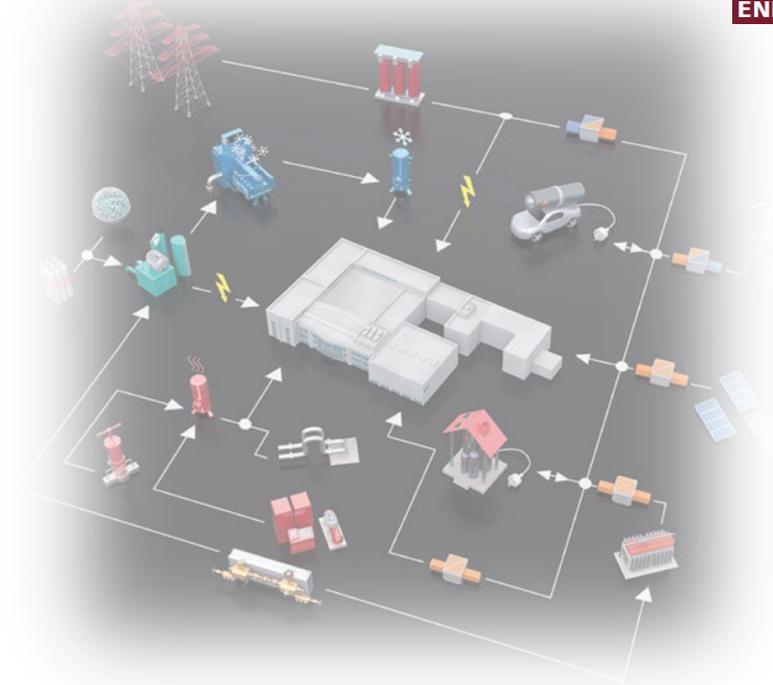


SYMPOSIUM

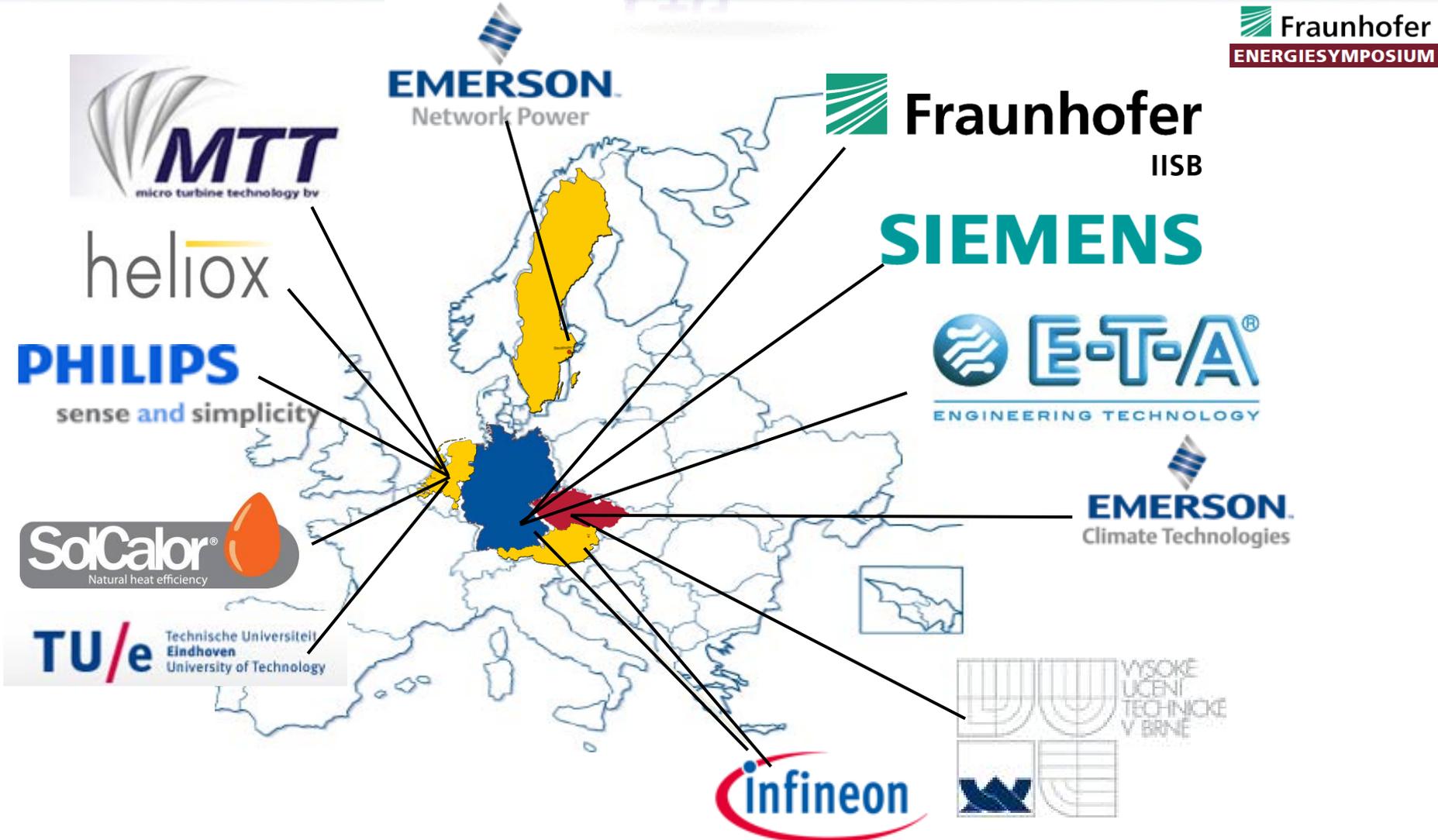
ENERGIETECHNIK IM WANDEL

BAYERISCHE ENERGIEFORSCHUNGSPROJEKTE



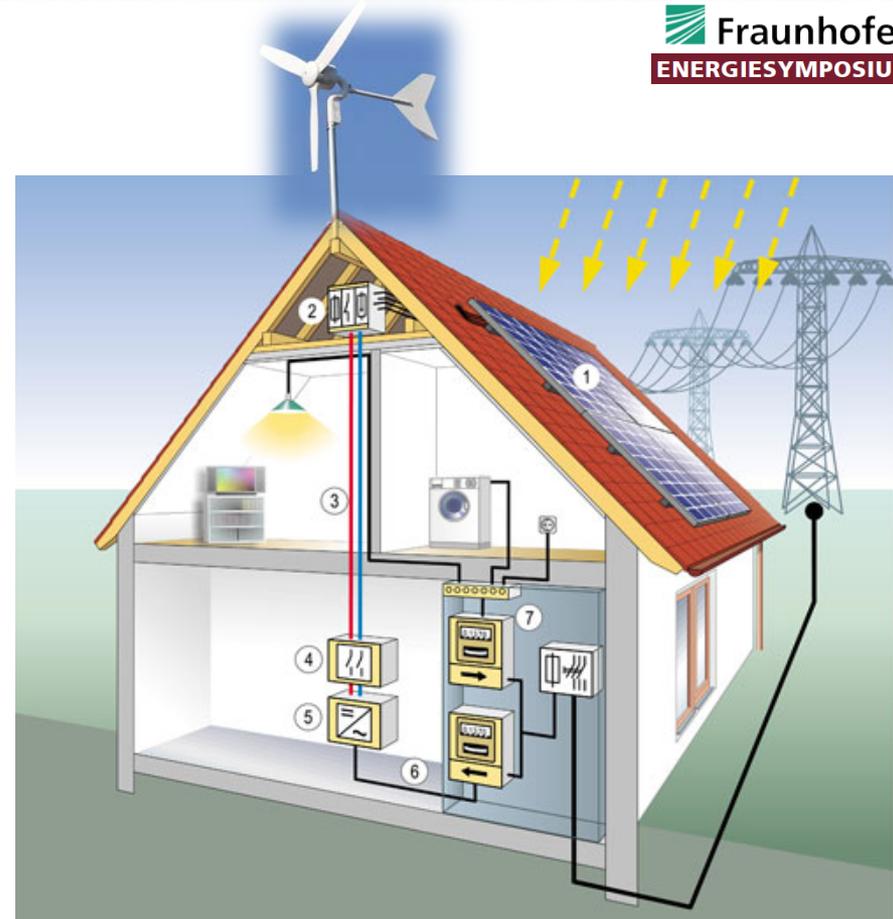
Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie





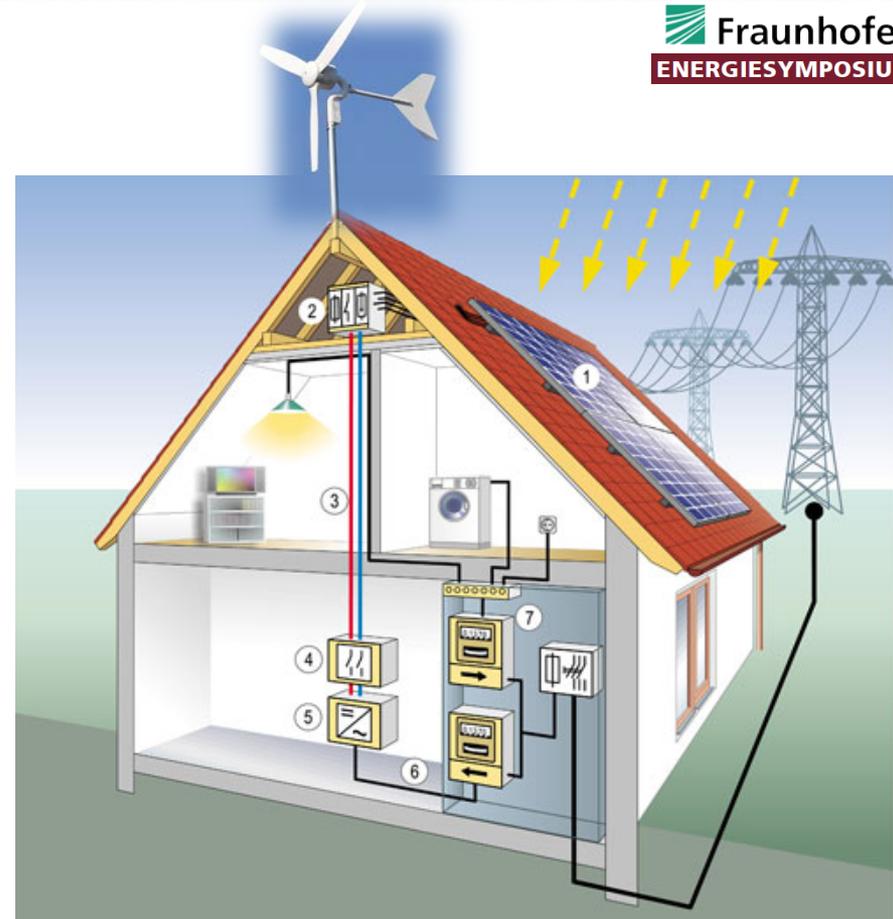
Inhalt

1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung
3. Mechanisches Schalten
4. Elektronisches Schalten
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?



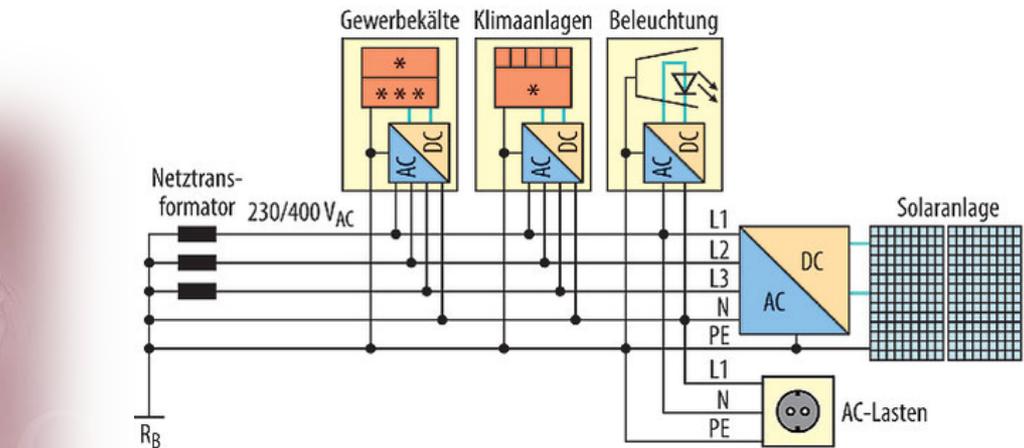
Inhalt

1. **Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung**
2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung
3. Mechanisches Schalten
4. Elektronisches Schalten
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?

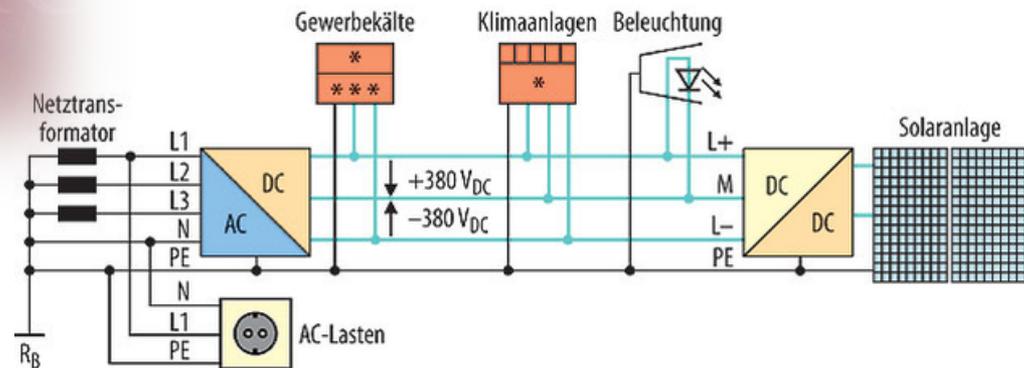


1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung Niederspannung 400 bis 800 VDC

Heute AC 230/400V

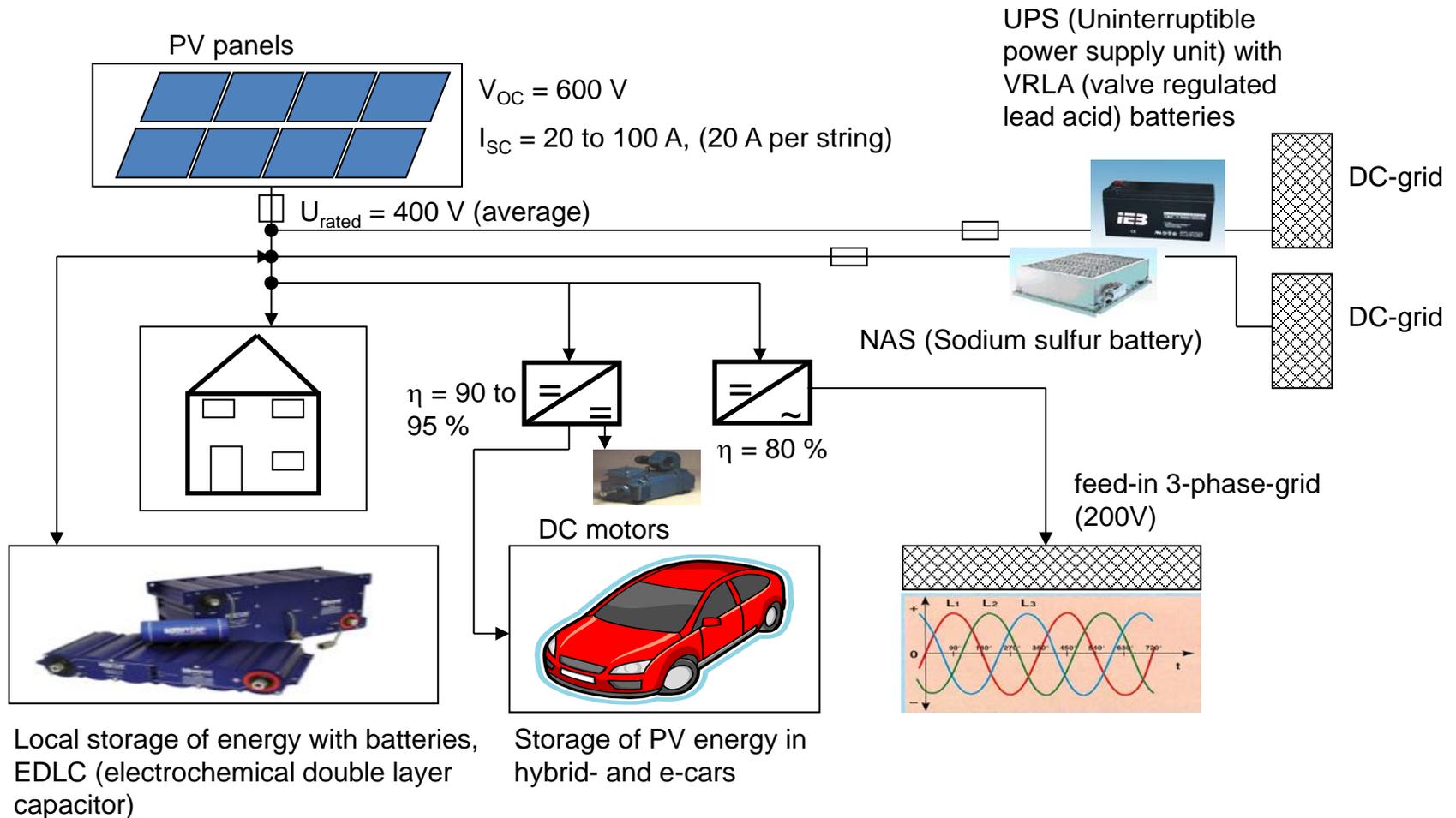


Morgen DC $\pm 380V$
(wieder?)



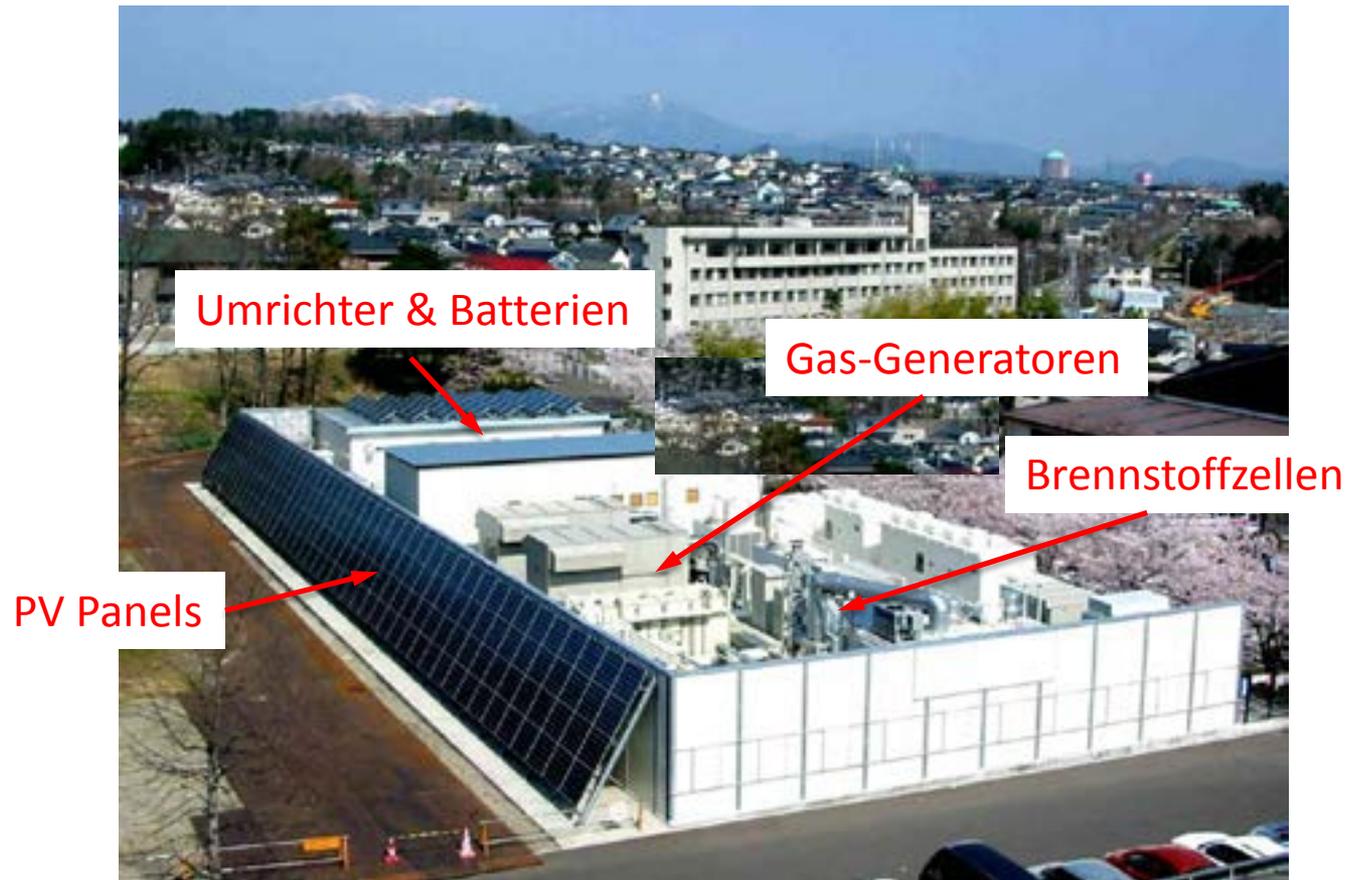
1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

Niederspannung 400 bis 800VDC



1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung

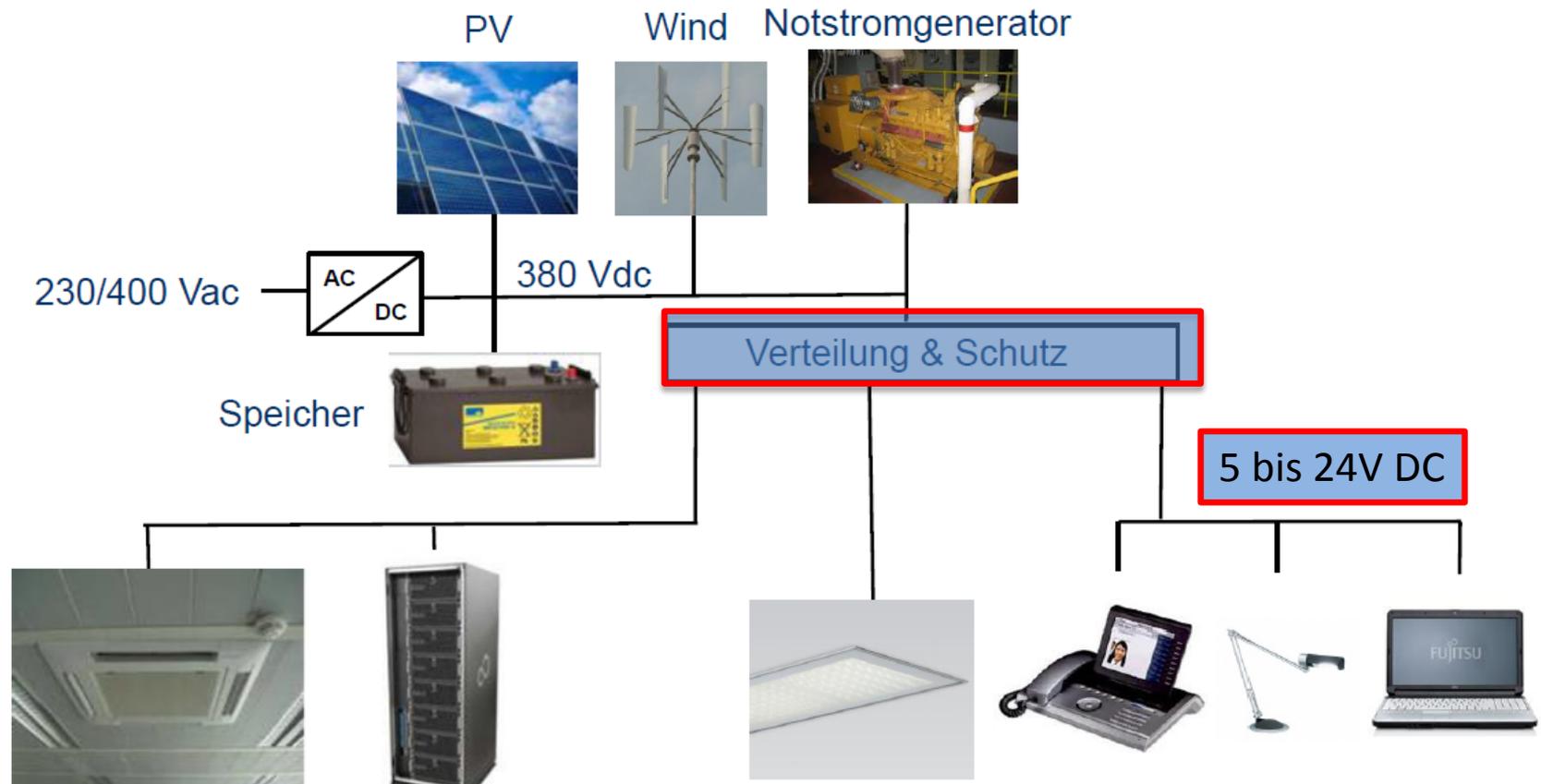
NEDO Projekt in Sendai, Japan (Microgrids)



Quelle: The Sendai Microgrid Operational Experience, NEDO, Keiichi Hirose 2013

1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung

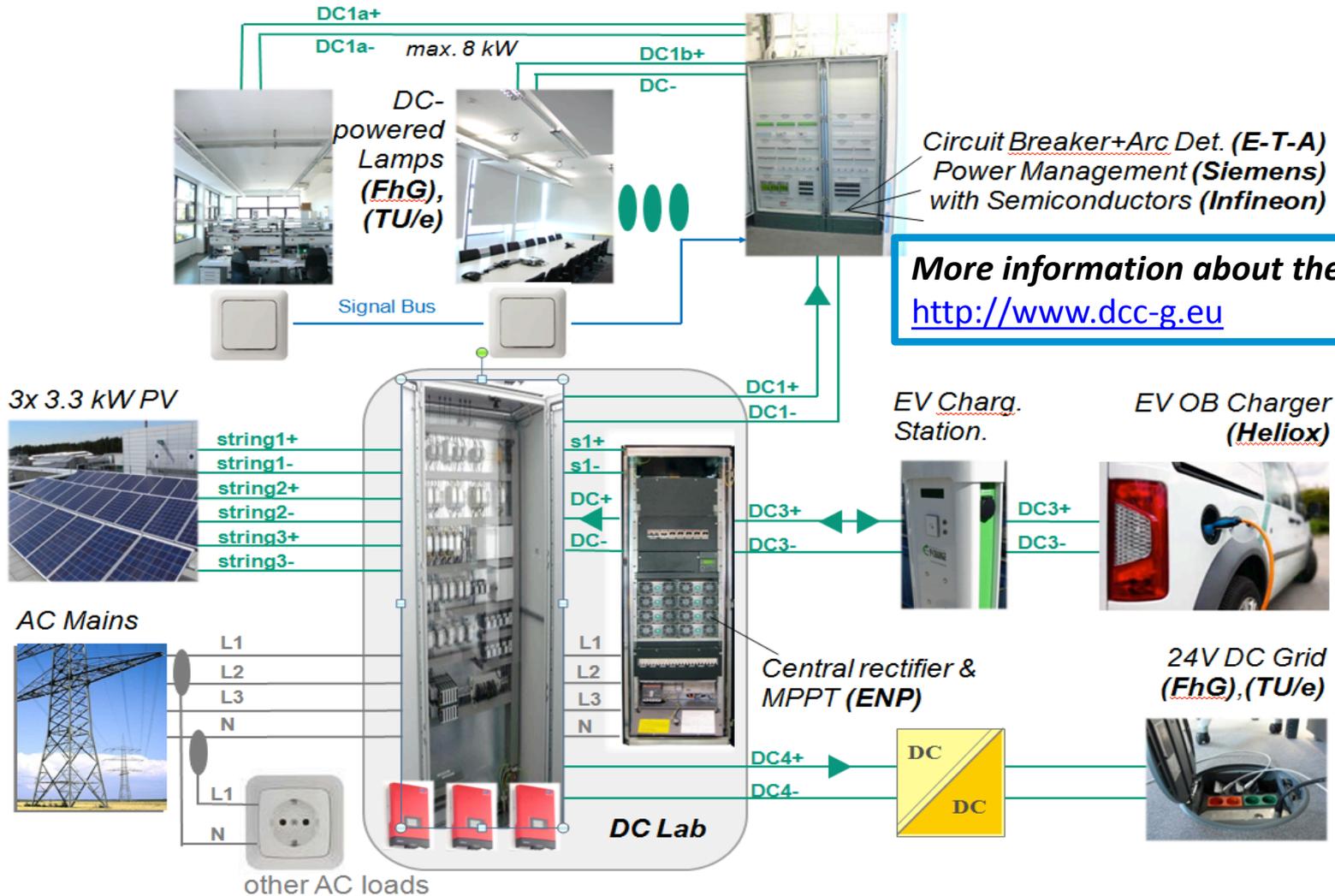
Verschiedene Spannungsebenen



Quelle: Uwe Liess, OSRAM GmbH, ECPE Workshop – Erlangen, 2012

1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

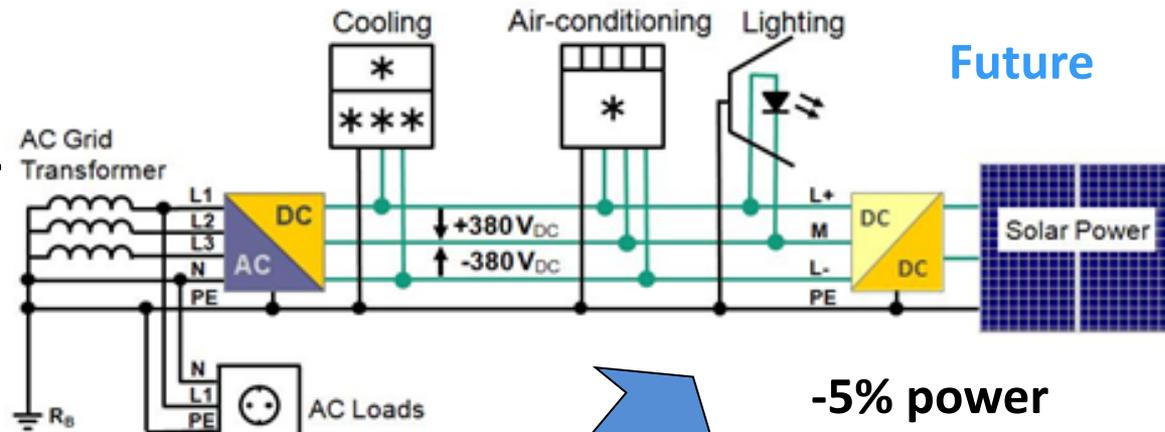
EU Projekt „DCC+G“, DC Test-Netz FhG IISB, Erlangen



1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

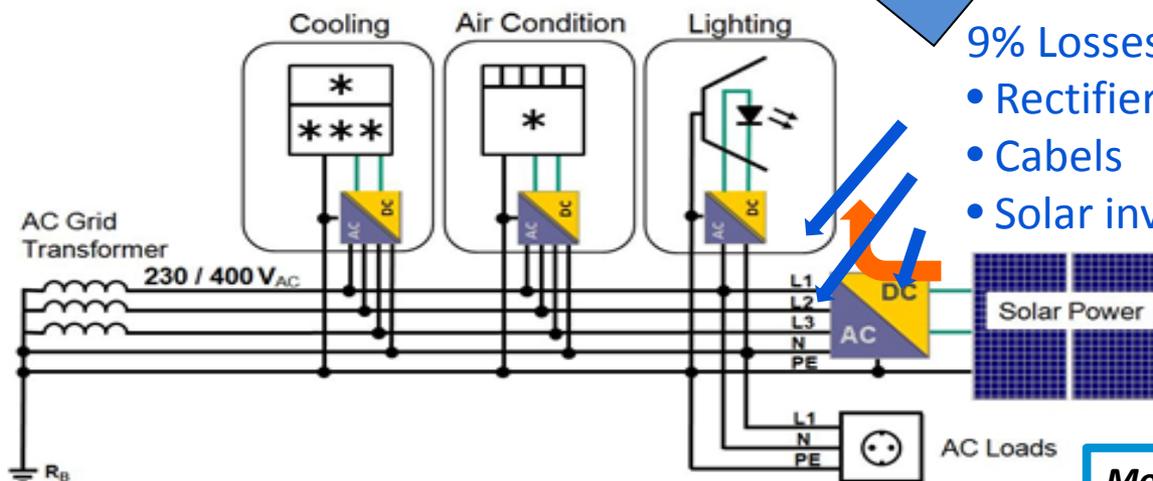
EU Projekt „DCC+G“, Projektziele

-7% cost for solar electricity



Future

-5% power consumption



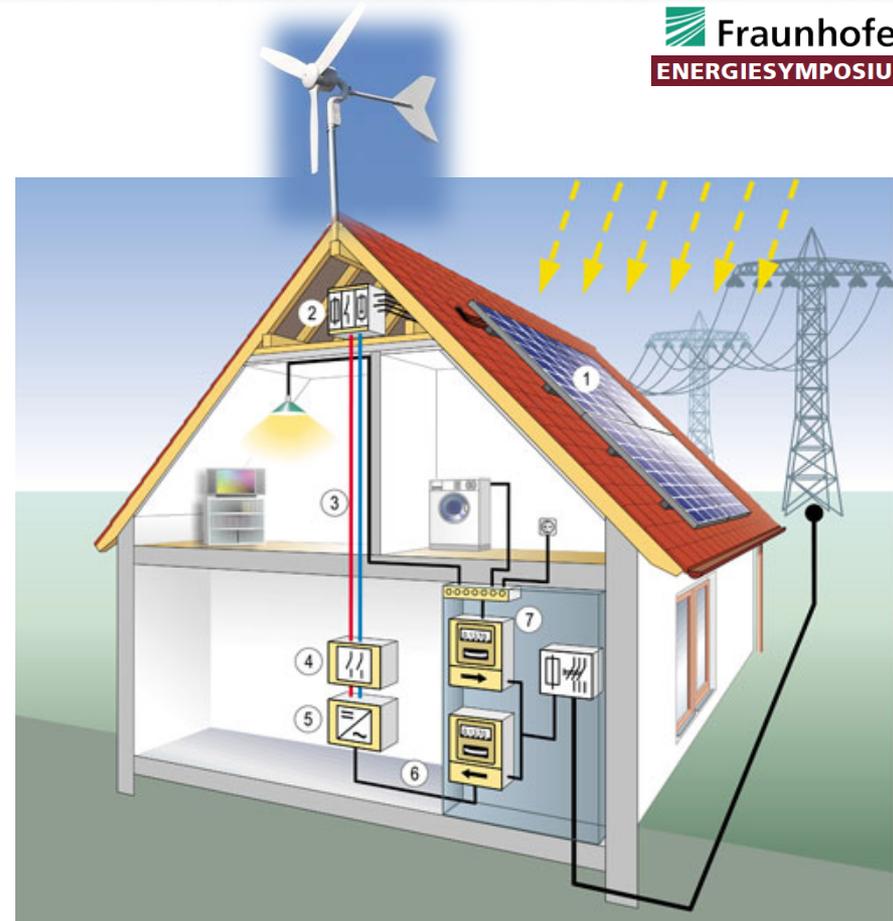
Today

- 9% Losses in
- Rectifier
 - Cabels
 - Solar inverter

More information about the project see:
<http://www.dcc-g.eu>

Inhalt

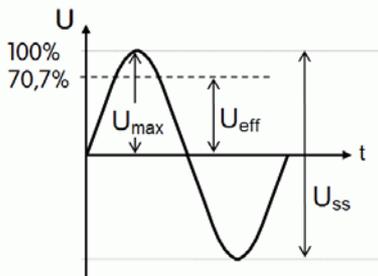
1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
- 2. Unterschiede Wechselfspannung / Gleichspannung**
3. Mechanisches Schalten
4. Elektronisches Schalten
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?



2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung

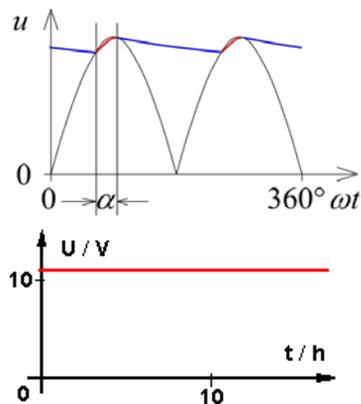
Physikalische Eigenschaften

Wechselspannung



- ⦿ Stromrichtung wechselt im Rhythmus der Frequenz
- ⦿ Strom wird Null und kann leichter abgeschaltet werden
- ⦿ Spannung kann mit einfachen technischen Mitteln auf hohe Werte transformiert werden
- ⦿ Wandlungsverluste <1%
- ⦿ Bei der Übertragung entsteht Blindleistung
- ⦿ Berührungsspannungsgrenze 60V

Gleichspannung

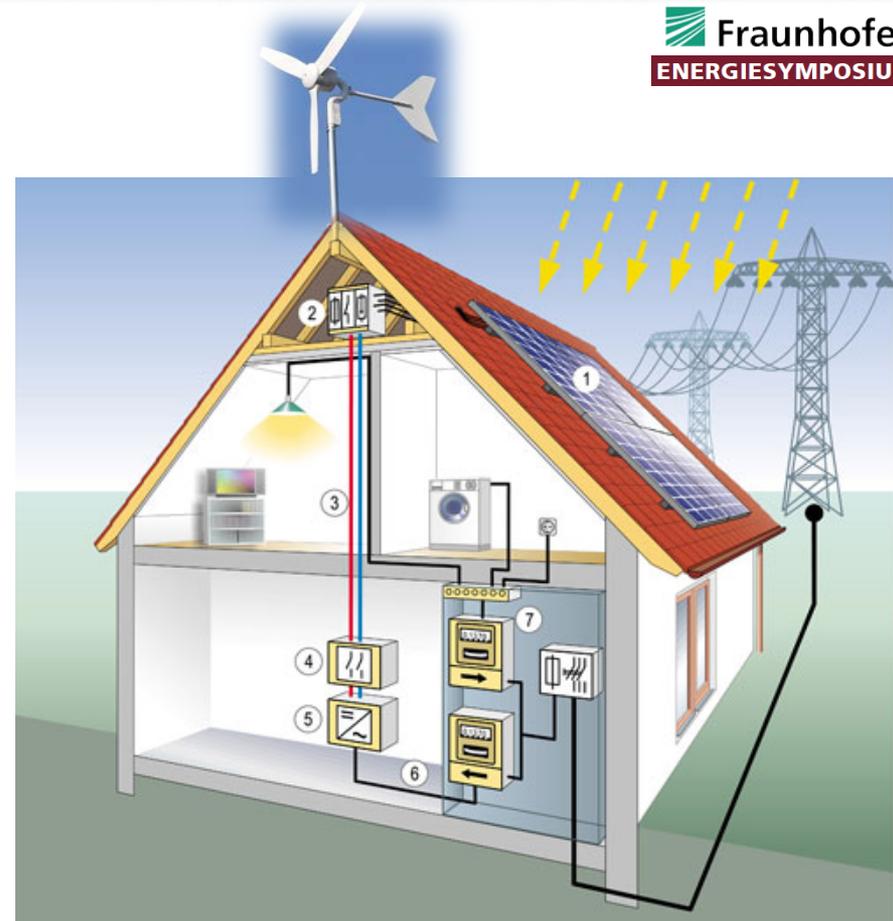


- ⦿ Strom fließt nur in eine Richtung
- ⦿ Strom wird nicht Null und ist daher schwieriger abzuschalten
- ⦿ Spannung kann nur technisch aufwändig auf hohe Werte gewandelt werden
- ⦿ Wandlungsverluste 1...3%
- ⦿ Bei Übertragung entstehen nur ohmsche Verluste
- ⦿ Berührungsspannungsgrenze 120V (in Diskussion)

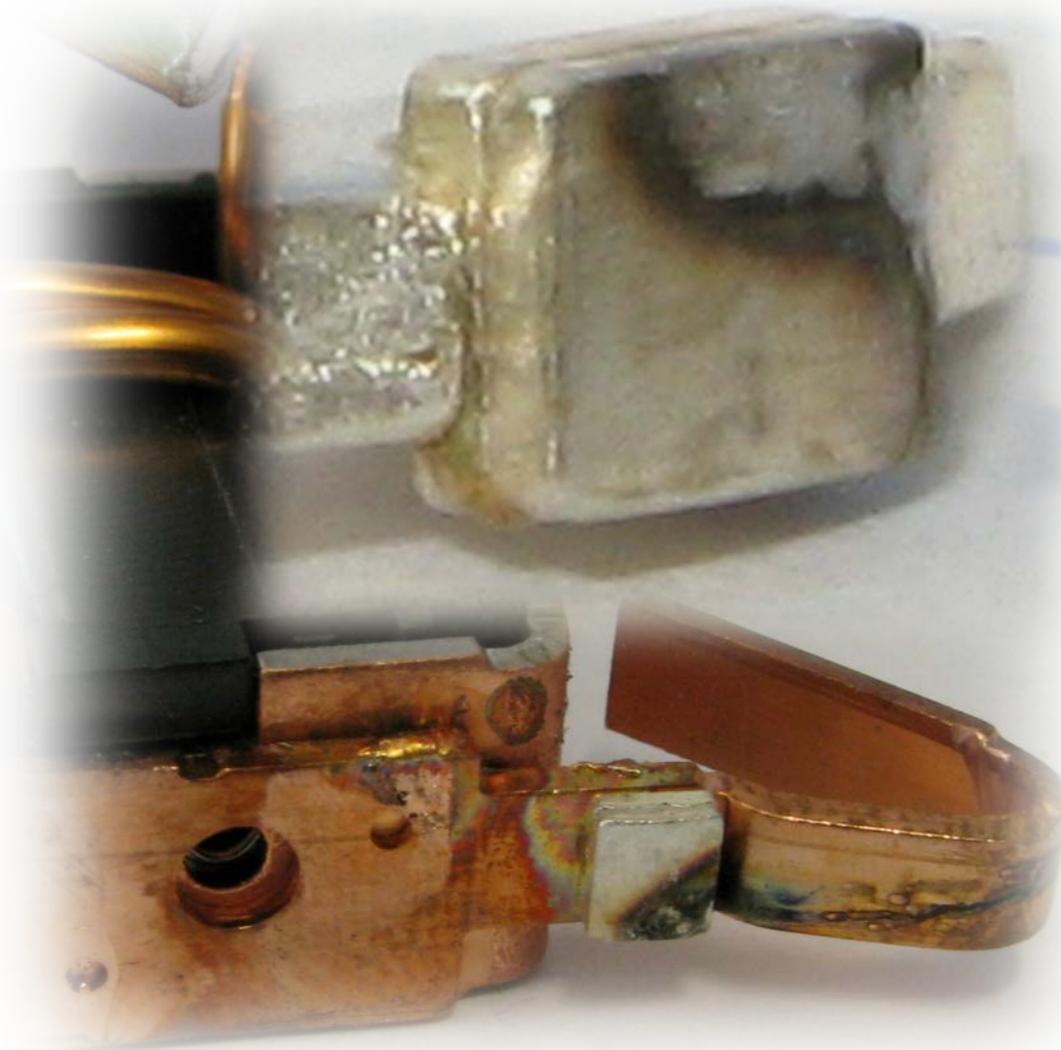


Inhalt

1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung
- 3. Mechanisches Schalten**
4. Elektronisches Schalten
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?

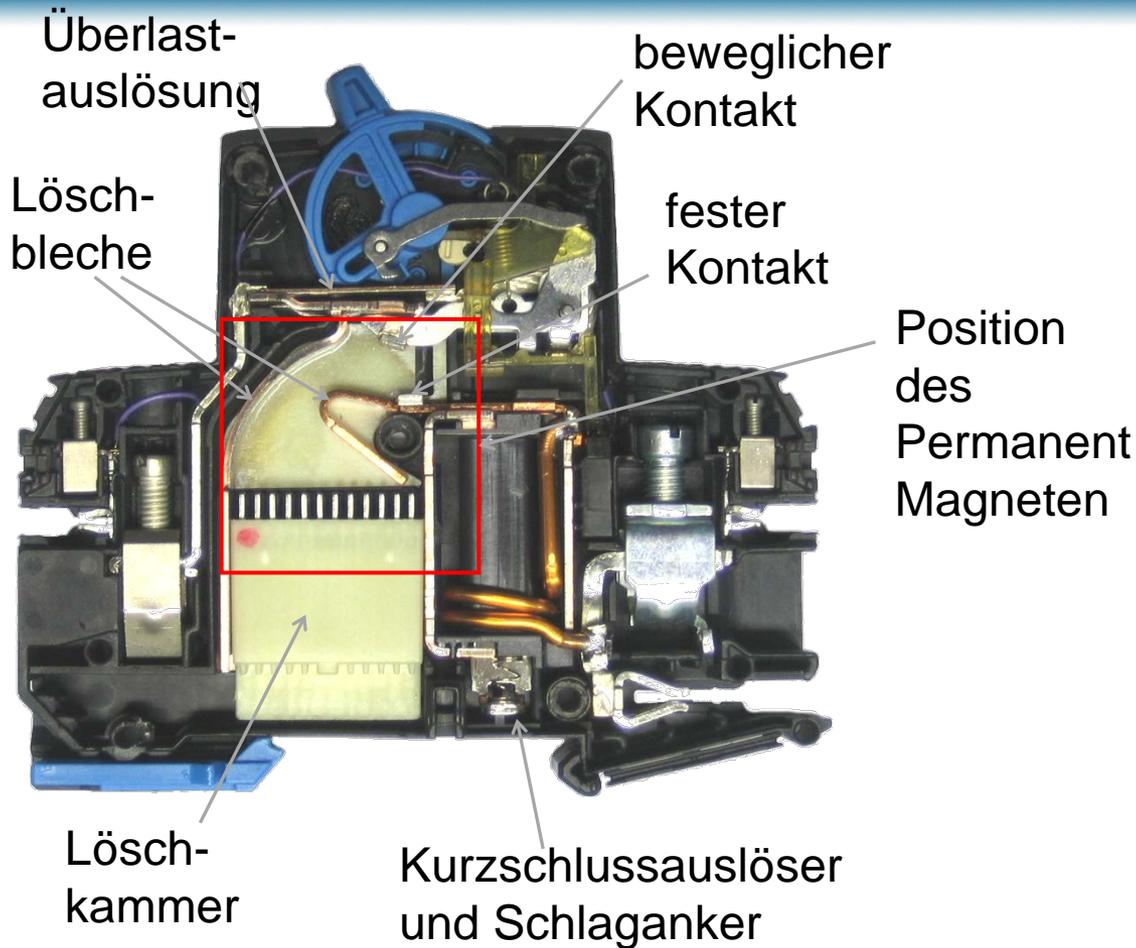


Bildquelle: <http://sunenergy24.eu>



3. Mechanisches Schalten

Magnetisches Blasfeld zur schnellen Lichtbogen-Bewegung

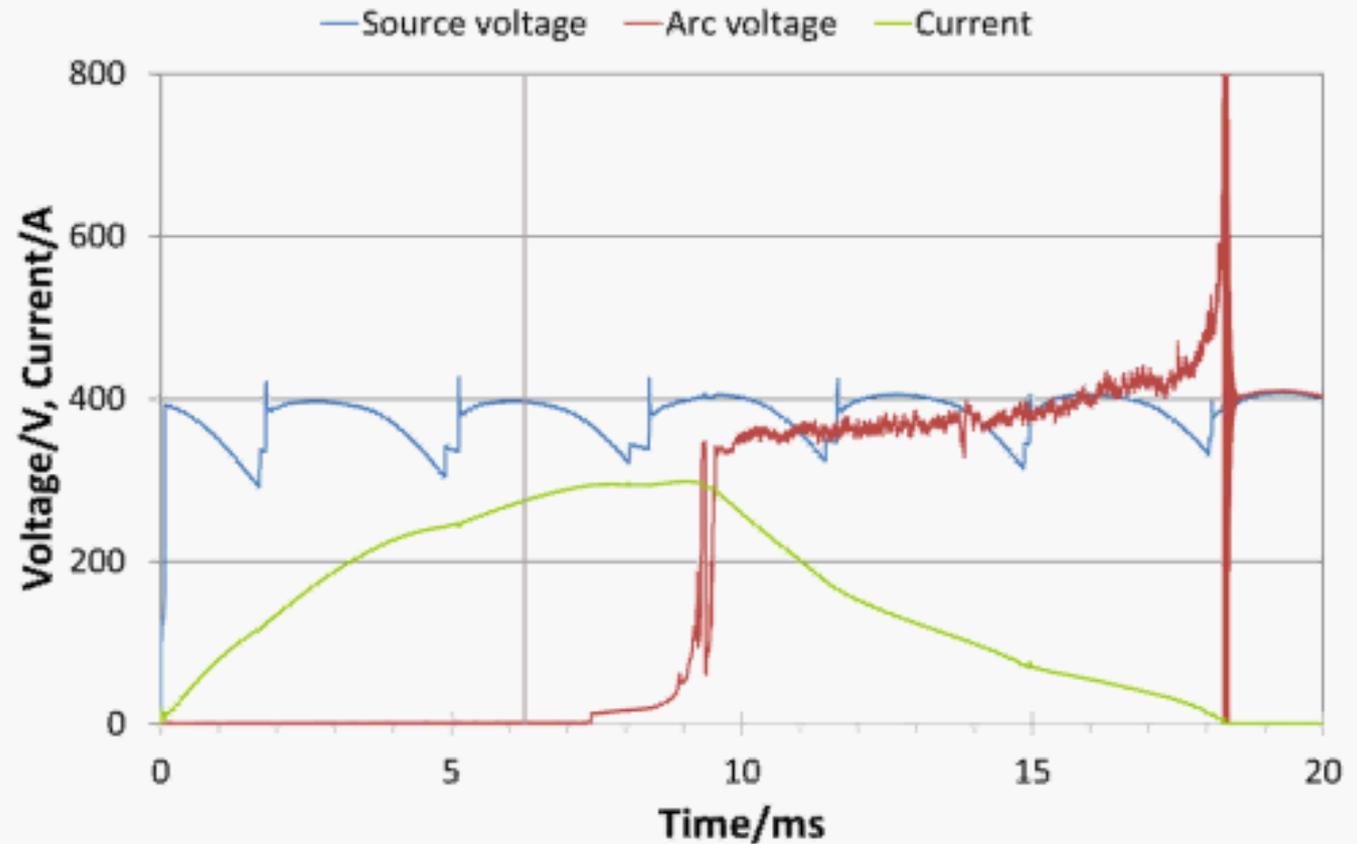
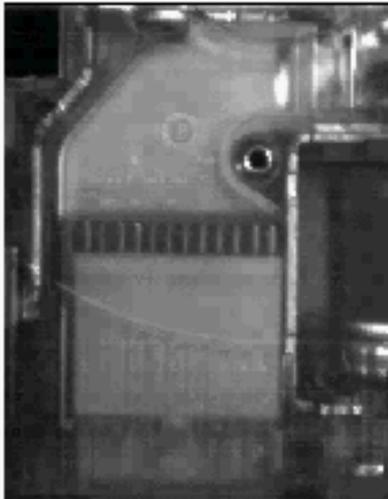


- Permanent Magnet
NdFeB Typ N52
Remanenz $B_R = 1,48 \text{ T}$
- Size $30 \times 30 \times 5 \text{ mm}^3$



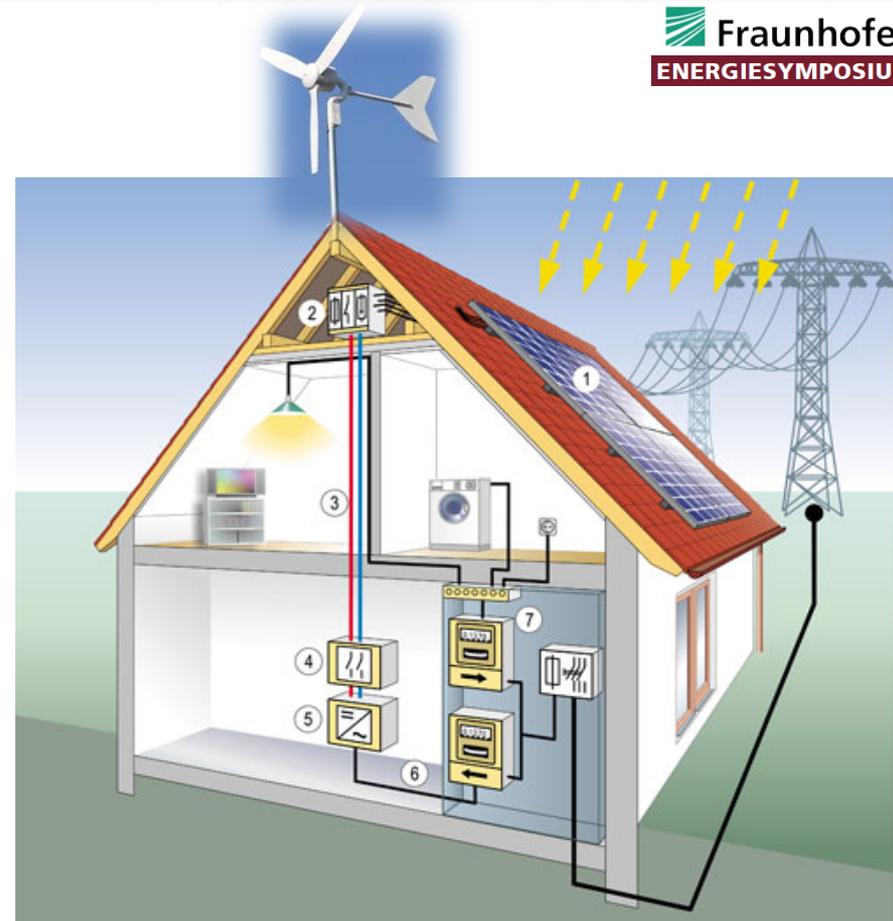
3. Mechanisches Schalten Abschaltung eines Gleichstromes

Abschaltung mit $U = 375 \text{ VDC}$, $I = 320 \text{ A}$, $\tau = 1 \text{ ms}$



Inhalt

1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung
3. Mechanisches Schalten
- 4. Elektronisches Schalten**
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?



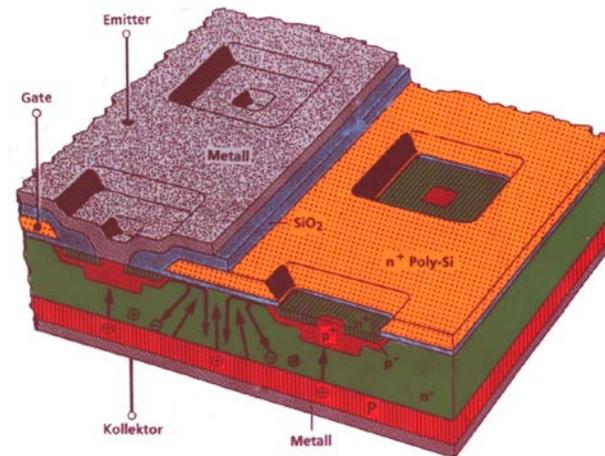
Bildquelle: <http://sunenergy24.eu>

4. Elektronisches Schalten

Lichtbogenfrei, aber ohne galvanische Trennung

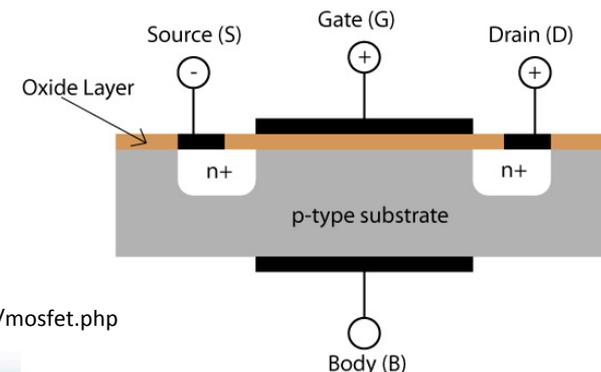
Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

- Bei einem Halbleiter werden **Ladungsträger** in einem Festkörper bewegt
- Halbleiter schalten sehr **schnell**
- Halbleiter schalten **lichtbogenfrei**
- Der PN-Übergang bietet **keine galvanische Trennung**
- Eine **Schutzbeschaltung** zur Überspannungsbegrenzung ist nötig
- Maßnahmen zur **Entwärmung** im EIN-Zustand sind nötig
- Zum Schalten von Gleichströmen verwendet man heute **IGBTs** oder **MOSFETs**



Quelle: Infineon, Anton Mauder

Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOS FET)

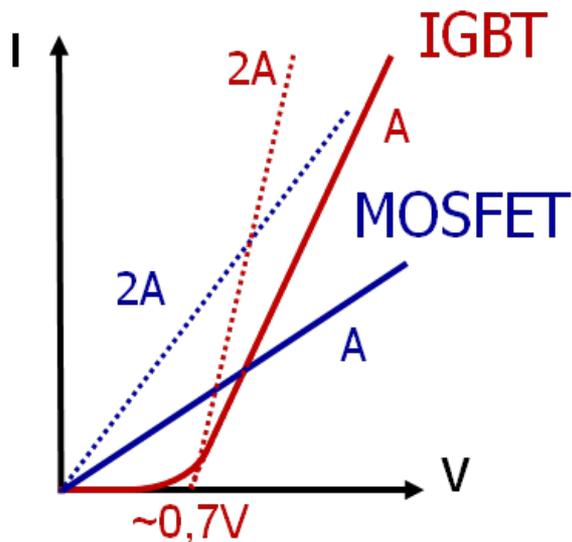


<http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/semiconductors/mosfet.php>

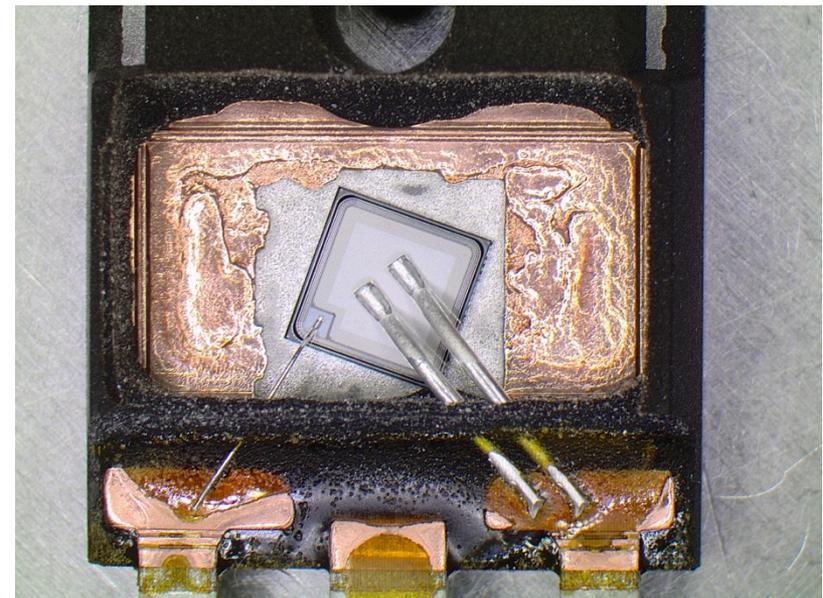
4. Elektronisches Schalten

4.1 Vergleich MOSFET / IGBT

- Weder **MOSFETs** noch **IGBTs** sind erste Wahl beim DC-Schalten
- Die **Mindest-Sperrspannung** sollte **600V** für **380V DC-Netze** sein (**Transienten!**)
- **MOSFETs** bieten niedrige Verluste im ON-Zustand
- **IGBTs** bieten hohe Sperrspannung ($> 1\text{kV}$), z.B. in **Hybrid-Schaltern**



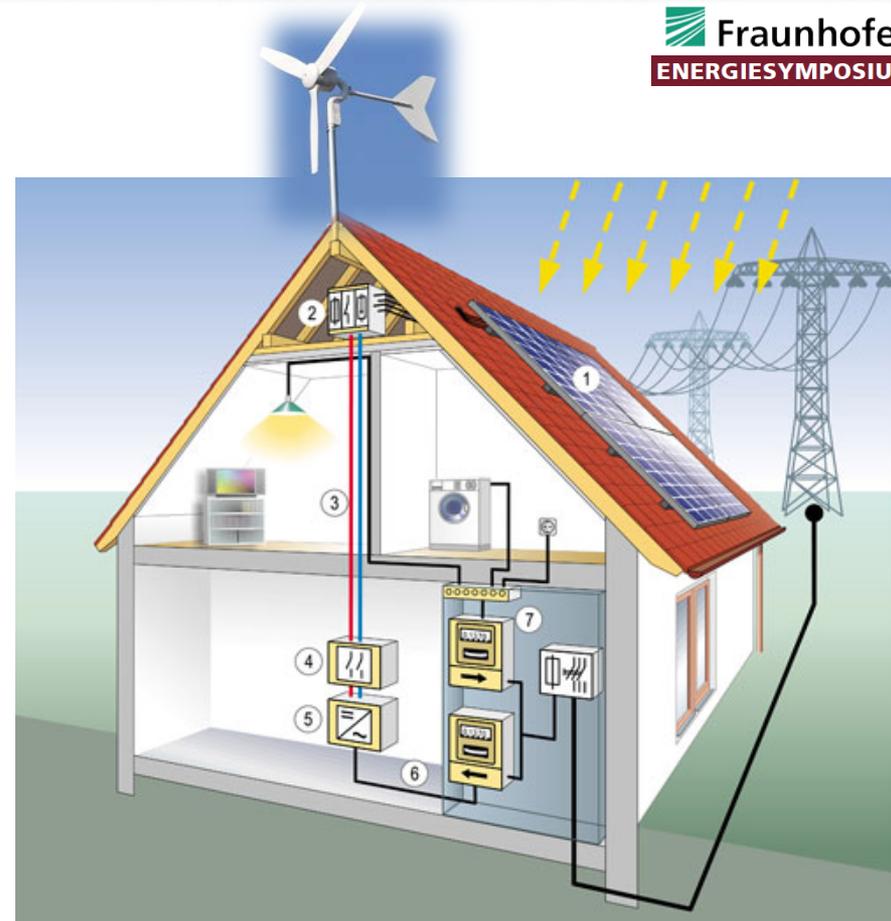
Quelle: infineon, Mauder



IGBT geöffnet (TO-247 Gehäuse)

Inhalt

1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung
3. Mechanisches Schalten
4. Elektronisches Schalten
- 5. Hybrides Schalten**
6. Quo Vadis Schutztechnik?



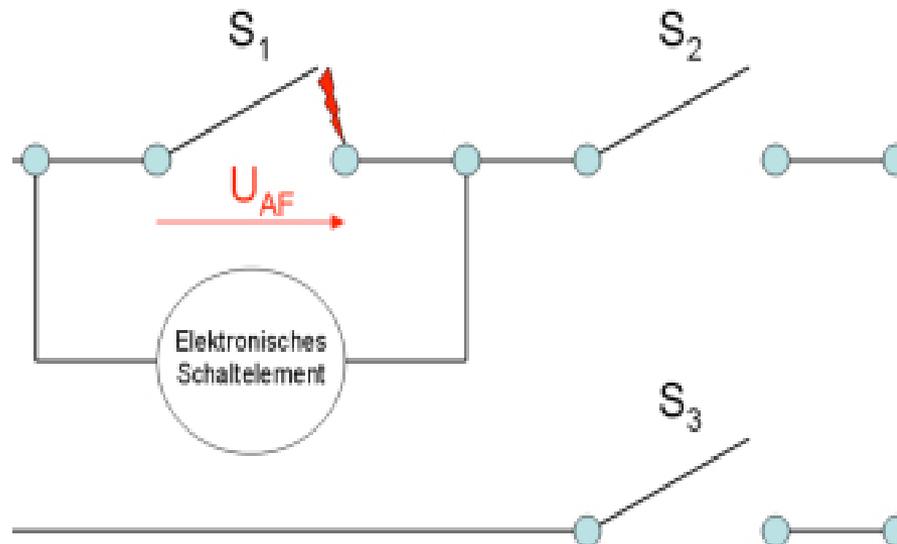
Bildquelle: <http://sunenergy24.eu>

5. Hybrides Schalten

Der „Mischling“

Das Substantiv „**Hybrid**“ bedeutet ursprünglich „**Bastard**“ und stammt von dem Griechischen Wort „*hybris*“.

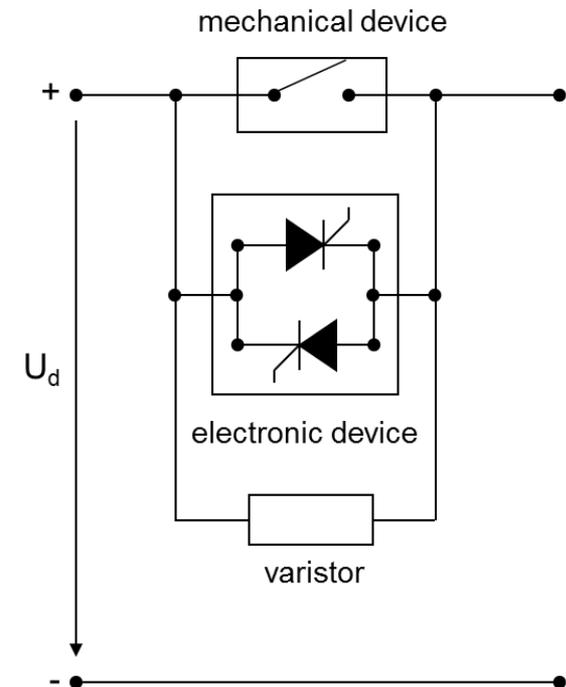
Das Lateinische „*hybridia*“ wurde dann zu „Mischling“, was den „**Hybrid-Schalter**“ als eine *Mischung aus 2 Technologien Halbleiter und mechanischem Schaltkontakt* gut kennzeichnet.



5. Hybrides Schalten

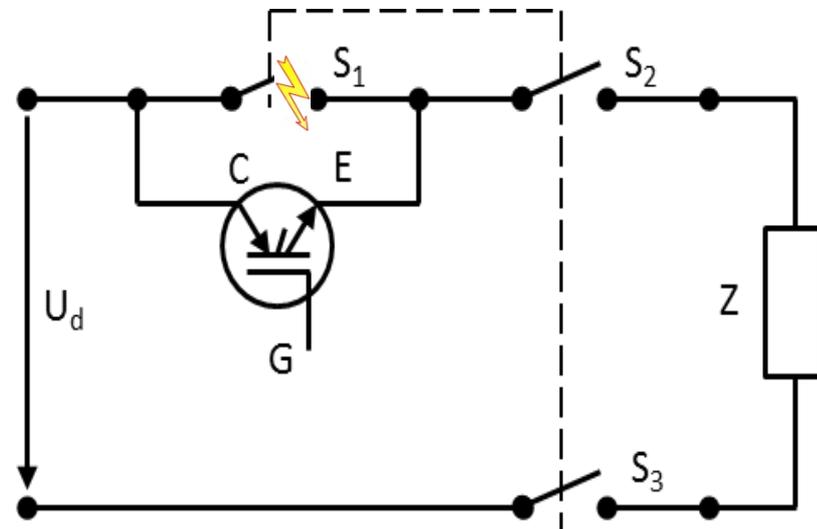
Klassisches Konzept

- Halbleiterschalter besitzen viele Vorteile wie hohe Schaltfrequenz und **sehr schnelles Abschalten** (Strom wird zu Null)
- Nachteile sind **die Verlustleistung**, fehlende **galvanische Trennung** und Empfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen (**EMV**)
- Hybrid Schalter** kompensieren diese Nachteile zu einem großen Teil.
- Der **Halbleiter** arbeitet nur während des Schaltvorgangs.
- Der **mechanische Kontakt** übernimmt die Stromführung im **eingeschalteten Zustand**.



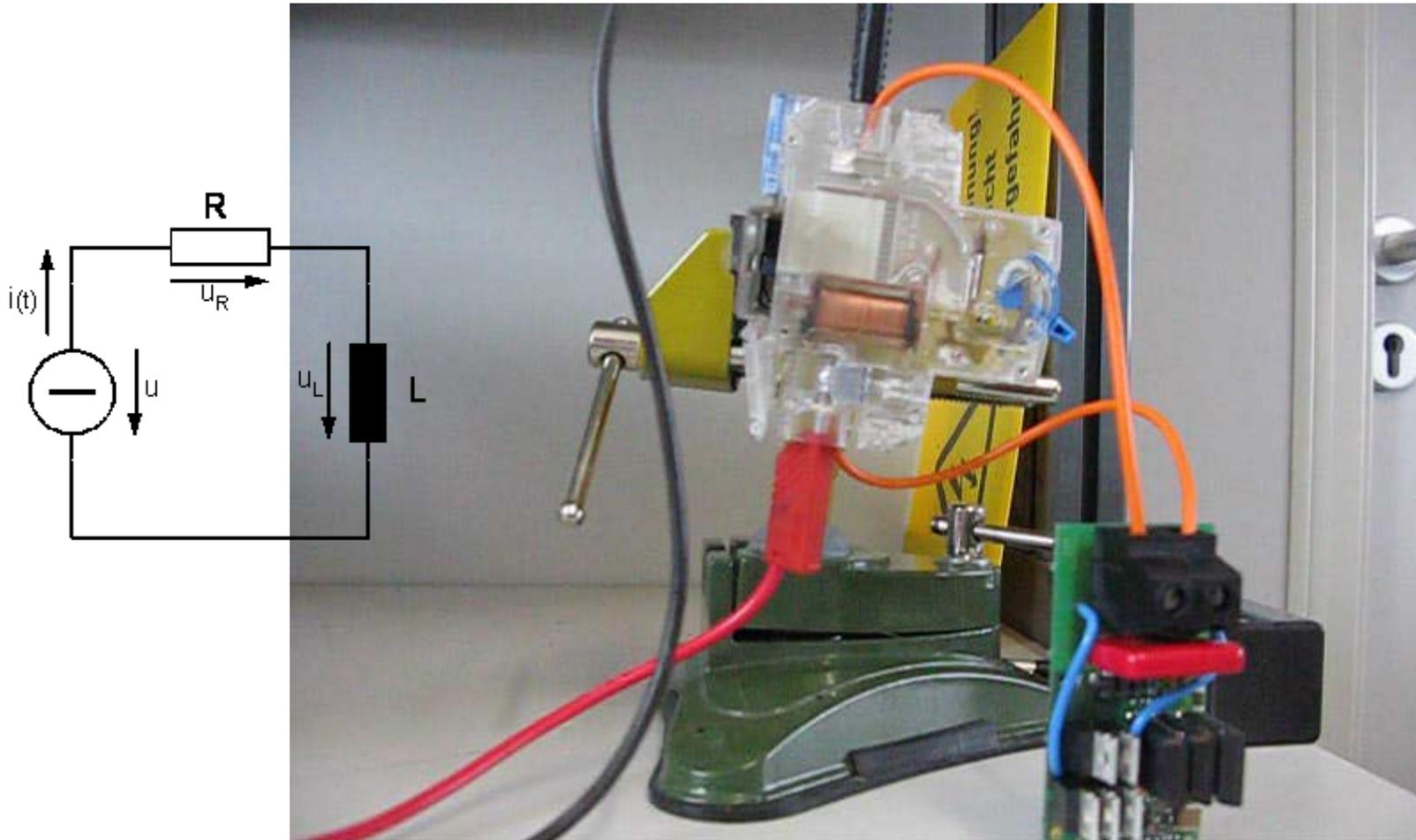
„Ernten“ der Energie im Lichtbogen

1. Basis sind **3 gekoppelte mechanische Schaltkontakte** (S_1 , S_2 und S_3)
2. Halbleiter-Schaltelement parallel zu einem der Kontakte (S_1)
3. **Halbleiter stromlos** im **EIN-Zustand** des Hybridschalters (S_1 geschlossen)
4. **Lichtbogen** beim Öffnen von S_1 **versorgt Steuer-Elektronik mit Energie** durch die **Mindest-Lichtbogen-Spannung von 15...20V**
5. **Strom kommutiert** von S_1 auf **IGBT**
6. **Lichtbogen verlischt sofort**
7. **IGBT** wird in den **NICHT-leitenden** Zustand gesteuert
8. **S_1 öffnet quasi “lichtbogenfrei”**
9. **S_2 and S_3** folgen mit Verzögerung und sichern die **galvanische Trennung**



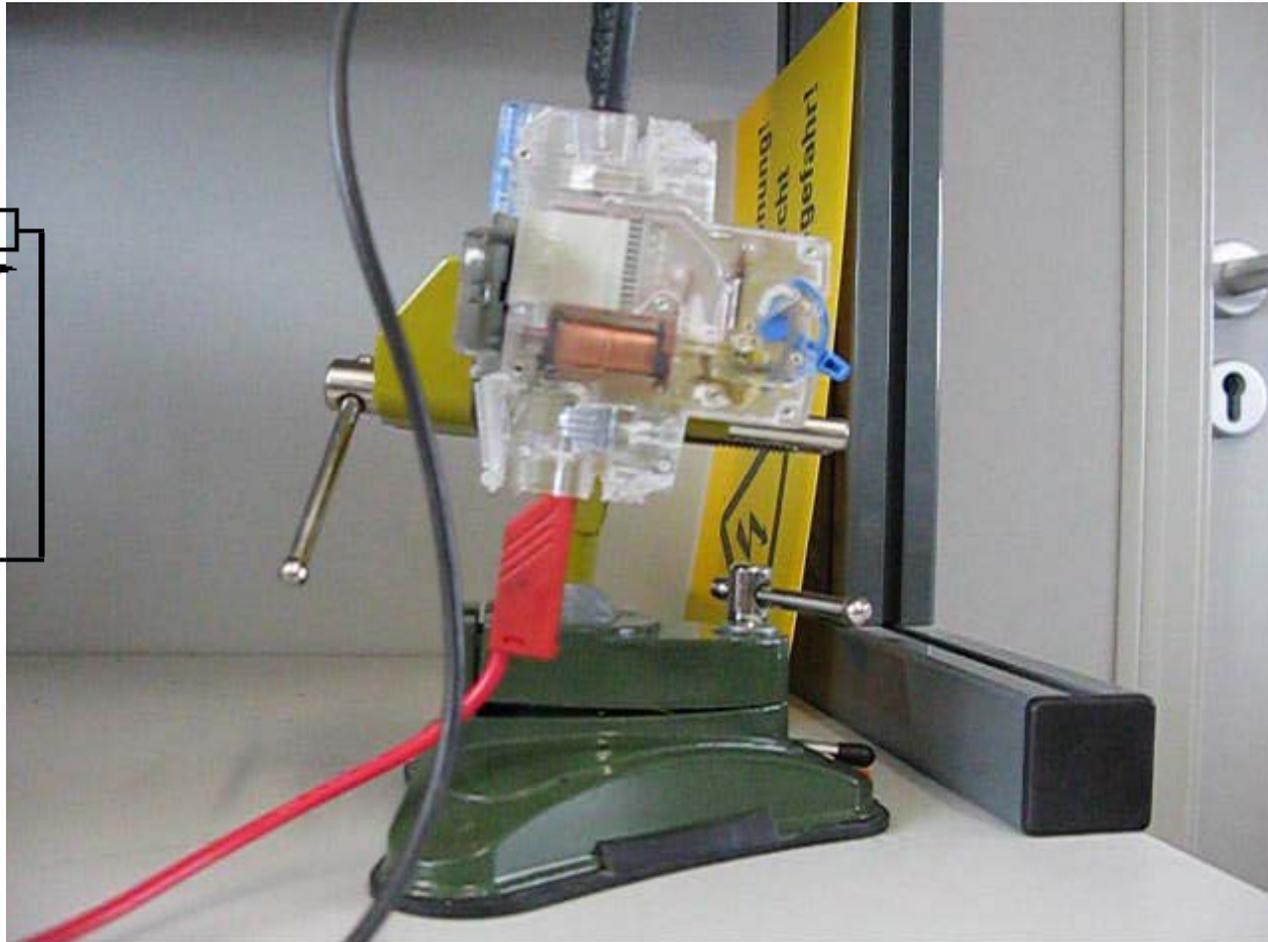
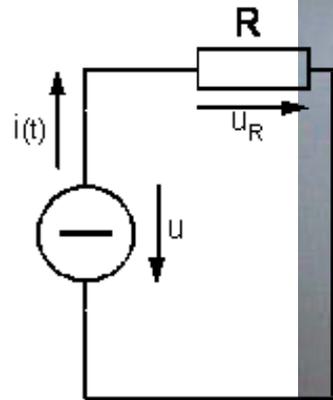
5. Hybrides Schalten

Hybridschutzschalter: 400V DC, 5A / induktiv



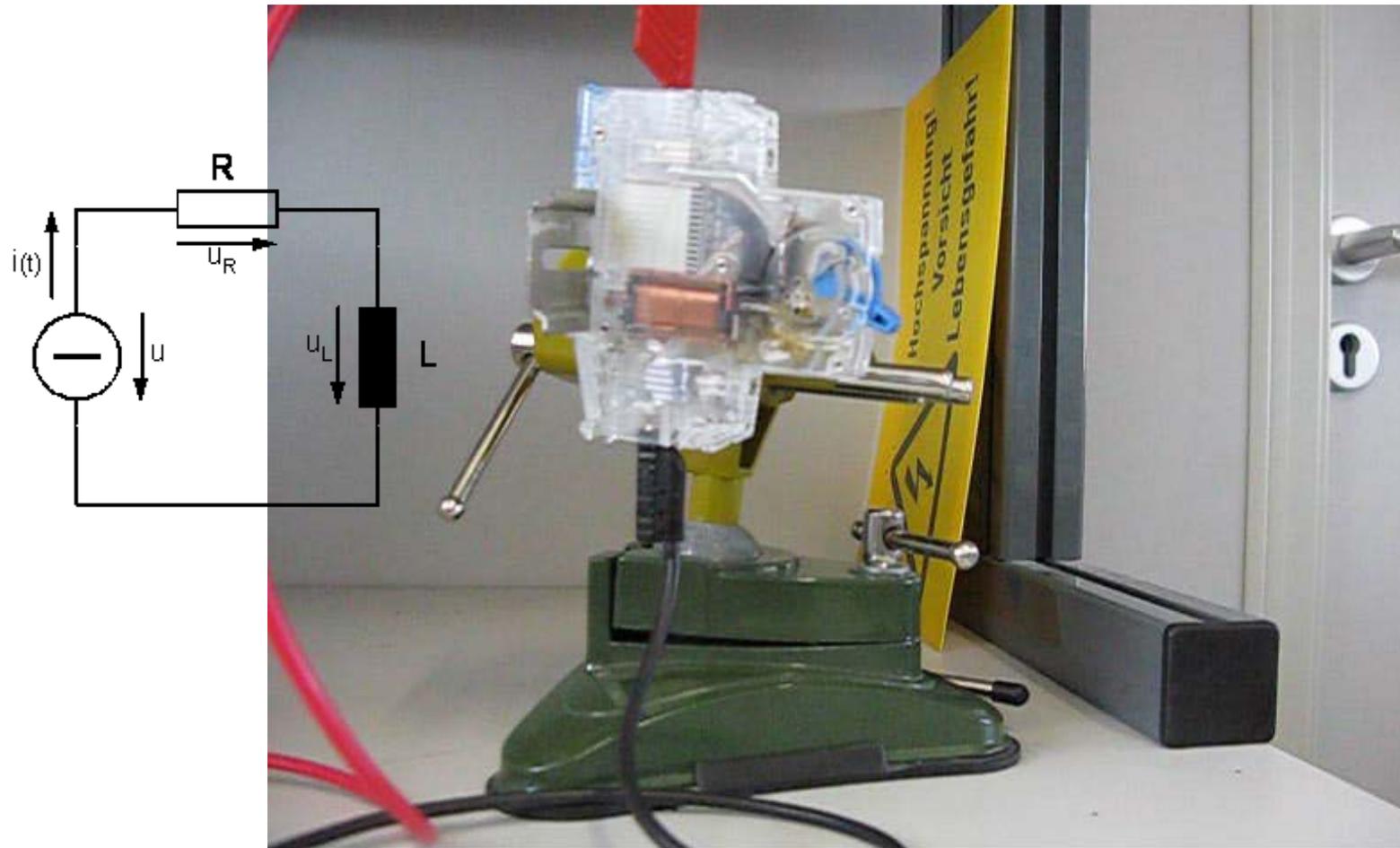
5. Hybrides Schalten

Mechanischer Schutzschalter: 400V DC, 5A / ohmsch



5. Hybrides Schalten

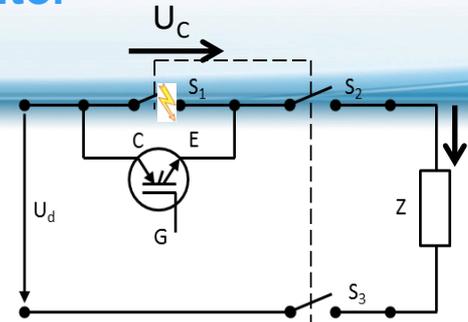
Mechanischer Schutzschalter: 400V DC, 5A / induktiv



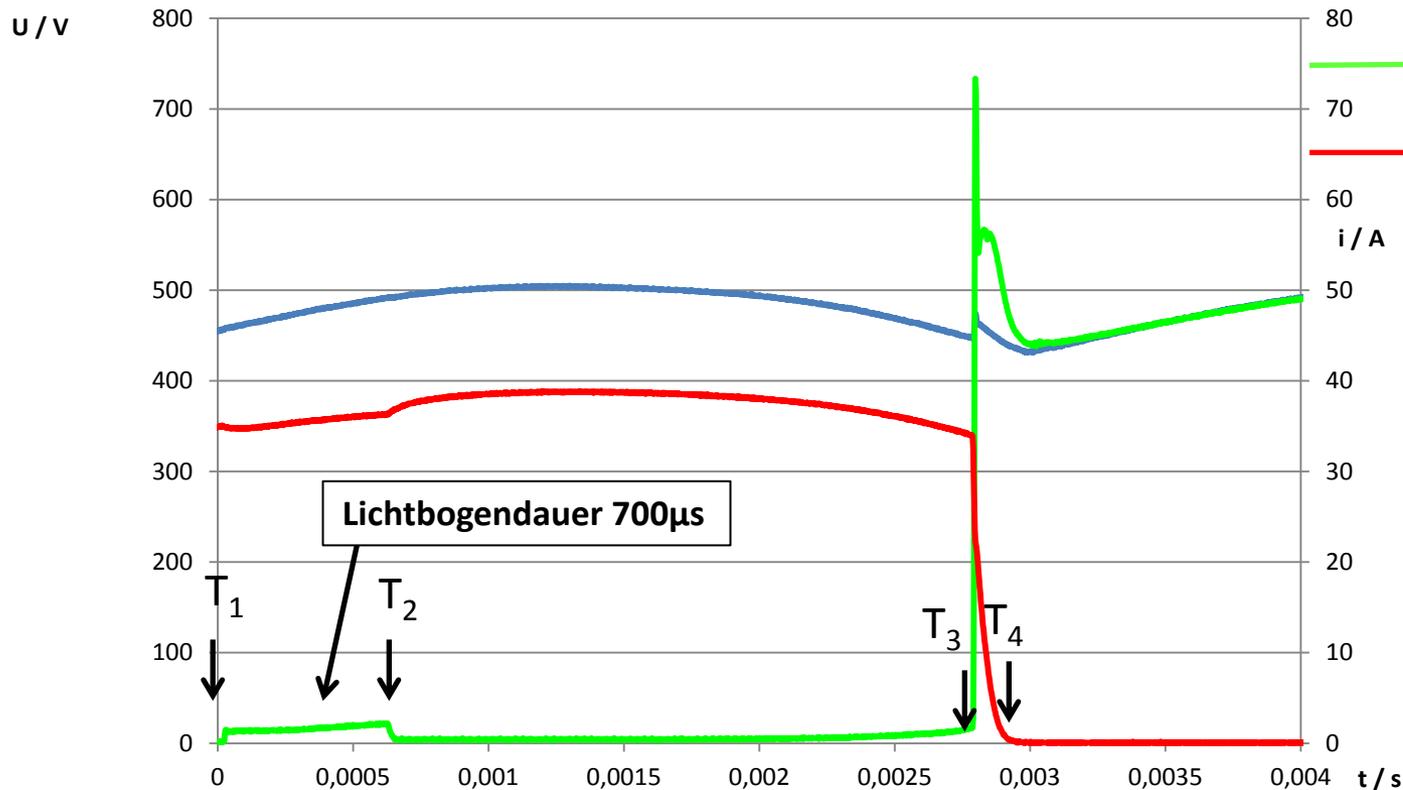
5. Hybrides Schalten

Reales Schaltgerät: Hybrid-Trenn-Schalter

Abschaltszilogramm



$U_d = 482 \text{ V} ; i = 37 \text{ A}, \tau = 3 \text{ ms}$

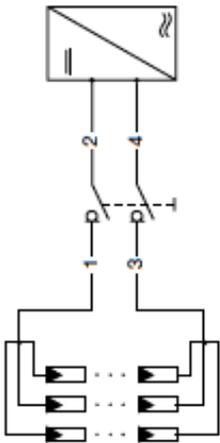


- Quellenspannung U_d
- Spannungsfall U_C an S_1
- Strom i
- T_1 Kontakt S_1 öffnet
- T_2 Strom kommutiert auf Halbleiter
- T_3 IGBT sperrt
- T_4 Strom wird zu Null
- $T_2 - T_1$ Lichtbogendauer **700 μs**
- $T_3 - T_2$ Verzögerungszeit **2ms**
- $T_4 - T_3$ Sperrzeit IGBT **150 μs**
- $T_4 - T_1$ gesamte Abschaltzeit **2.9ms**

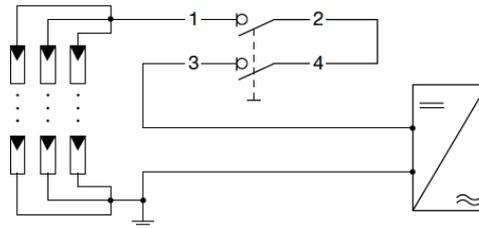
5. Hybrides Schalten

5.2 Reales Schaltgerät: Hybrid-Trenn-Schalter

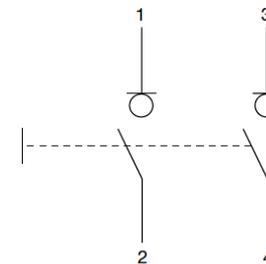
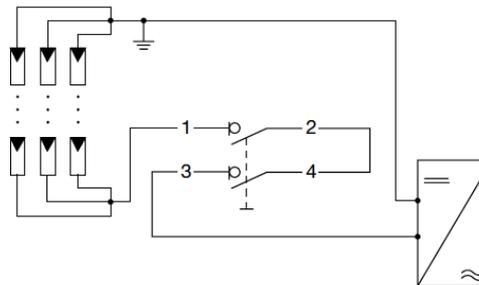
Ungeerdetes Netz



Geerdetes Netz (Minus geerdet)



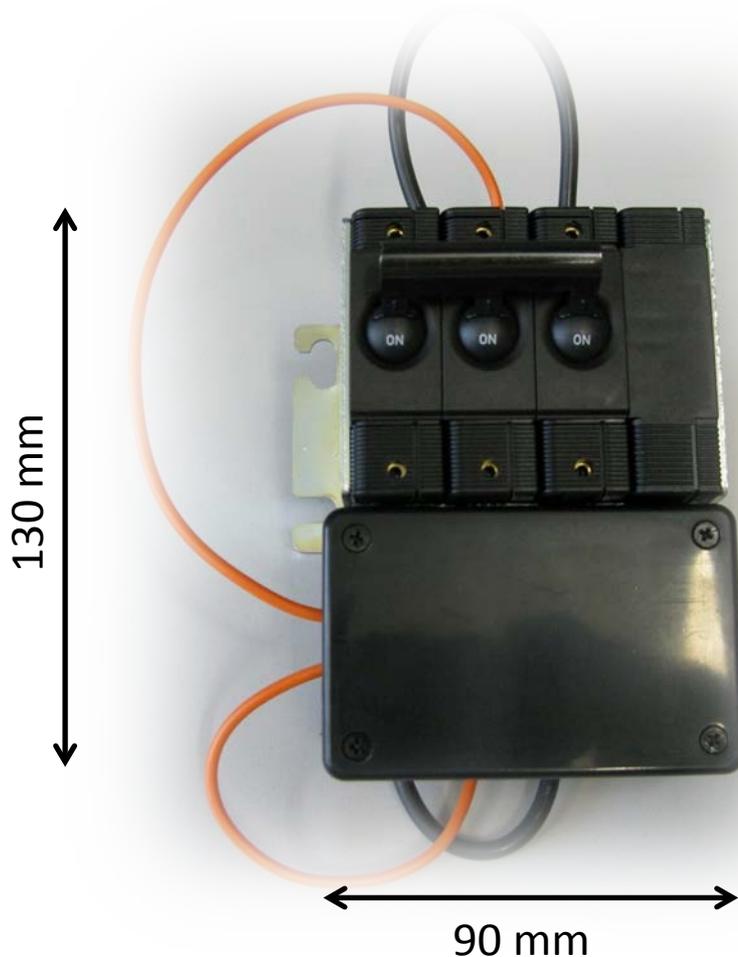
Geerdetes Netz (Plus geerdet)



Bemessungsbetriebsspannung DC 1.000V
Bemessungsisolationsspannung DC 1.500V
Bemessungsbetriebsstrom $\leq 30A$
2-polige Trennung, integriertes Fail-Safe-Element

5. Hybrides Schalten

Prototyp eine hybriden Schutzschalters



HCB¹⁾ Demonstrator (erster Prototyp)

Nennspannung 400VDC

Nennstrom 160A

← **Hydraulisch-Magnetischer
Schutzschalter**

schnelle Fernauslösung
Remote ON / OFF

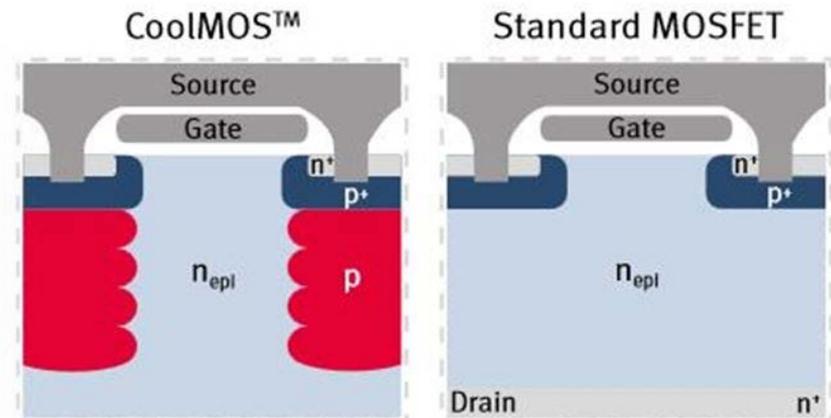
← **IGBT**

plus Steuer-Elektronik

1) Hybrid Circuit Breaker

Hybrid-Schutzschalter Prototyp

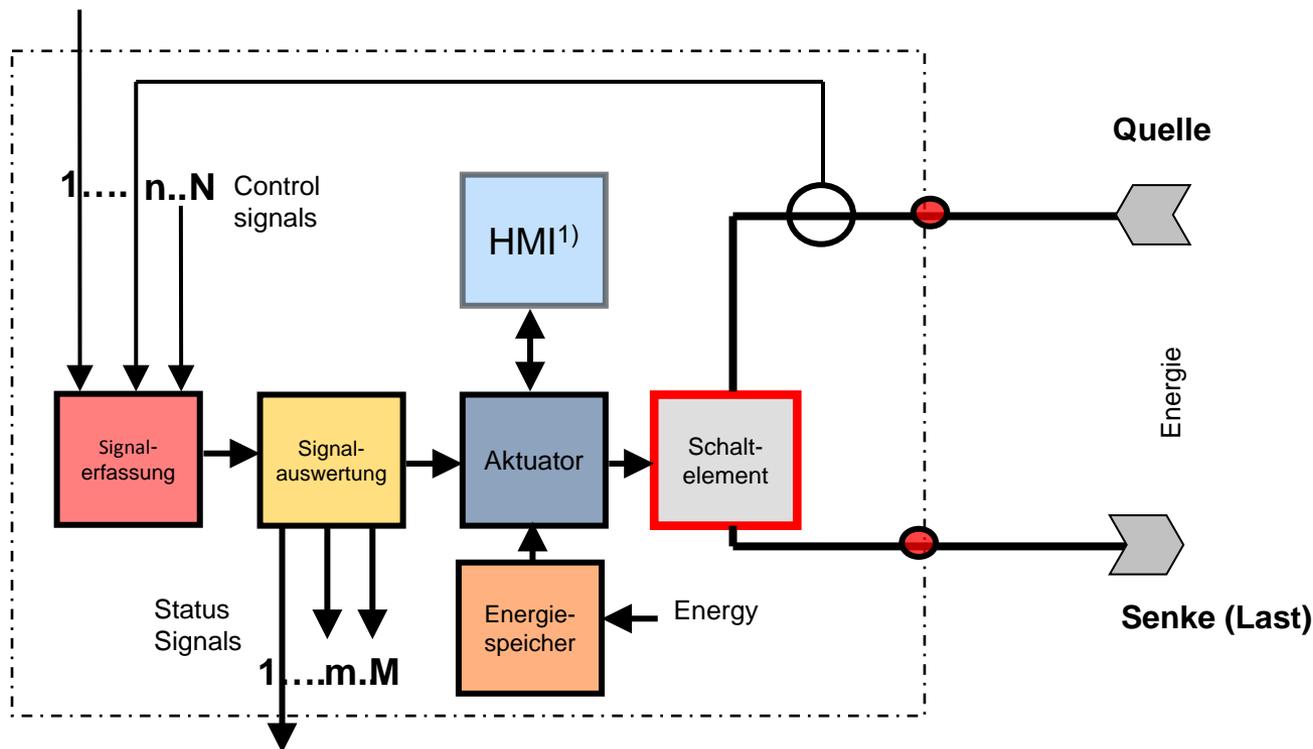
- Weiterentwicklung des IGBT-basierten Musters
- Tests mit CoolMOS™ Bauteilen
- Reduzierung der Komplexität der Steuerelektronik
- Reduzierung der Gesamtausschaltzeit



6. Quo Vadis – Schutztechnik?

Ausblick

- Ein elektrisches Schutzgerät besteht aus **6 Haupt-Komponenten**.
- Die **HYBRID-Technologie** wird ein bestimmendes Element zukünftiger Schaltgeräte sein!
- Sehr schnelles Schalten, kein Lichtbogen, niedrige Verluste im EIN-Zustand!**



1) HMI Human Machine Interface



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



EUROPÄISCHE UNION

Danke für Ihre Aufmerksamkeit – noch Fragen?

Dipl. Ing. Peter Meckler

Leitung InnoLab

Innovation & Technologie und Prüflabor

E-T-A GMBH, Altdorf bei Nürnberg, Germany

Wir danken dem **Bundesministerium für Bildung und Forschung** und der **Europäischen Union** für die Förderung des Projektes **DCC+G** (BMBF FKZ 13N12113; ENIAC Nr. 296108 “DC Components and Grid”).

