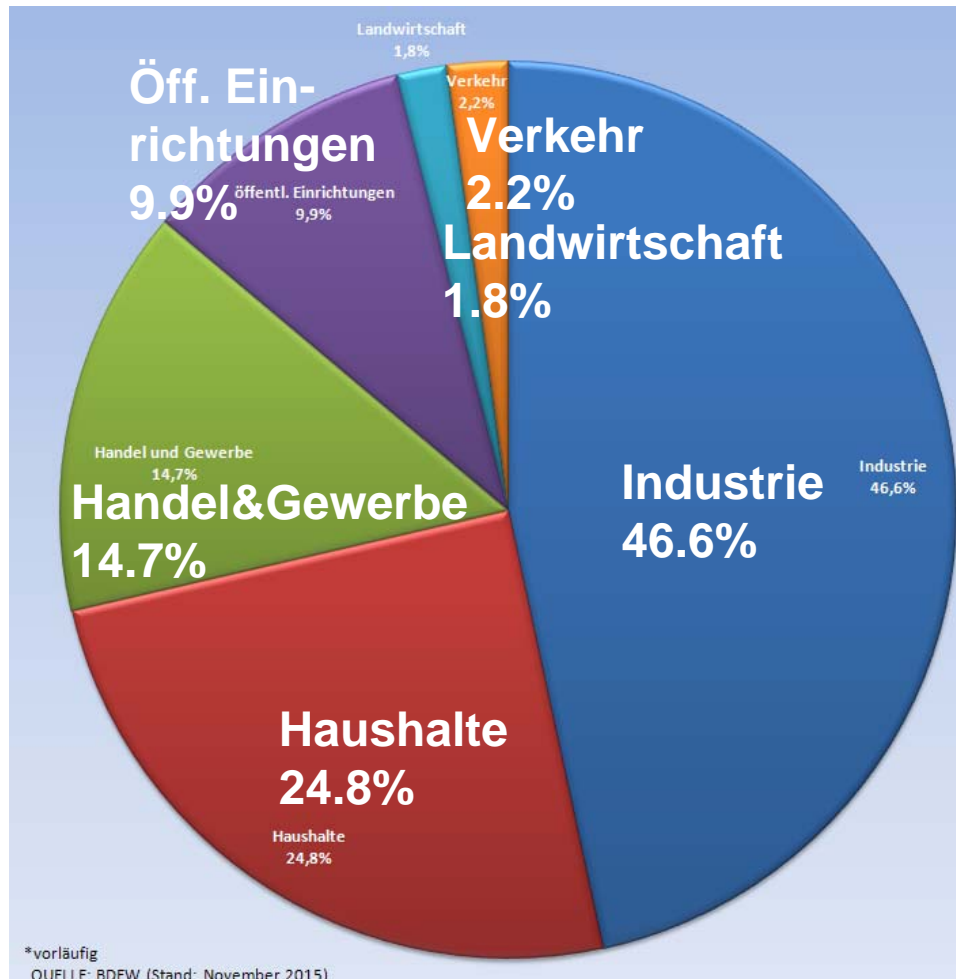


E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Elektrische Energienutzung, *Deutschland, 2014*



Nettostromverbrauch 2014 / 2017: 524.0 / 525.0 TWh



Nettostromverbrauch:	524.0 TWh
Industrie:	46.6 % 244.4 TWh
Priv. Haushalte:	24.8 % 129.7 TWh
Handel & Gewerbe:	14.7 % 77.0 TWh
Öff. Einrichtungen:	9.9 % 51.8 TWh
Verkehr:	2.2 % 11.6 TWh
Landwirtschaft:	1.8 % 9.5 TWh

Beispiel:

Typ. jährlicher Stromverbrauch:
Drei-Personen-Haushalt:
OHNE / MIT el. Warmwasserbereitung:
3 700 kWh / 5 000 kWh

Quelle: BDEW, 2015 & Energieagentur Nordrhein-Westfalen: „Wo bleibt der Strom?“ Düsseldorf 2011



E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

D: Stromverbrauch Privathaushalte



- *Deutschland (2014):*

Nettostromverbrauch: 524.0 TWh

Priv. Haushalte: 129.7 TWh 24.8 %

Jährl. Stromverbrauch: Drei-Personen-Haushalt: MIT el. Warmwasserbereitung: 5 000 kWh

- „Überschlagsrechnung“:

$$\frac{524 \cdot 10^{12} \text{ Wh}}{5 \cdot 10^6 \text{ Wh}} \approx \frac{500 \cdot 10^{12}}{5 \cdot 10^6} = 100 \cdot 10^6 = 100 \text{ Mio. Haushalte}$$

$$100 \cdot 10^6 \cdot 3 = 300 \text{ Mio. Menschen}$$

$$300 \cdot 10^6 \cdot 0.248 \approx 300 \cdot 10^6 \cdot 0.25 = 75 \text{ Mio. Menschen} \Rightarrow \text{D: ca. 82 Mio. Menschen}$$

Resultat: Überschlägige Abschätzung passt zu den tatsächlichen Daten!

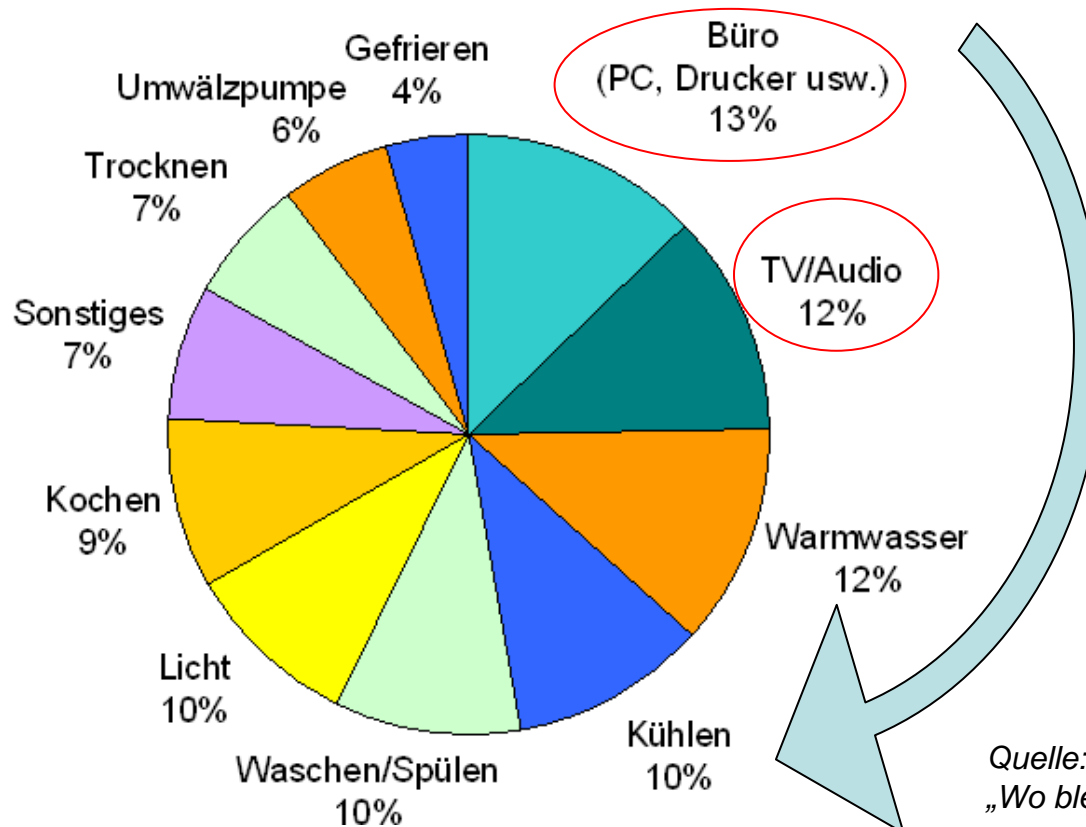


E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“ El. Energienutzung im priv. Haushalt (D)



Deutschland 2011: Seit jüngerer Zeit: Informations- und Unterhaltungselektronik (25%!) („Bürogeräte“ & „TV/Audio“) am stromintensivsten

Warmwasser, Kühlen, Waschen, Beleuchtung, Kochen: je 10%



Und anderswo?

z. B.:
Kalifornien/USA:

Maximaler „Stromverbrauch“
im Sommer wegen Klima-
Anlagen

Quelle: Energieagentur Nordrhein-Westfalen:
„Wo bleibt der Strom?“ Düsseldorf 2011



E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Blitzeinschlag in das Stromnetz

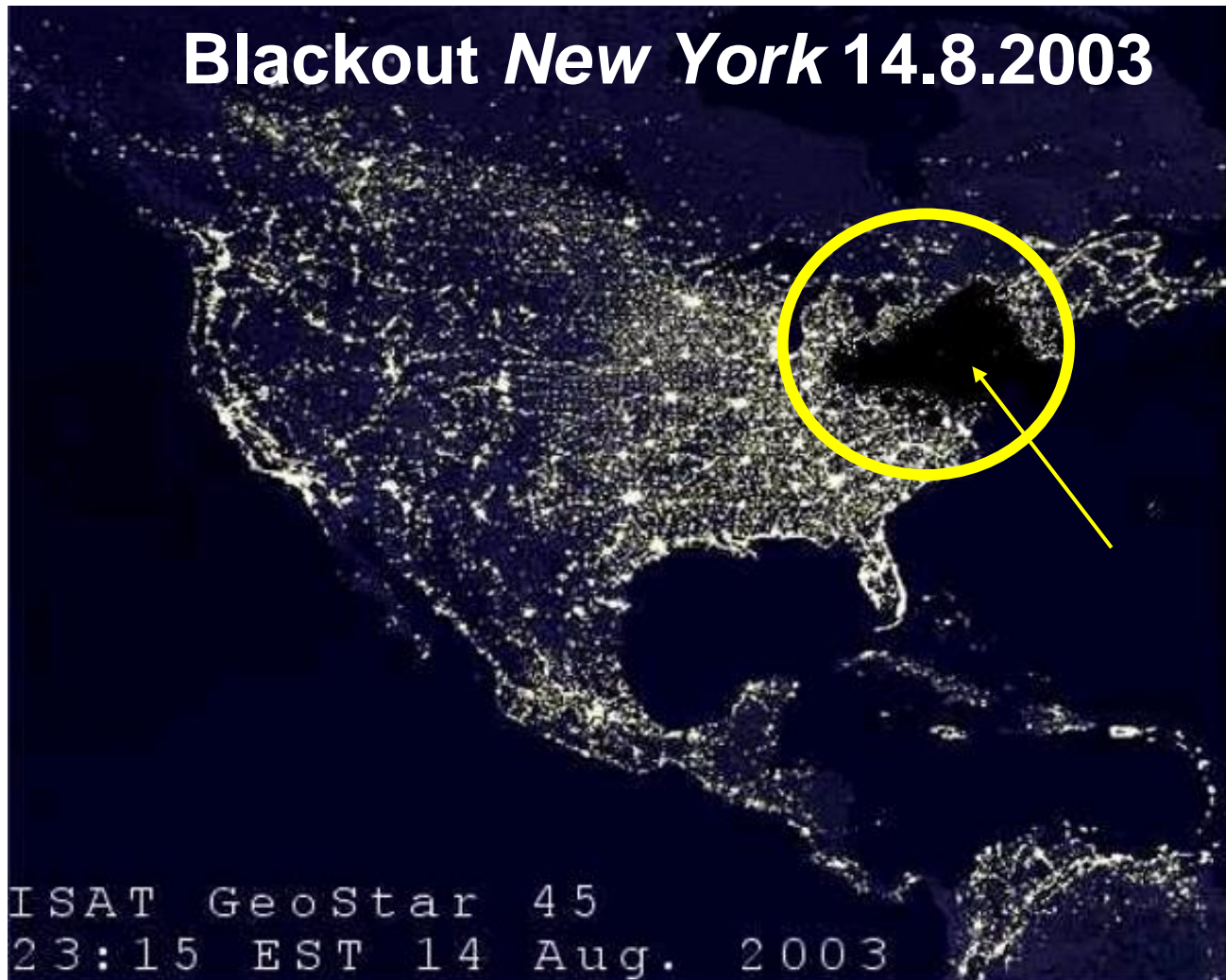


Quelle:
*Niagara Mohawk Power Corp.,
USA, 1991*

E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Ohne elektrische Energie geht nichts!

Blackout New York 14.8.2003



- 50 Mio. Menschen ohne Stromversorgung
- Wirtschaftlicher Schaden:
6 Milliarden US-Dollar

Quelle: Wall Street Journal

Quelle:
ISAT Geostar,
14.8.2003

E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Black-out ? Sind wir vorbereitet?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Sorgen Sie vor!

Was brauchen Sie?

An was müssen Sie frühzeitig denken?

Die folgenden Checklisten geben Ihnen einen Überblick über das, was Sie im Notfall brauchen. Tragen

Sie die örtlich gültigen Notrufnummern in die Telefonliste auf der Rückseite dieser Broschüre ein.

Planen Sie gemeinsam! Setzen Sie sich mit Ihrer Familie zusammen und überlegen Sie Folgendes:

- › Wo befinden sich im Haus: das Notgepäck, die Dokumententasche, der Feuerlöscher, die Vorräte aus der Checkliste.
- › Besprechen Sie Fluchtwege, Treffpunkte und Ihre Erreichbarkeiten, vielleicht sind im Falle einer Katastrophe nicht alle Familienmitglieder zu Hause.
- › Bewahren Sie diese Broschüre gemeinsam mit der Dokumententasche auf, so können Sie bei einer angekündigten Katastrophe noch einmal das Wichtigste nachlesen.

UNSER HINWEIS

<https://www.bbk.bund.de/DE/Ratgeber/VorsorgefuerdenKat-fall/Checkliste/Checkliste.html>



E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Elektrische Energiekette



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wenn über **elektrische Energie** und **Klimawandel** gesprochen wird, denken viele an die Erzeugung elektrischer Energie.

Wir sprechen aber über die „**Energiekette**“

- **Erzeugung**,

- **Verteilung** und

- **Nutzung** elektrischer Energie

und ihren **Einfluss auf unseren Wohlstand**.



E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

Wirkungsgrad & Effizienz der Energieumwandlung

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{zugeführte Leistung}}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Beispiel: 11-kW-Elektromotor, Wirkungsgrad 88%

- Umwandlung von elektrischer in kinetische Energie („mechanische Energie“)
- Zugeführte Leistung:
 $P_{zu} = P_{ab} / \eta = 11 / 0.88 = 12.5 \text{ kW}$
- Verlustleistung:
 $P_{zu} - P_{ab} = 12.5 - 11.0 = 1.5 \text{ kW} = \text{Wärme!}$



Quelle: VEM Motors, Wernigerode, D

Während Betriebszeit t_B :

Aufgenommene Energie: $W_{zu} = \int_0^{t_B} p_{zu}(t) \cdot dt$ Abgegebene Energie: $W_{ab} = \int_0^{t_B} p_{ab}(t) \cdot dt$

Effizienz: $\varepsilon = W_{ab} / W_{zu}$

E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“

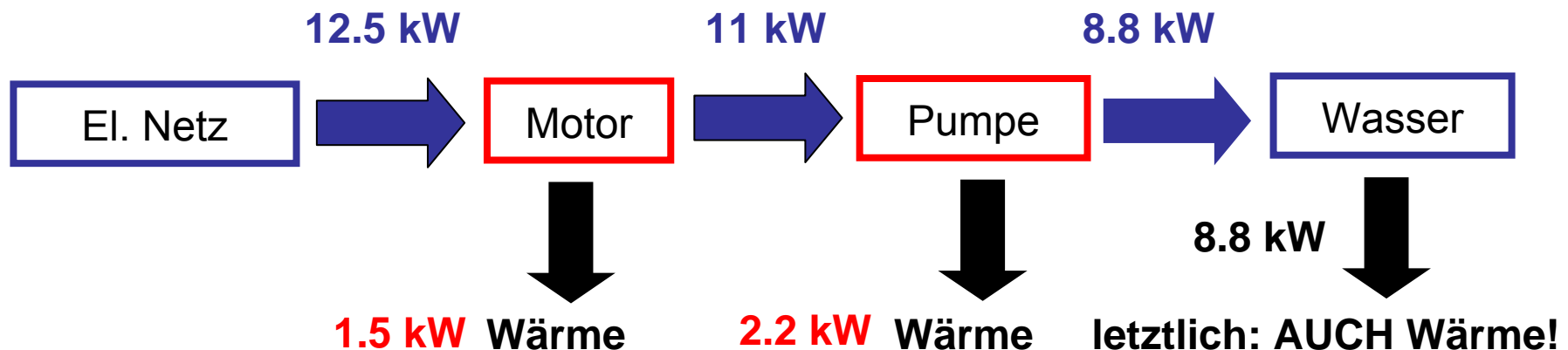
Verlustenergie = Thermische Energie



Beispiel: 11-kW-Elektromotor als Pumpenantrieb

Wirkungsgrade: Motor 88%, Pumpe 80%

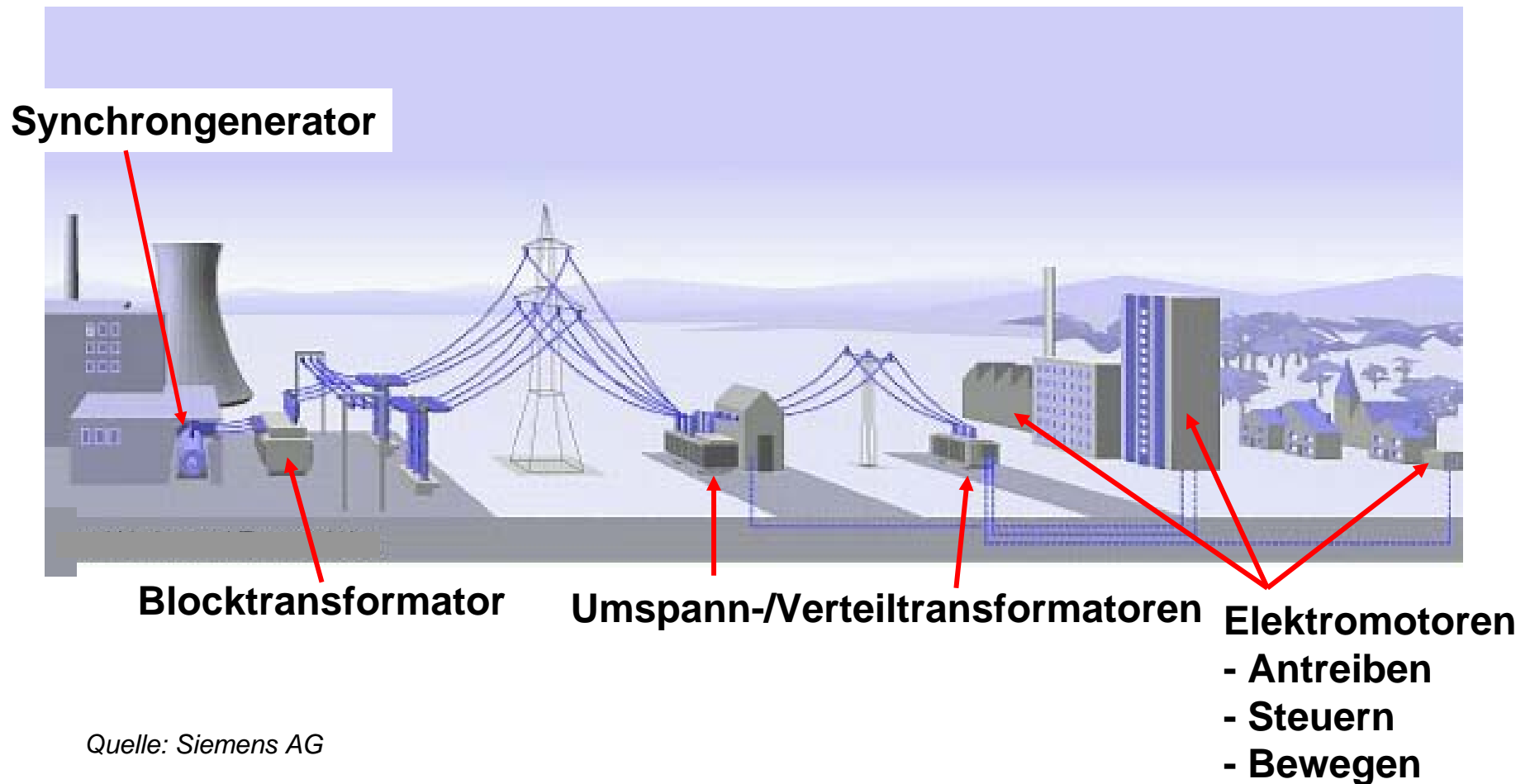
- Verlustleistung: Motor: 1.5 kW, Pumpe: 2.2 kW
- Betriebszeit: 1 Jahr = 8760 Stunden
- Verlustenergie Motor $W = 1.5 \times 8760 = 13140$ kWh



Wärme ins All abgestrahlt. **ABER:** Atmosphärisches CO₂ behindert die Abstrahlung = wir heizen leider unsere Erde („ein bisschen“) auf



E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“ Komponenten der elektrischen Energienutzung



Quelle: Siemens AG

E6 Schlüsseltechnol. „Elektr. Energietechnik“ Energiewandlungen sind erforderlich



Wandlung der Energie in **unterschiedliche Formen** !

Beispiel: Elektrische Energiewandler formen elektrische Energie um:

Elektrisch \Leftrightarrow Elektrisch:	Transformator, DC-DC-Wandler *), ...
Elektrisch \Leftrightarrow Mechanisch:	Elektromechanische Energiewandler: Elektrische Maschine: Linear oder rotierend Elektromagnetische Stellventile (Aktoren)
Elektrisch \Leftrightarrow Chemisch:	Batterie , Brennstoffzelle,..
Elektrisch \Leftrightarrow Optisch:	Photozelle , (Leuchtdiode)
Elektrisch \Leftrightarrow Fluidmechanisch:	Magnetohydrodynamische Wandler

u. s. w.

*) DC: Direct current (Gleichstrom)



E Einleitung

Zusammenfassung



- Unterschiedliche Energie- und Leistungseinheiten
- Energienutzung: Maßzahlen „Wirkungsgrad“, „Effizienz“
- Keine unnötige Überdimensionierung der Komponenten, weil diese dann bei Teillast arbeiten, wo der Wirkungsgrad niedrig ist!
- Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
- Unterschiedliche Arten von Energiewandlern



E Einleitung

1. Kontakt zum Institut
2. Prüfungsmodalitäten
3. Literatur, verwendete Quellen, verwendete Formelzeichen
4. Motivation: Warum Energietechnik lernen?
5. Energieeinheiten
6. Schlüsseltechnologie „Elektrische Energietechnik“
7. Wie geht es weiter?

E7 Wie geht es weiter?

Übersicht



1. **Elektrotechnik und Informationstechnik**
2. **Maschinenbau**
3. **Material- und Geowissenschaften**



Elektrotechnik und Informationstechnik

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Andreas Binder, Elektrische Energiewandlung
Vorlesungen:
 - Elektrische Maschinen und Antriebe
 - Energy Converters – CAD & System Dynamics
 - Großgeneratoren und Hochleistungsantriebe
 - Elektrothermische Prozesstechnik
 - Motor Development for Electric Drive Systems
 - Elektrische Bahnen (WS) & Schienenfahrzeugtechnik (SS)
- Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson, El. Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien
Vorlesungen:
 - Elektrische Energieversorgung der Zukunft
 - Elektrische Energieversorgung I, II, III
 - Kraftwerke und Erneuerbare Energien (KEE)
 - Energiewirtschaft



Elektrotechnik und Informationstechnik

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen, Hochspannungstechnik
Vorlesungen:
 - **Hochspannungstechnik I, II**
 - **Hochspannungsschaltgeräte und –Anlagen**
 - **Energiekabelanlagen**
 - **Überspannungsschutz und Isolationskoordination**

- Prof. Dr.-Ing. Gerd Griepentrog, Leistungselektronik
Vorlesungen:
 - **Leistungselektronik I**
 - **Advanced Power Electronics**
 - **Control of Drives**



Elektrotechnik und Informationstechnik

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr. Florian Steinke, Energy Information Networks & Systems
Vorlesungen/Seminare:
 - **Machine Learning & Energy**
 - **Energiemanagement Machine Learning & Energy**
 - **Wege der Energiewende**
 - **Energy Information Networks & Systems**



Elektrotechnik und Informationstechnik

FG Elektrische Energieversorgung (Hanson)

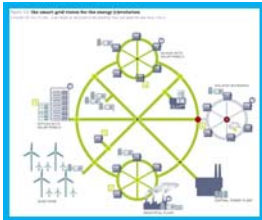
Forschungsschwerpunkte



- **Hybride AC-DC-Netze und DC-Netze**

Spannungsstabilität

Regelalgorithmen



- **Kurzschlussströme und Stabilität**

bei hohem Anteil erneuerbarer Energien

bei zellularen Strukturen



- **Optimierung der Kraftwerksdynamik**



- **Inselnetze** - Vom Inselnetz zum Overlay-Netz

Elektrotechnik und Informationstechnik

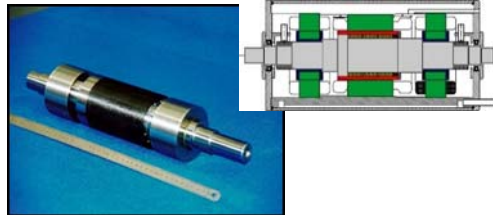
FG Elektrische Energiewandlung (Binder)

Forschungsschwerpunkte



Elektrische Antriebe für E-Autos und Hybridautos

Kompakte E-Motoren: Leistungsdichte hoch (kW/kg!)



Hochdrehzahlantriebe mit Magnetlager und Permanentmagnet-Rotoren

(z. B. High-Speed-Kompressorantrieb 40 000/min)



Industrielle Antriebstechnik: Umrichterspeisung

Parasitäreffekte:
Zusatzverluste, Lagerströme,
du/dt-Wicklungsbeanspruchung



Generatorsysteme:

z. B. hochpolige Wind- und Wasserkraftgeneratoren
(z. T. mit Permanentmagneten)



Elektrotechnik und Informationstechnik

FG Hochspannungstechnik (Hinrichsen)

Forschungsschwerpunkte



Hochspannungs-Gleichstromtechnik

- DC-Isoliersysteme
- Unterirdische Hochspannungs-DC-Übertragungsleitungen
- Komponenten ("Garnituren") für Gleichspannungskabel
- Mittelspannungs-Gleichstromschalter

Vakuumschalttechnik (künftiger Ersatz von SF₆-Schalttechnik)

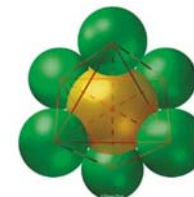
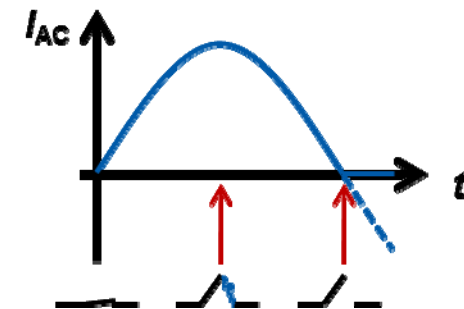
- Verbesserung des Schaltvermögens
- mit Vakuumschalttechnik in die Hochspannungsebenen (ab 72.5 kV)
- Dielektrische Festigkeit im Vakuum - Grundsatzuntersuchungen

Ersatz des Isoliergases SF₆ durch alternative Isoliergase

- Dielektrisches Verhalten der Hochspannungsbetriebsmittel
- Auswirkungen von Schaltlichtbögen

Blitz- und Überspannungsschutz

- Optimierung von Blitzfangeinrichtungen
- Überspannungsableiter



SF₆-Molekül



Elektrotechnik und Informationstechnik

FG Leistungselektronik (Griepentrog)

Forschungsschwerpunkte



Wechselwirkungen zwischen Netz und leistungselektronischen Systemen

Bsp.: Wechselrichter für Flugzeugbordnetze mit SiC- MOSFETs

Regelung energieeffizienter, elektrischer Antriebe

Bsp.: Zuverlässige Regelung eines effizienten Reluktanzmotors

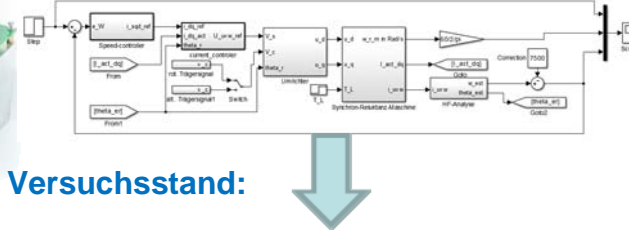
Zustands-Monitoring

Bsp.: Bestimmung der Alterung von Halbleitern durch Magnetfeldmessung

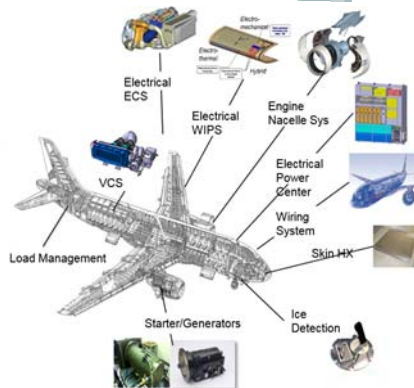
Wechselrichter:



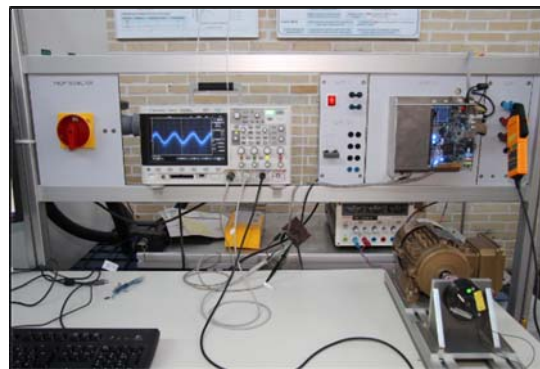
Regelungsmodell in Matlab/Simulink :



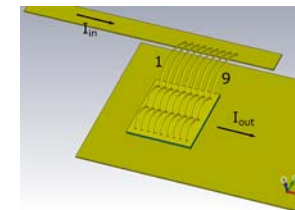
Bordnetz:



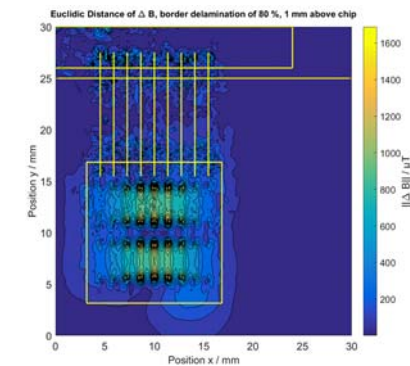
Versuchsstand:



Stromfluss (100 A):



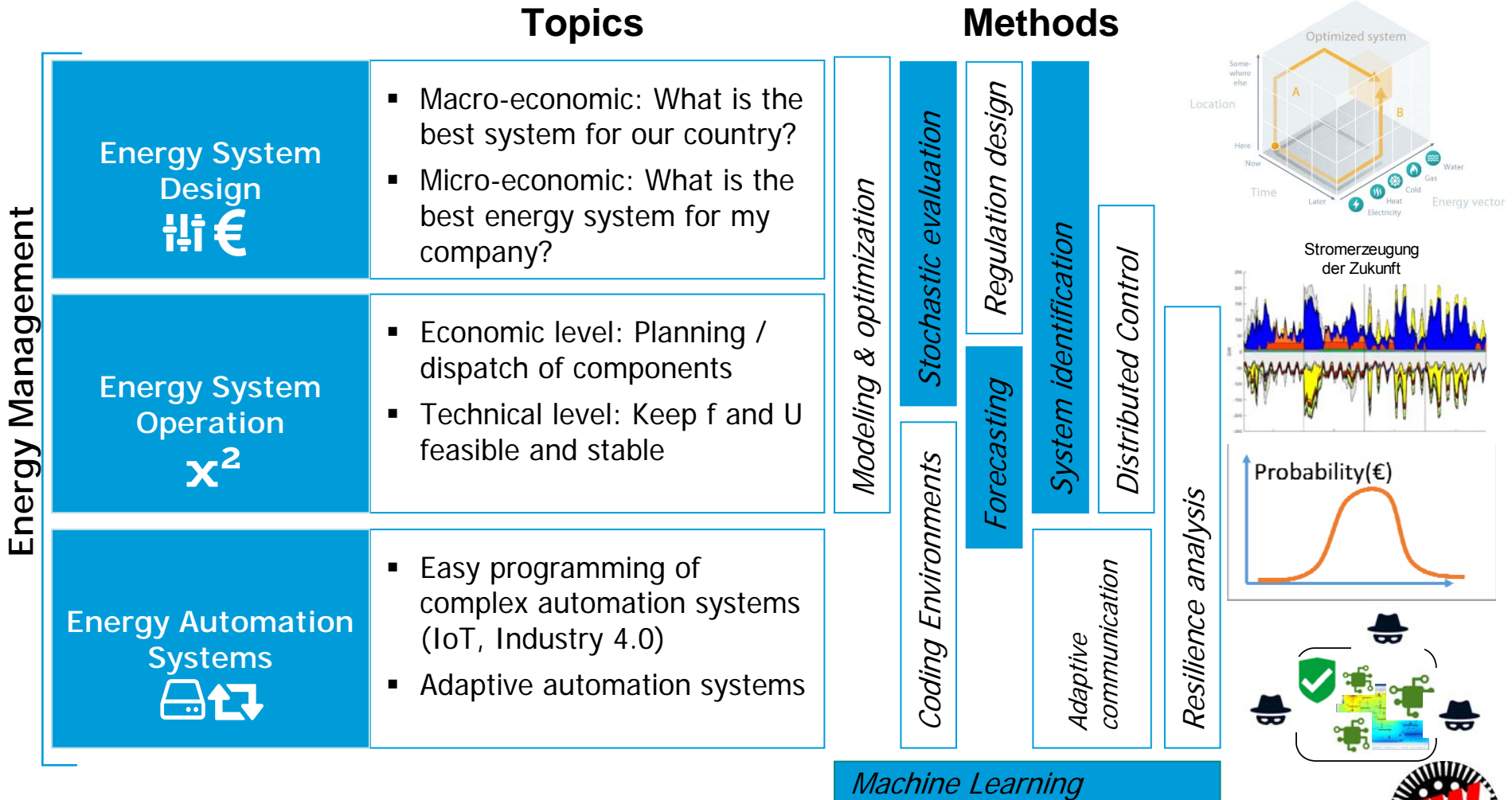
Durch Alterung hervorgerufene Magnetfeldänderung:



Elektrotechnik und Informationstechnik

FG Energy Information Networks & Systems (Steinke)

Forschungsschwerpunkte



E7 Wie geht es weiter?

Übersicht



1. Elektrotechnik und Informationstechnik
2. Maschinenbau
3. Material- und Geowissenschaften



Maschinenbau

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Prof. Dr.-Ing. Bernd Epple, Energiesysteme und Energietechnik
Vorlesungen:
 - **Energiesysteme I, II, III**
 - **Kernenergie**
 - **Planung, Bau, Inbetriebnahme und Betrieb von Kraftwerken**
- Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz, Fluidsystemtechnik
Vorlesungen:
 - **Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme**
 - **Technische Fluidsysteme**
 - **Wind-, Wasser- und Wellenkraft – Optim. und Skalierung von Fluidkraftsystemen**
 - **Fluidenergiemaschinen**
- Prof. Dr.-Ing. Heinz-Peter Schiffer, Gasturbinen, Luft- und Raumfahrtantriebe
Vorlesungen:
 - **Verdichtertechnologie**
 - **Thermische Turbomaschinen und Flugantriebe**



Maschinenbau

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr.-Ing. Peter Stephan, Technische Thermodynamik
Vorlesungen:
 - Technische Thermodynamik I, II
 - Wärme- und Stoffübertragung
 - Konvektive Wärmeübertragung
- Prof. Dr.-Ing. Manfred J. Hampe, Thermische Verfahrenstechnik
Vorlesungen:
 - Thermische Verfahrenstechnik I, II, III
 - Forschung an Brennstoffzellen



E7 Wie geht es weiter?

Übersicht



1. Elektrotechnik und Informationstechnik
2. Maschinenbau
3. Material- und Geowissenschaften



Material- und Geowissenschaften

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr.-Ing. Oliver Gutfleisch, em. Prof. Dr.-Ing. Heinz von Seggern, Elektronische Materialeigenschaften
Vorlesungen:
 - **Organic semiconductors and devices**
 - **Einführung in die Materialwissenschaft**
 - **Funktionsmaterialien (Magnetmaterialien, ...)**
- Prof. Dr. Wolfram Jägermann, Oberflächenforschung:
Forschung an:
 - **Dünnschichtsolarzellen**
 - **Photoelektrochemische Energiewandlung**
 - **Ionenleiter und Li-Ionen Batterien**
- Jun. Prof. Dr. Hongbin Zhang, Theory of magnetic Materials:
Forschung an:
 - **Effects of spin-orbit coupling on equilibrium magnetic properties**
 - **Interplay of spin-orbit coupling and electronic correlations**



Material- und Geowissenschaften

Auswahl an weiterführenden Vertiefungsvorlesungen



- Prof. Dr.-Ing. Ingo Sass

Vorlesungen:

- **Geothermie I: Grundlagen und oberflächennahe Systeme**
- **Geothermie II: Tiefe Systeme, Exploration und Reservoirtechnologien**
- **Geothermie III: Analytische und numerische Berechnungsmethoden**
- **Geothermie VI: Anorganische Chemie tiefer Grundwässer**

