

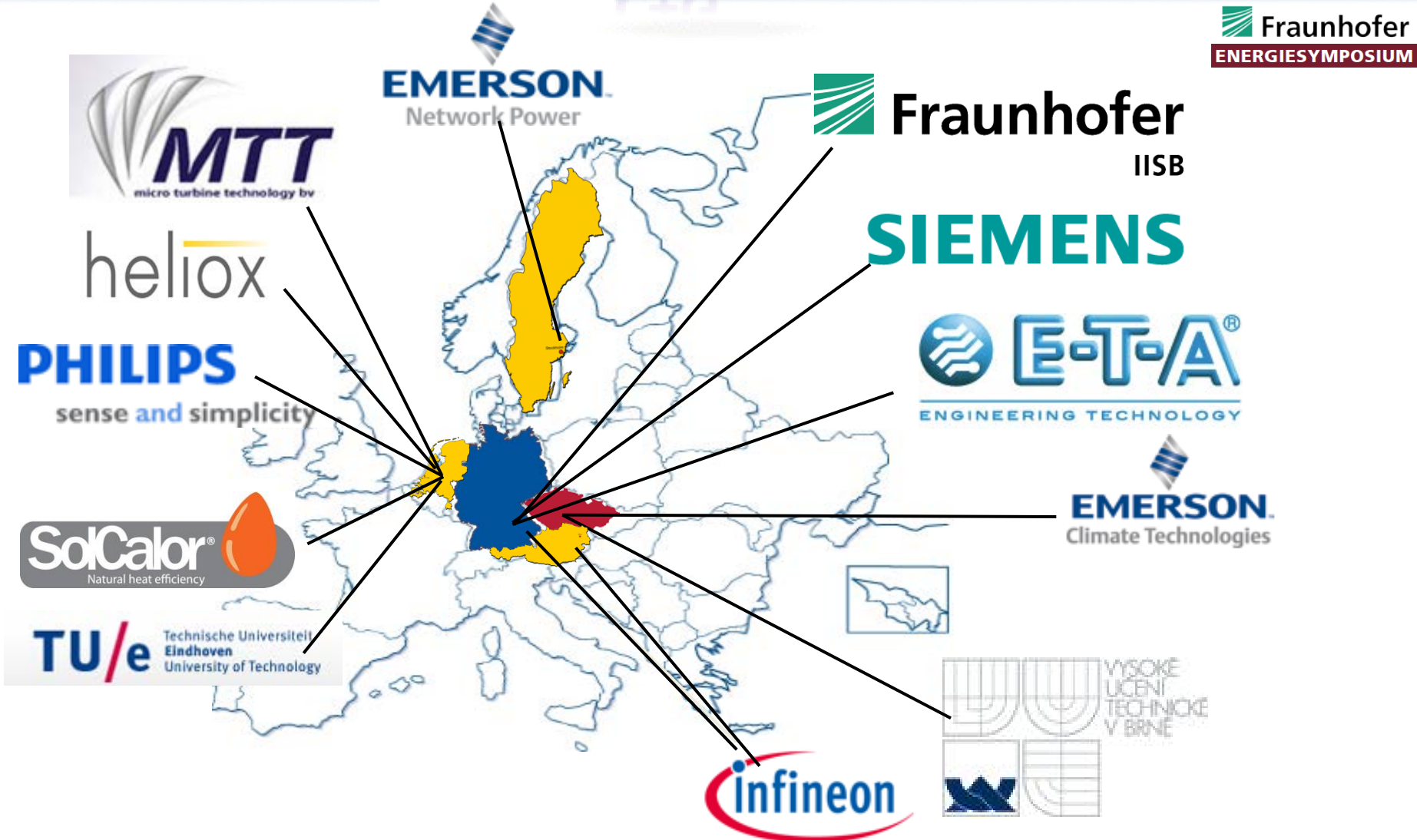
**SYMPOSIUM**  
**ENERGIETECHNIK IM WANDEL**  
**BAYERISCHE ENERGIEFORSCHUNGSPROJEKTE**

 **Fraunhofer**  
**ENERGIESYMPOSIUM**



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

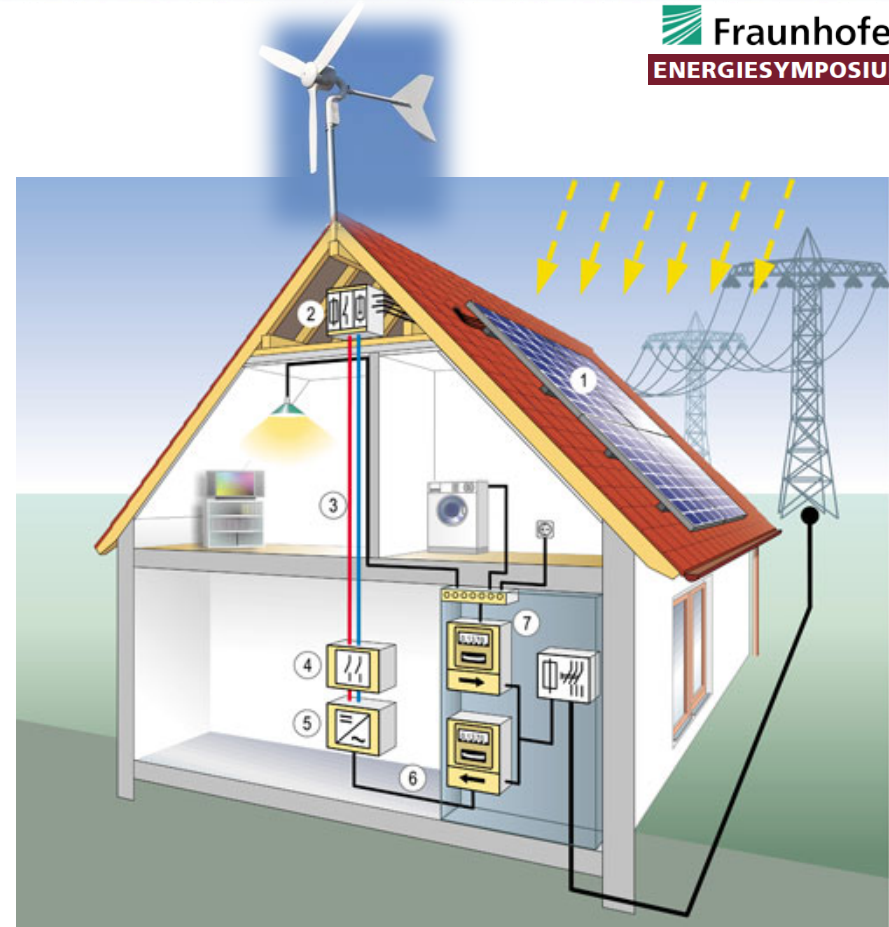






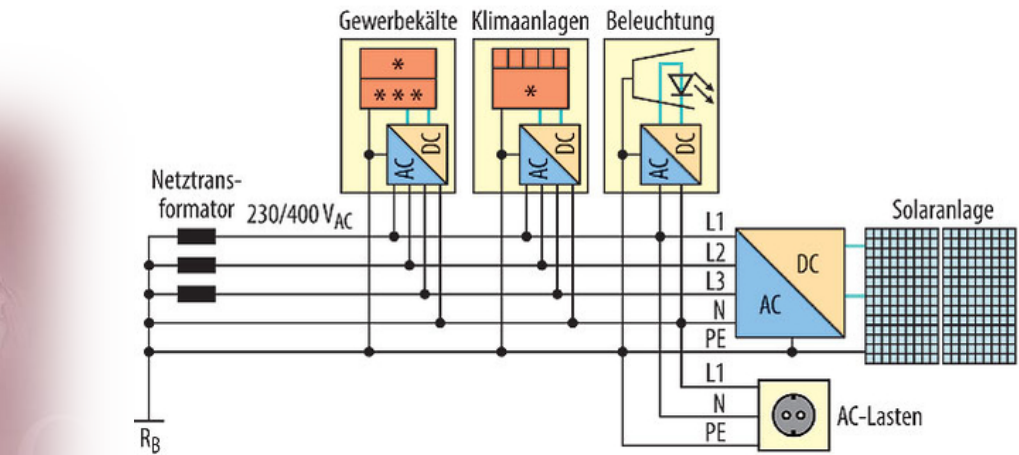
## Inhalt

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

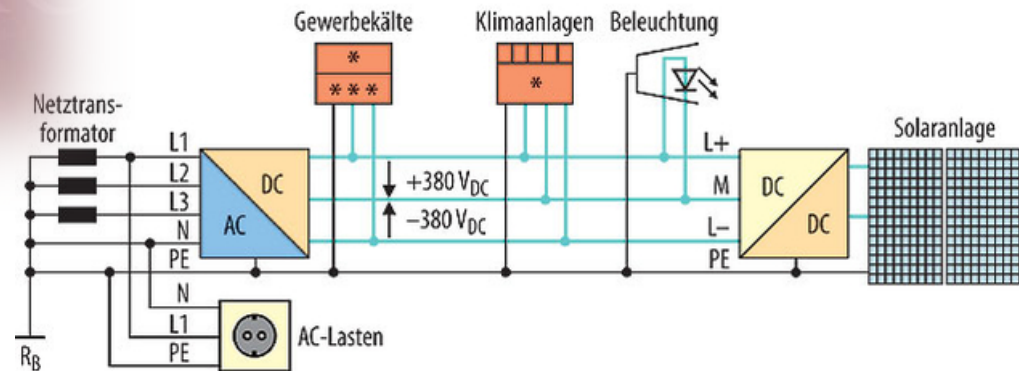


# 1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung Niederspannung 400 bis 800 VDC

Heute AC 230/400V

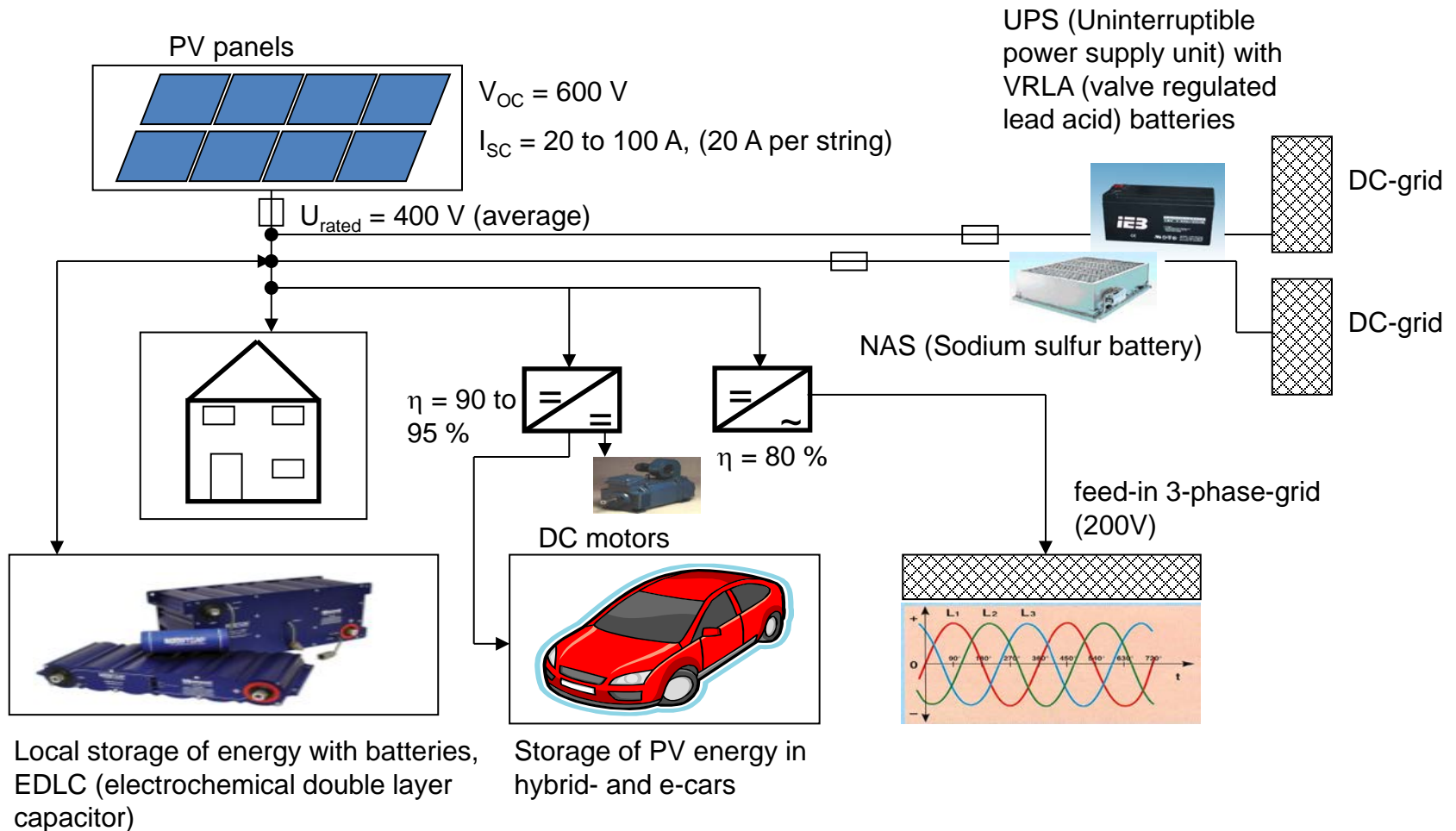


Morgen DC  $\pm 380V$   
(wieder?)



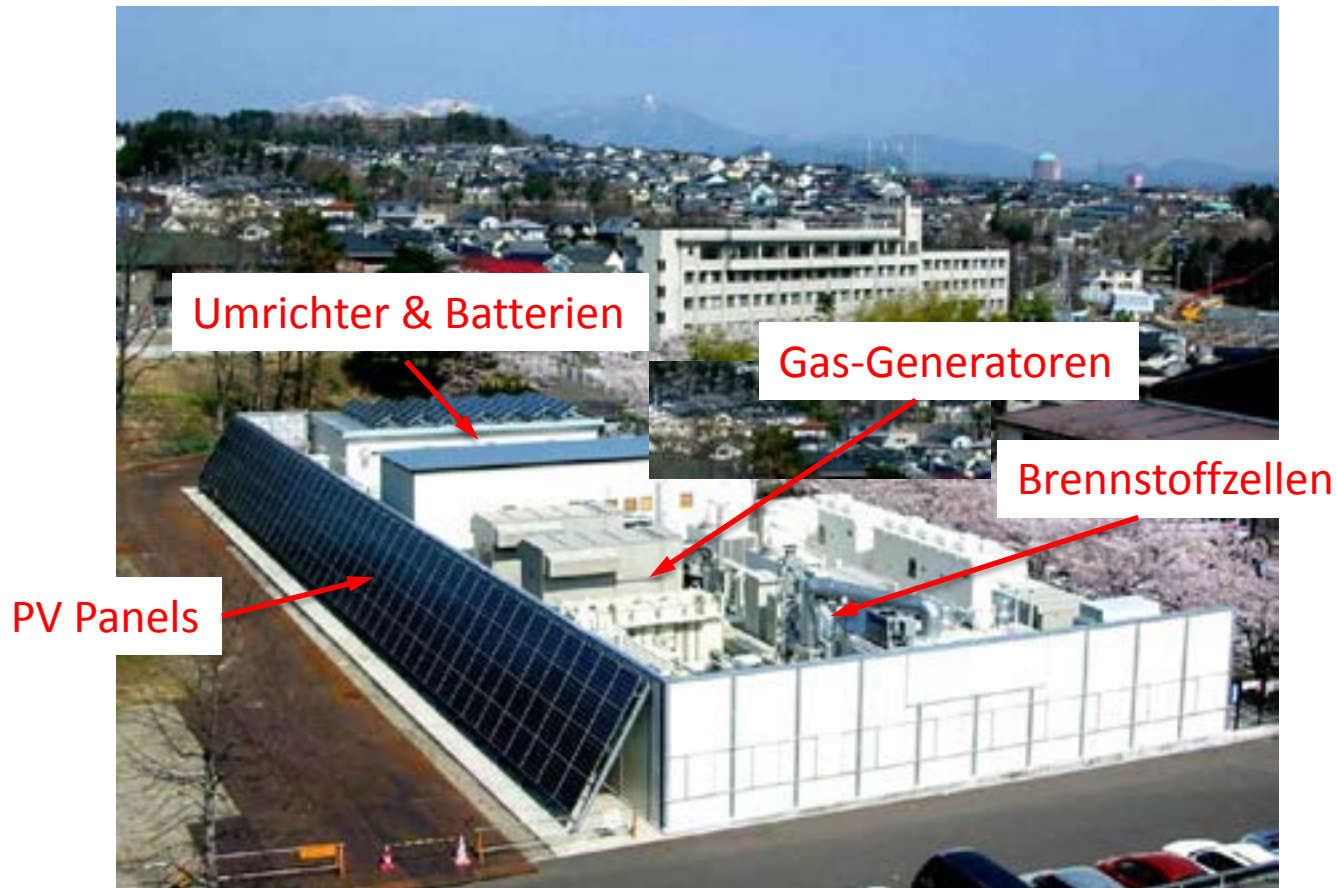
# 1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

## Niederspannung 400 bis 800VDC



# 1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung

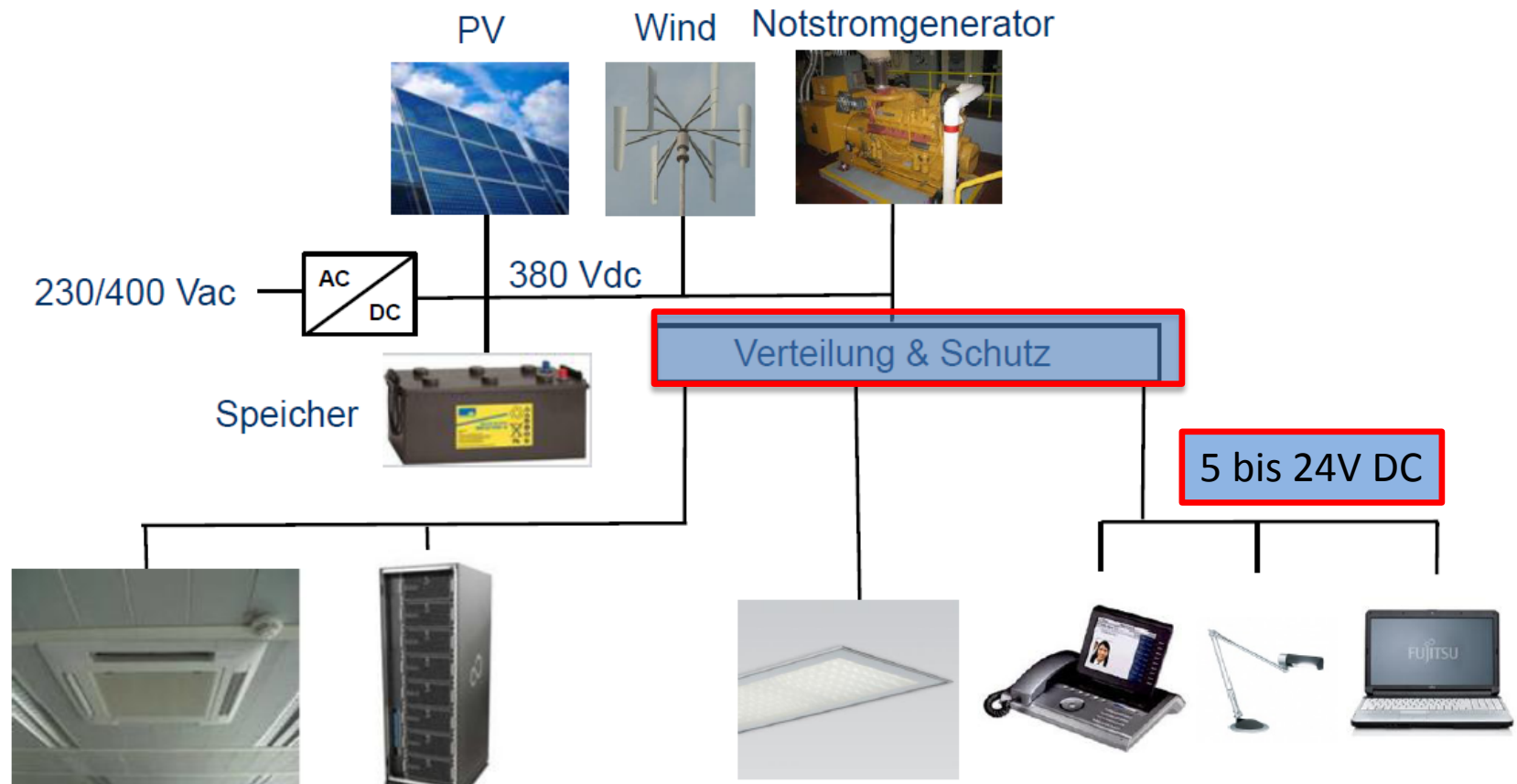
## NEDO Projekt in Sendai, Japan (Microgrids)



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

# 1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung

## Verschiedene Spannungsebenen

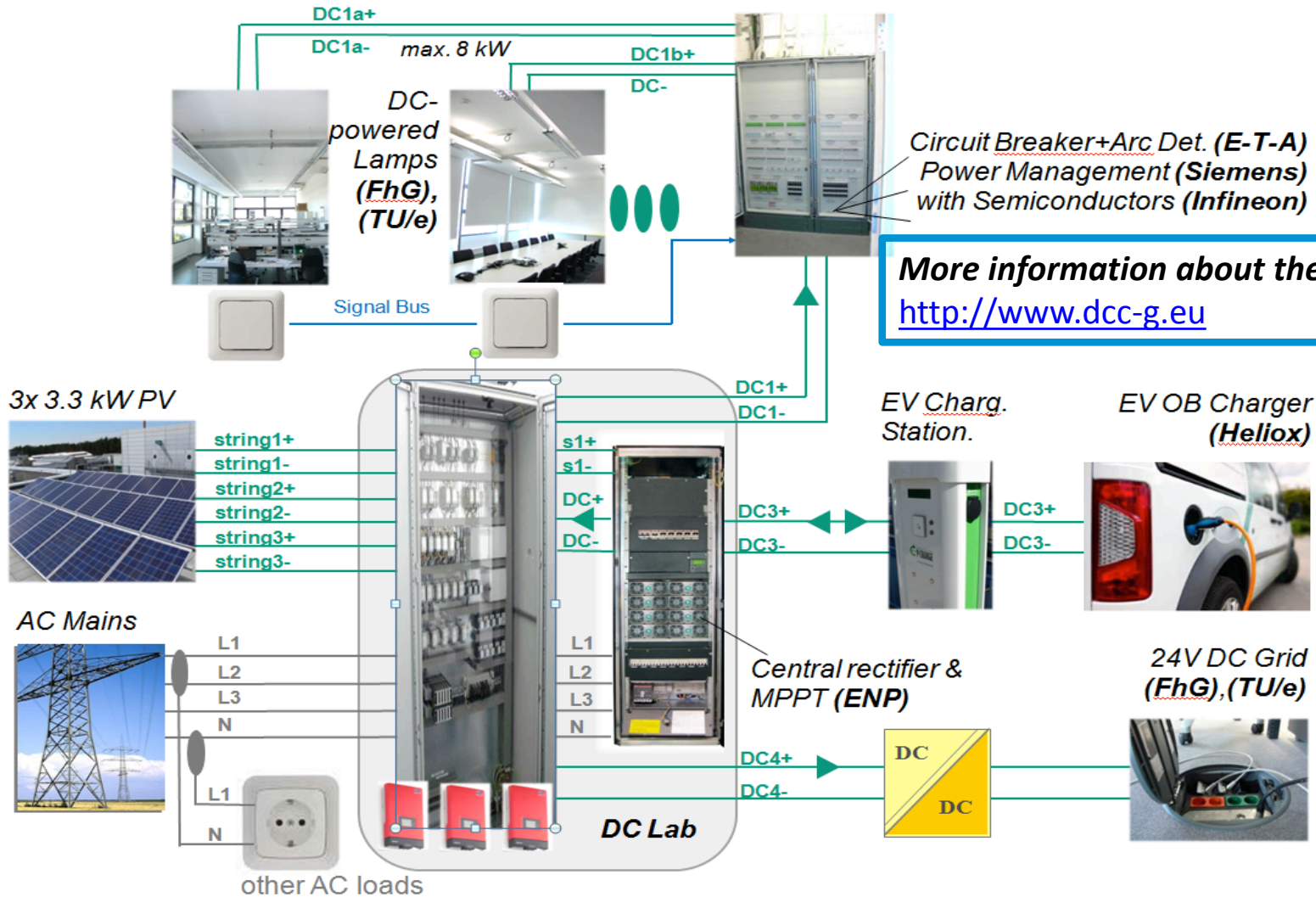


Quelle: Uwe Liess, OSRAM GmbH, ECPE Workshop – Erlangen, 2012



# 1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

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

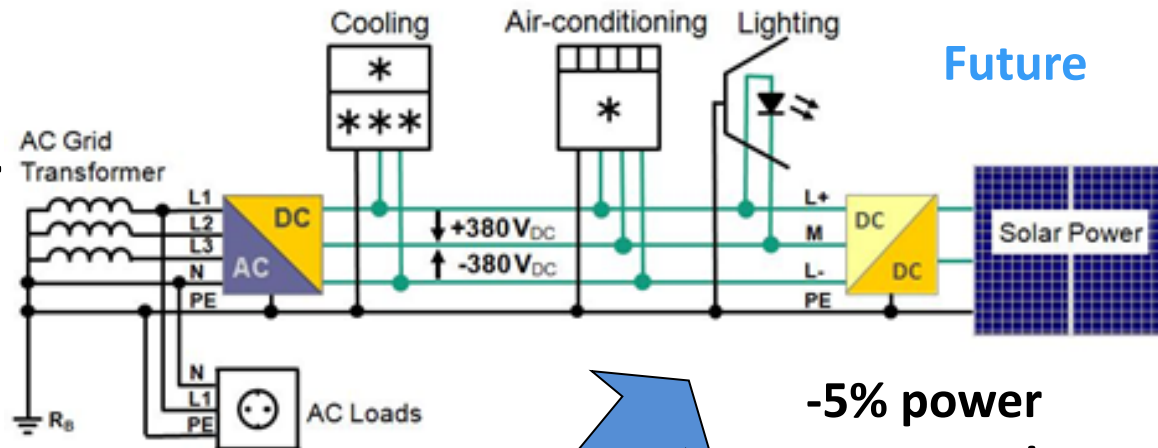


**More information about the project see:**  
<http://www.dcc-g.eu>

# 1. Energieerzeugung und -verteilung mit Gleichspannung

## EU Projekt „DCC+G“, Projektziele

-7% cost for solar electricity

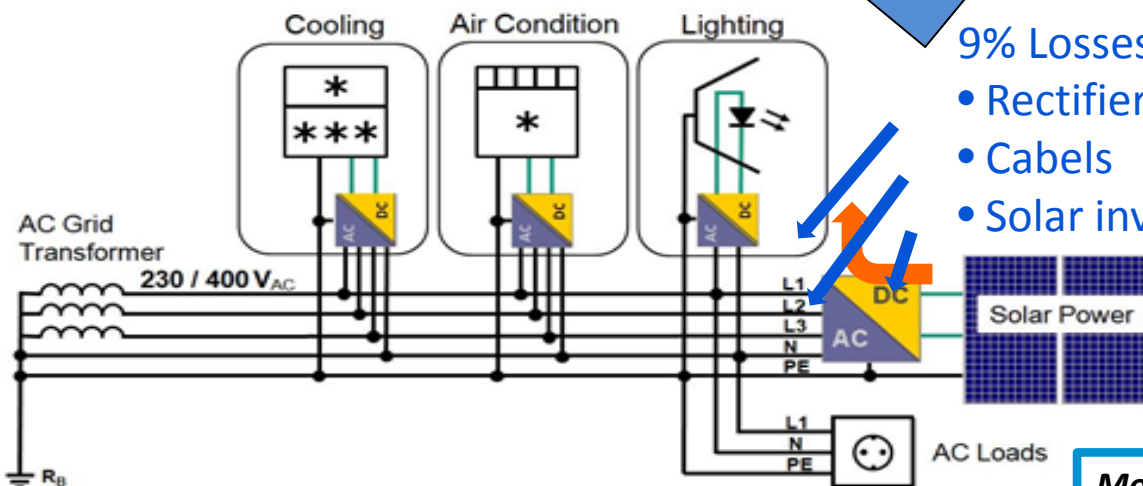


-5% power consumption

9% Losses in

- Rectifier
- Cabels
- Solar inverter

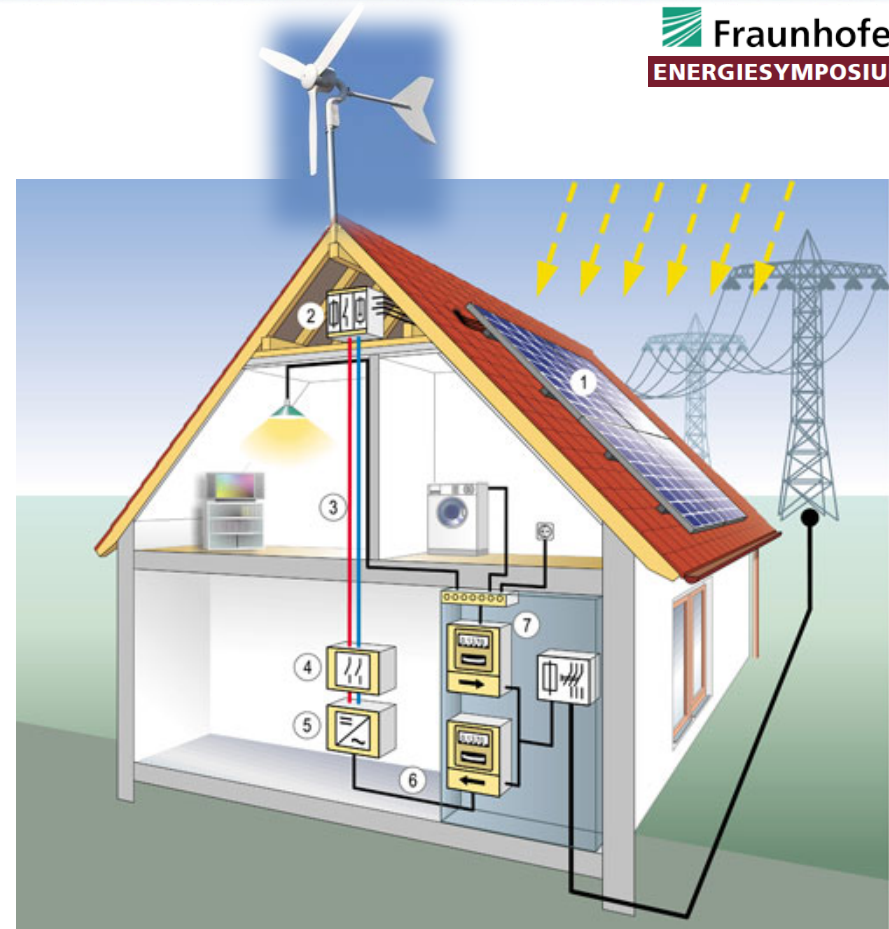
Today



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

## Inhalt

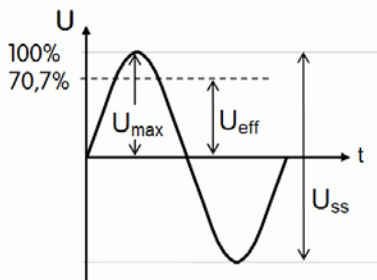
1. Energieerzeugung und –verteilung mit Gleichspannung
- 2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung**
3. Mechanisches Schalten
4. Elektronisches Schalten
5. Hybrides Schalten
6. Quo Vadis Schutztechnik?



## 2. Unterschiede Wechselspannung / Gleichspannung

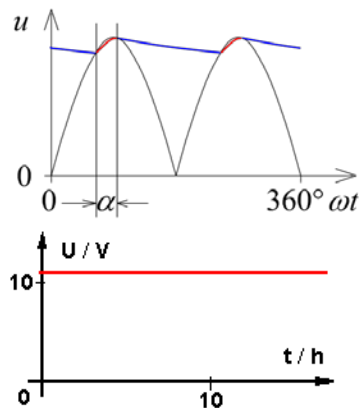
### Physikalische Eigenschaften

### 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

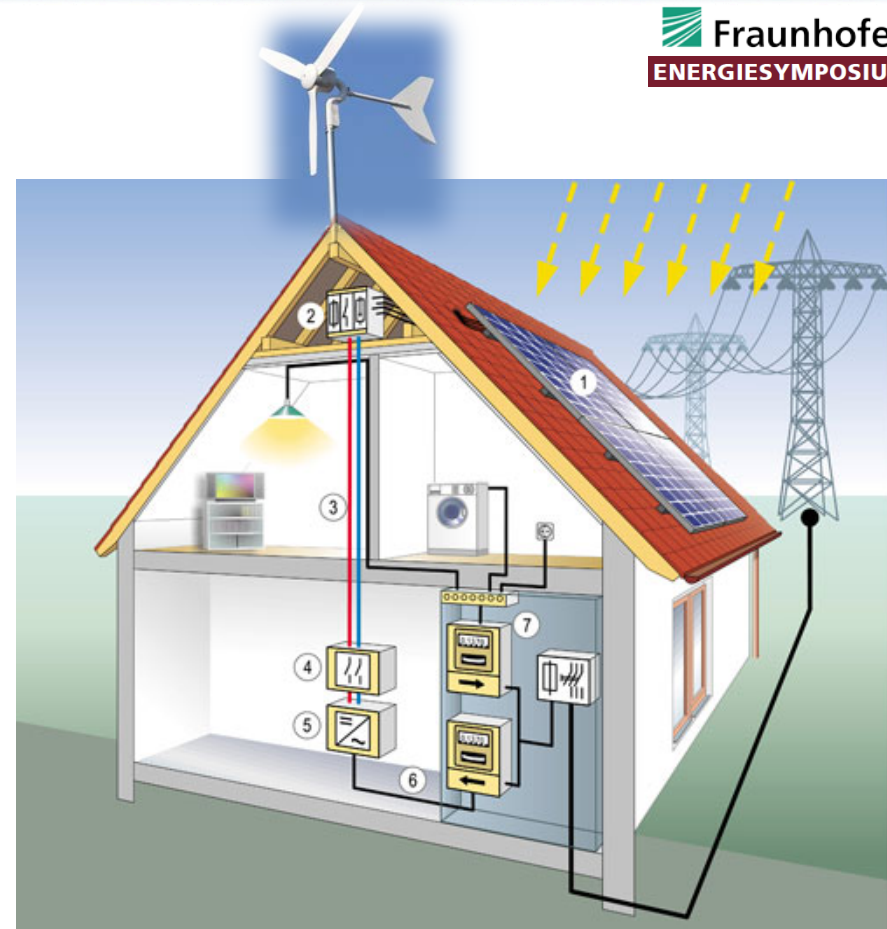


- ⦿ Strom fließt nur in eine Richtung
- ⦿ Strom wird nicht Null und ist daher schwieriger abzuschalten
- ⦿ Spannung kann nur technisch aufwändig auf hohe Werte gewandelt werden
- ⦿ Wandlungsverluste 1...3%
- ⦿ Bei Übertragung entstehen nur ohmsche Verluste
- ⦿ Berührungsspannungsgrenze 120V (in Diskussion)



## 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>

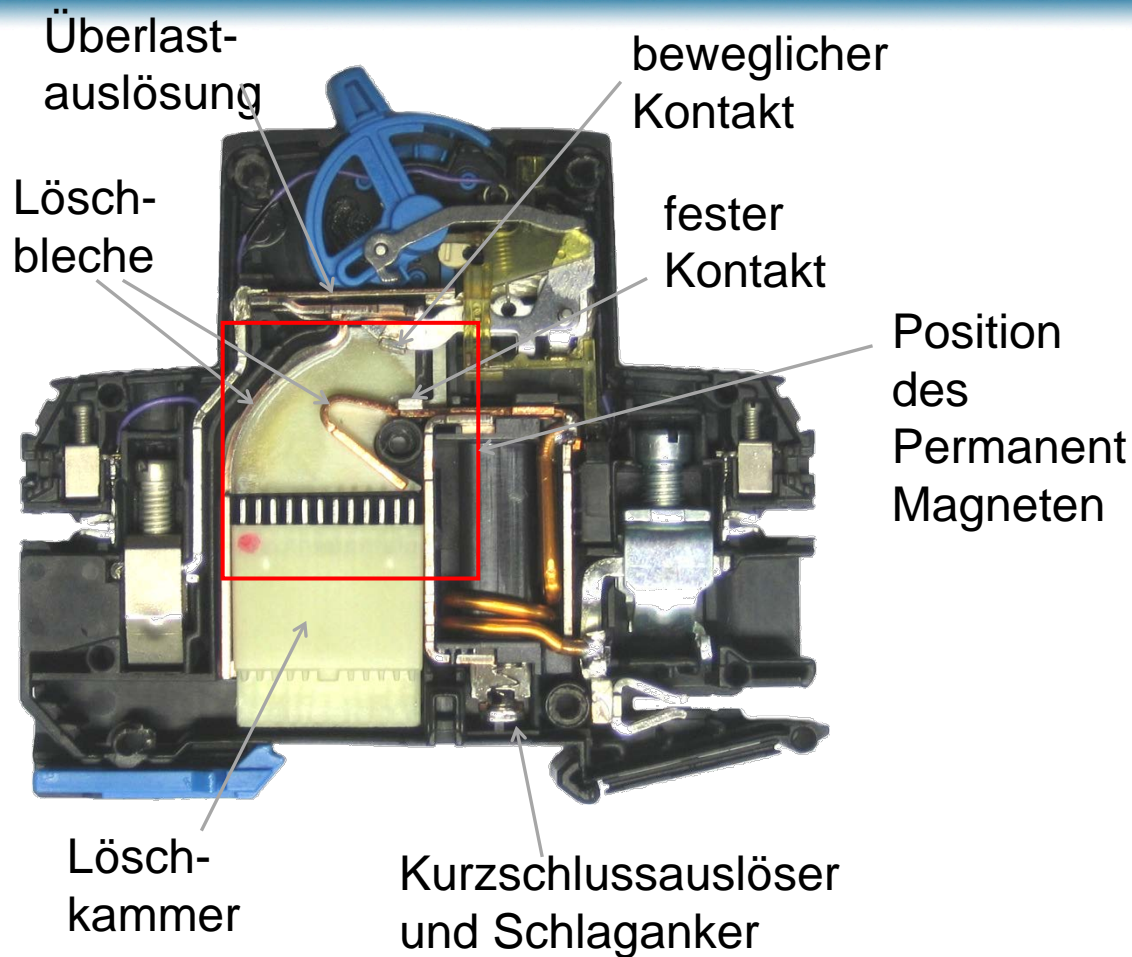
# Hybride Schutzgeräte für Gleichspannungsnetze

## 3. Mechanisches Schalten



### 3. Mechanisches Schalten

## Magnetisches Blasfeld zur schnellen Lichtbogen-Bewegung

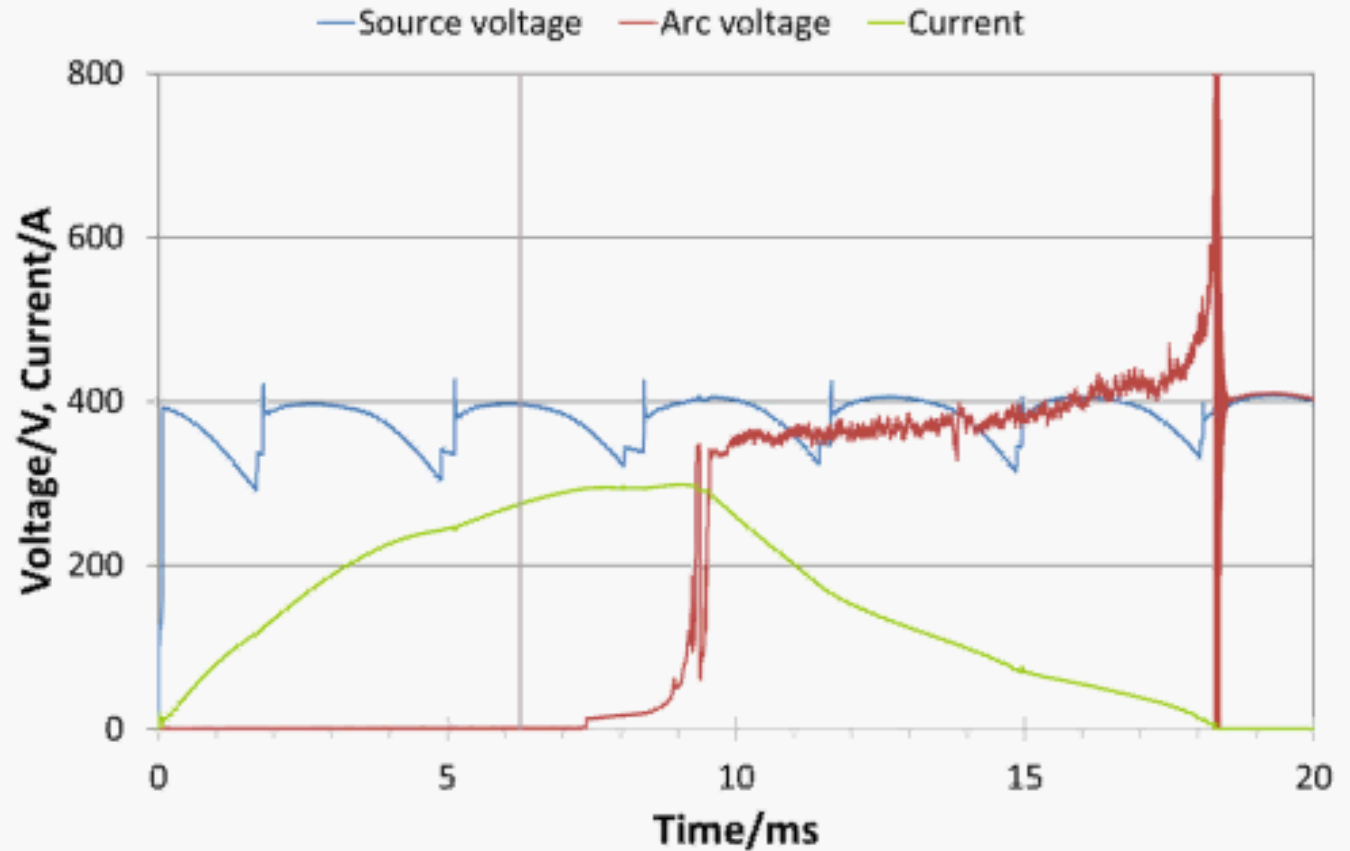
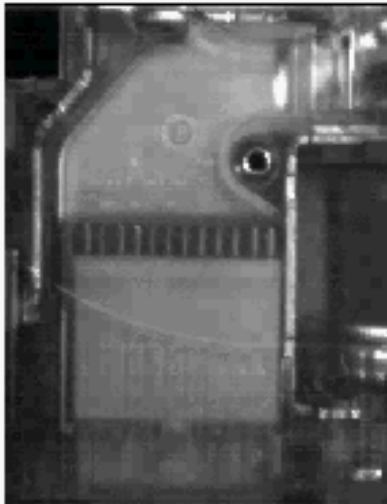


- Permanent Magnet  
NdFeB Typ N52  
Remanenz  $B_R = 1,48 \text{ T}$
- Size  $30 \times 30 \times 5 \text{ mm}^3$



### 3. Mechanisches Schalten Abschaltung eines Gleichstromes

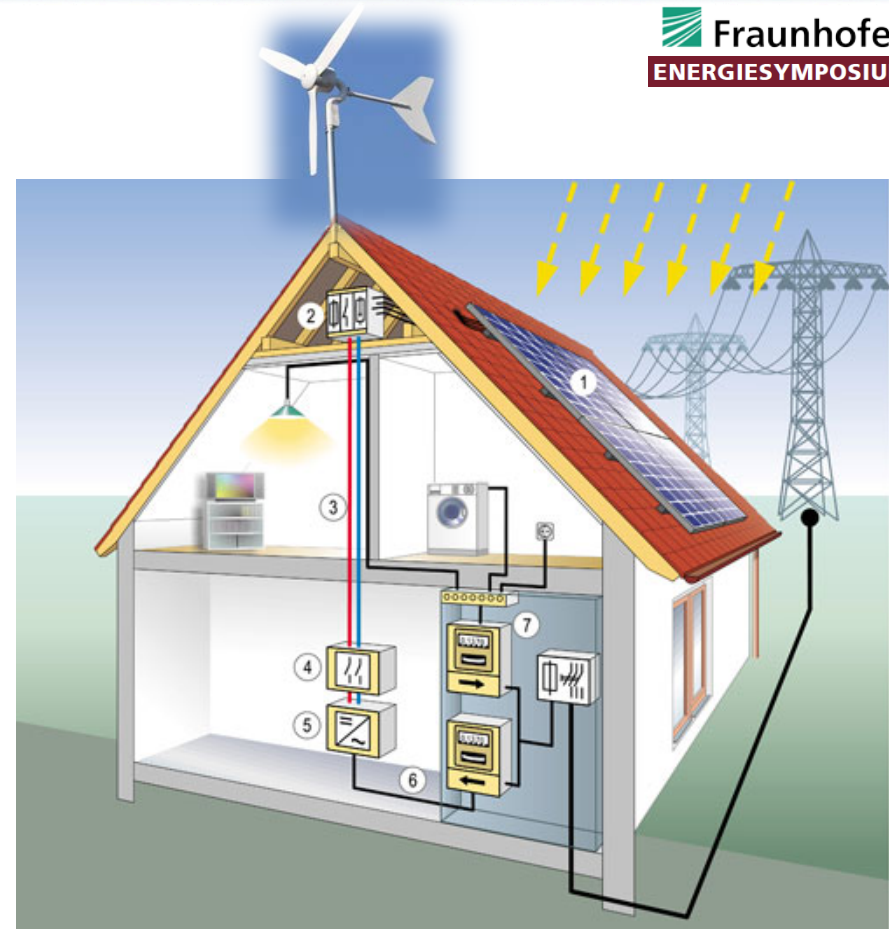
Abschaltung mit  $U = 375 \text{ VDC}$ ,  $I = 320 \text{ A}$ ,  $\tau = 1 \text{ ms}$





## Inhalt

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



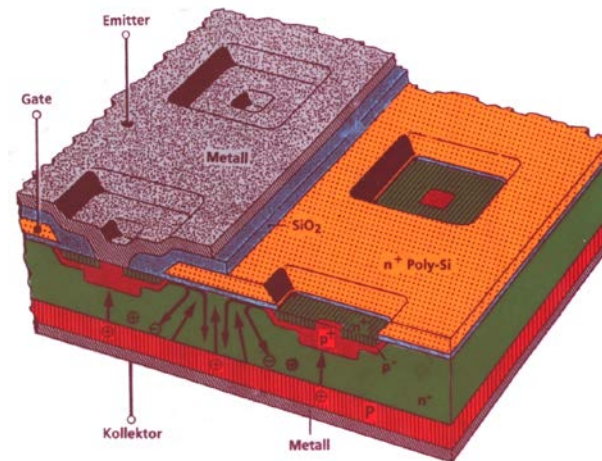
Bildquelle: <http://sunenergy24.eu>

## 4. Elektronisches Schalten

### Lichtbogenfrei, aber ohne galvanische Trennung

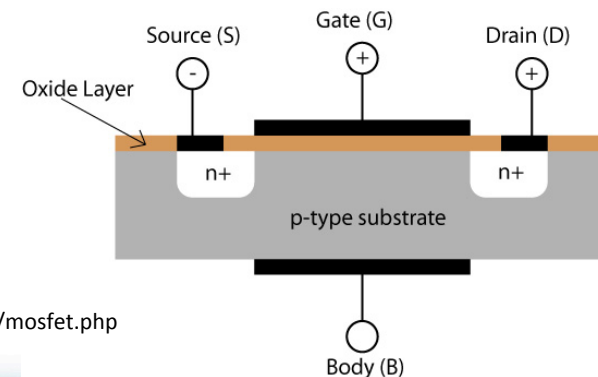
#### Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

- 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)

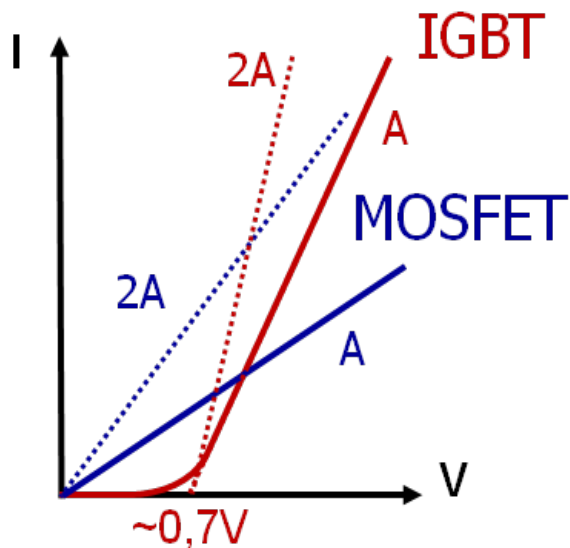


<http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/semiconductors/mosfet.php>

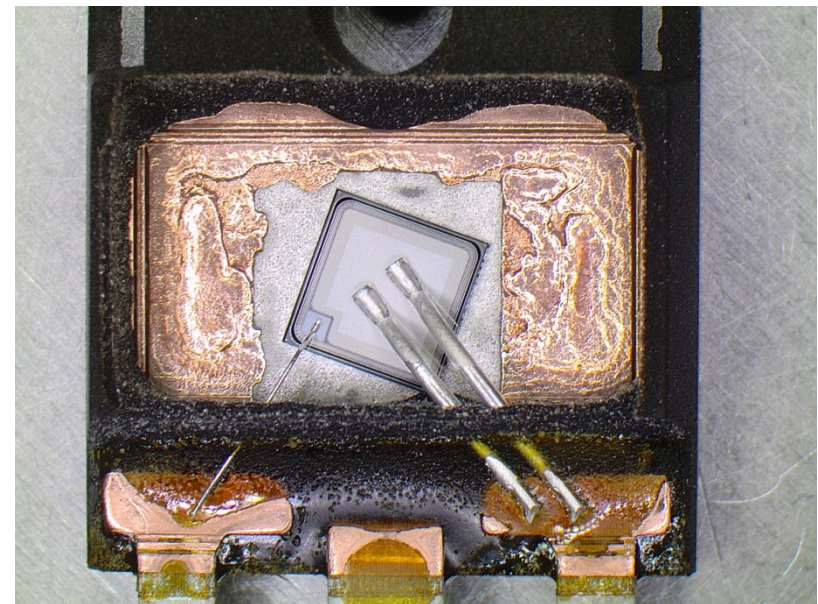
# 4. Elektronisches Schalten

## 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**



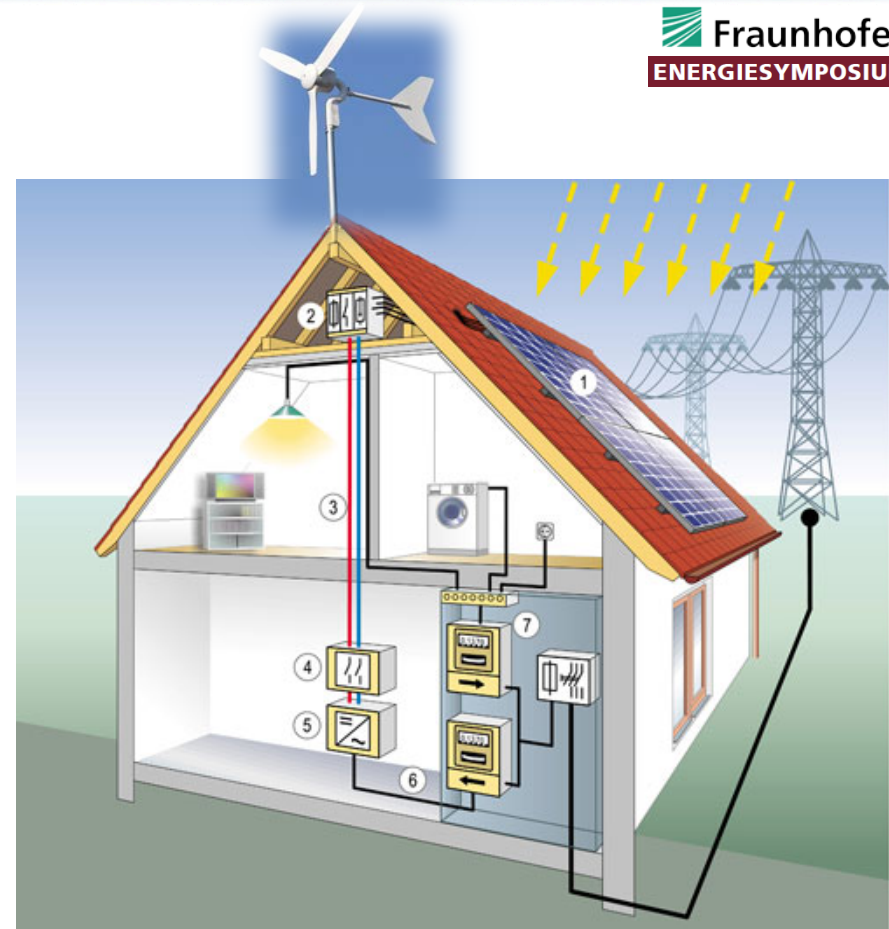
Quelle: infineon, Mauder



**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?



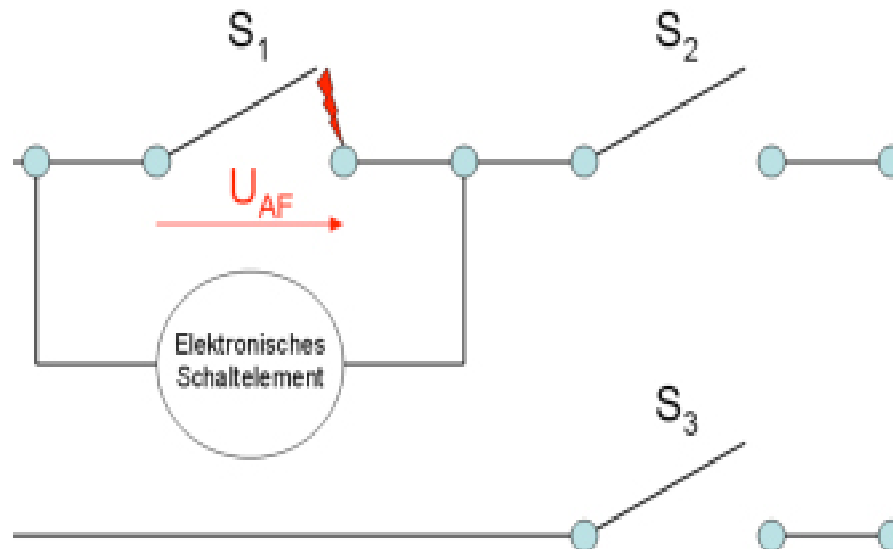
Bildquelle: <http://sunenergy24.eu>

# 5. Hybrides Schalten

## Der „Mischling“

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

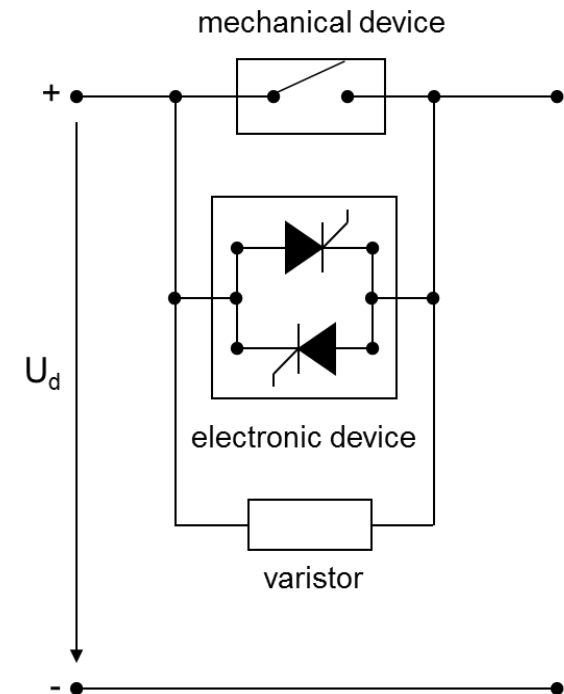
Das Lateinische „*hybridia*“ wurde dann zu „Mischling“, was den „**Hybrid-Schalter**“ als eine *Mischung aus 2 Technologien Halbleiter und mechanischem Schaltkontakt* gut kennzeichnet.



# 5. Hybrides Schalten

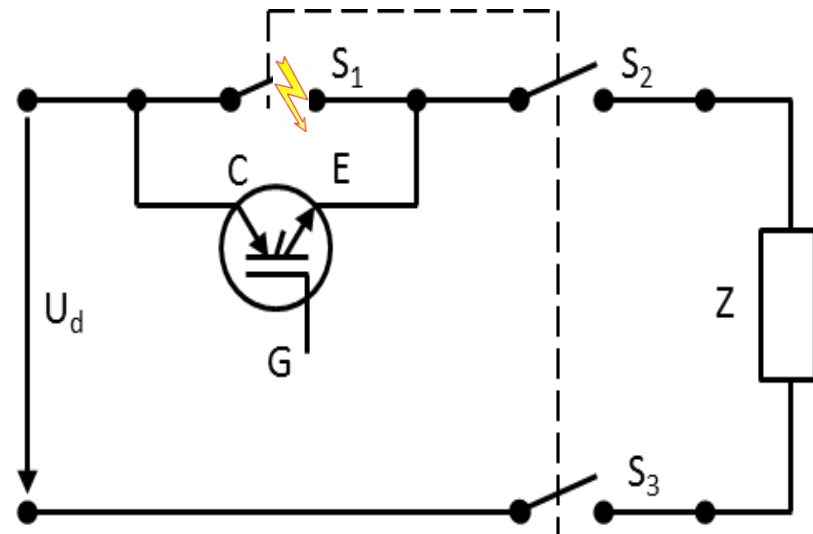
## Klassisches Konzept

- 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**.



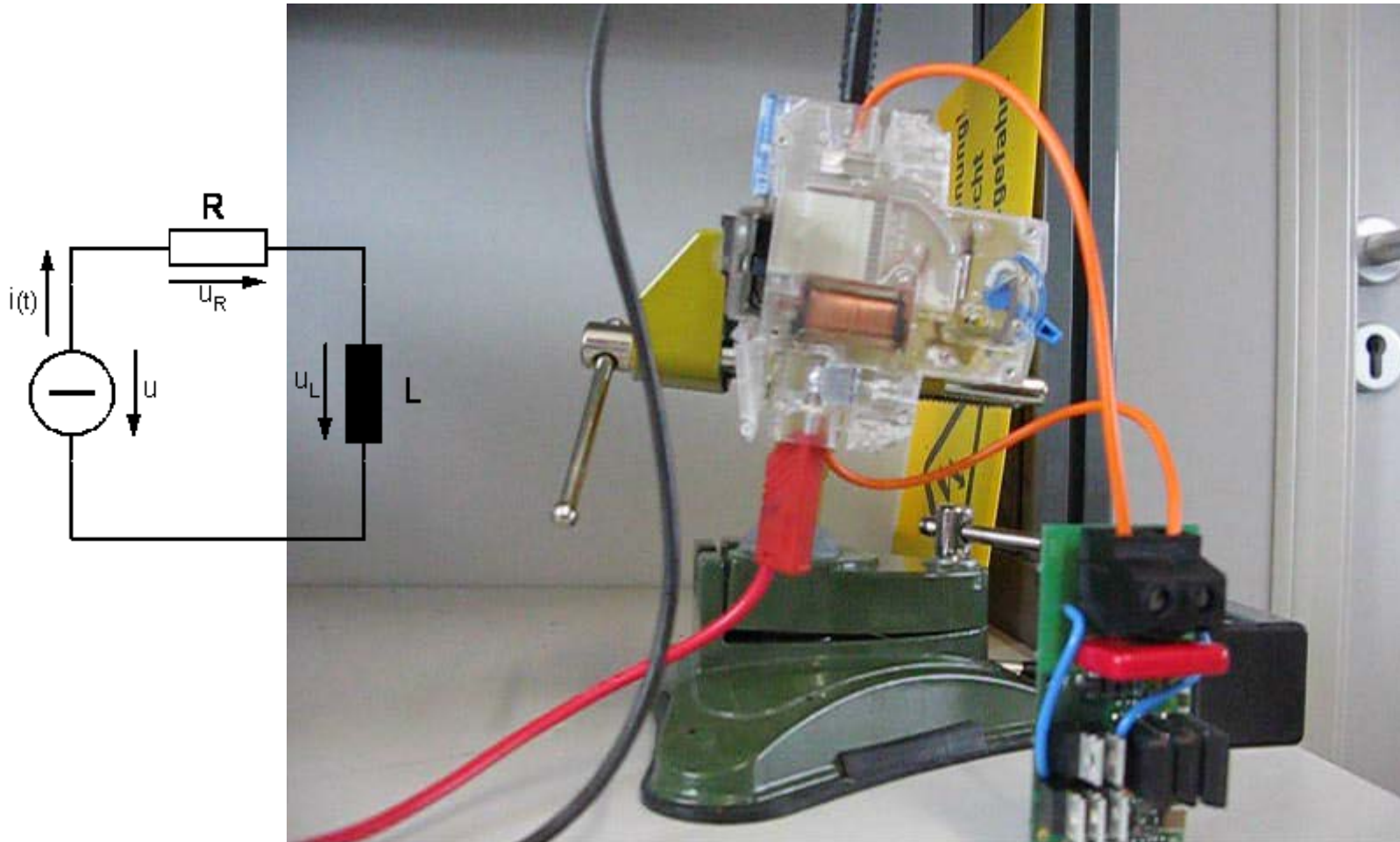
### „Ernten“ der Energie im Lichtbogen

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

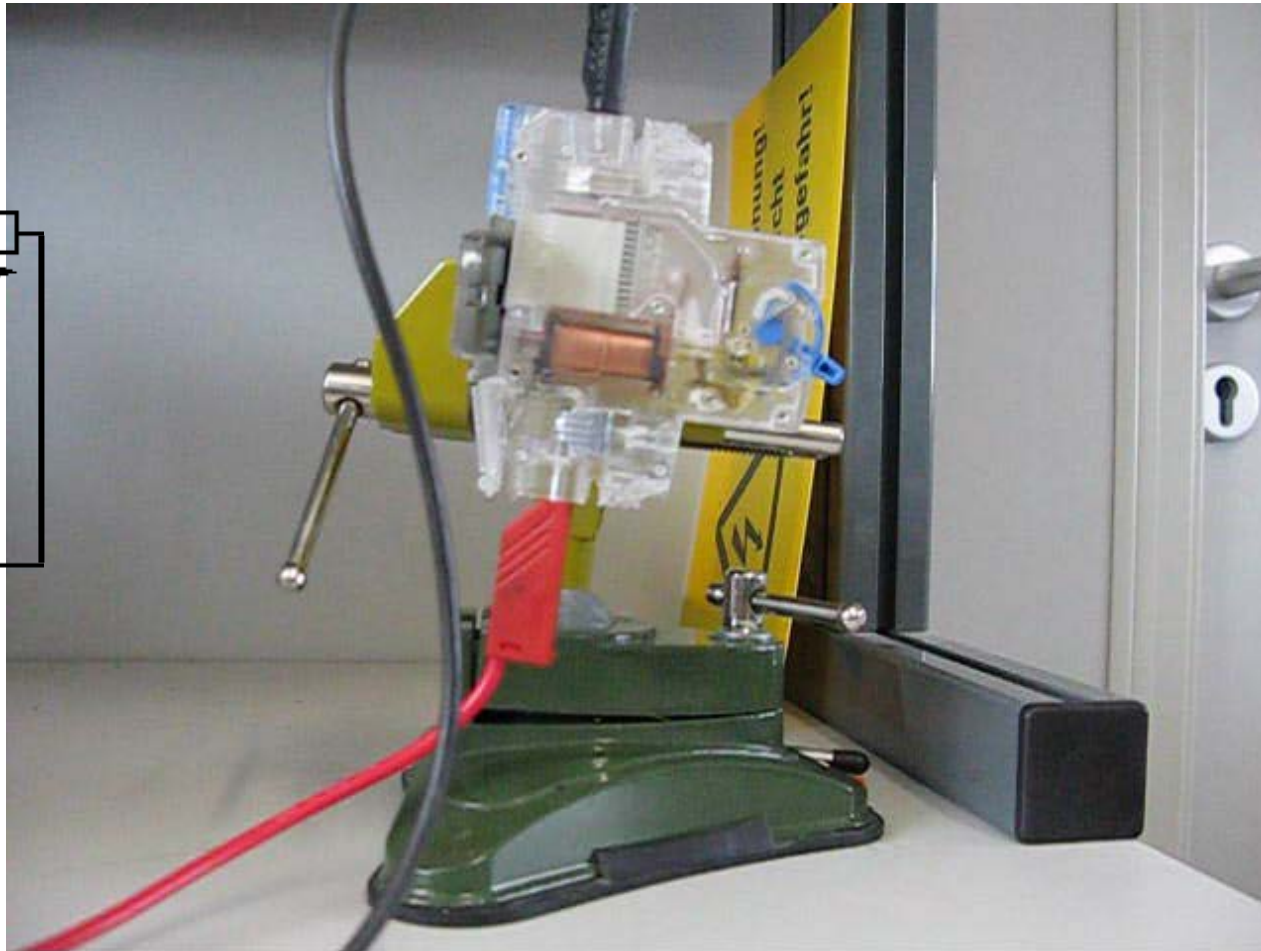
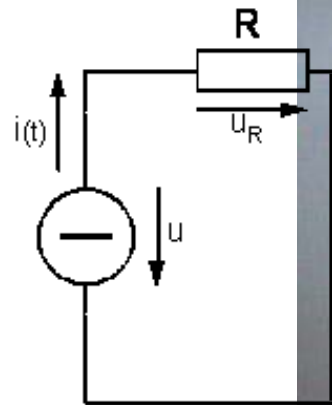
### Hybridschutzschalter: 400V DC, 5A / induktiv





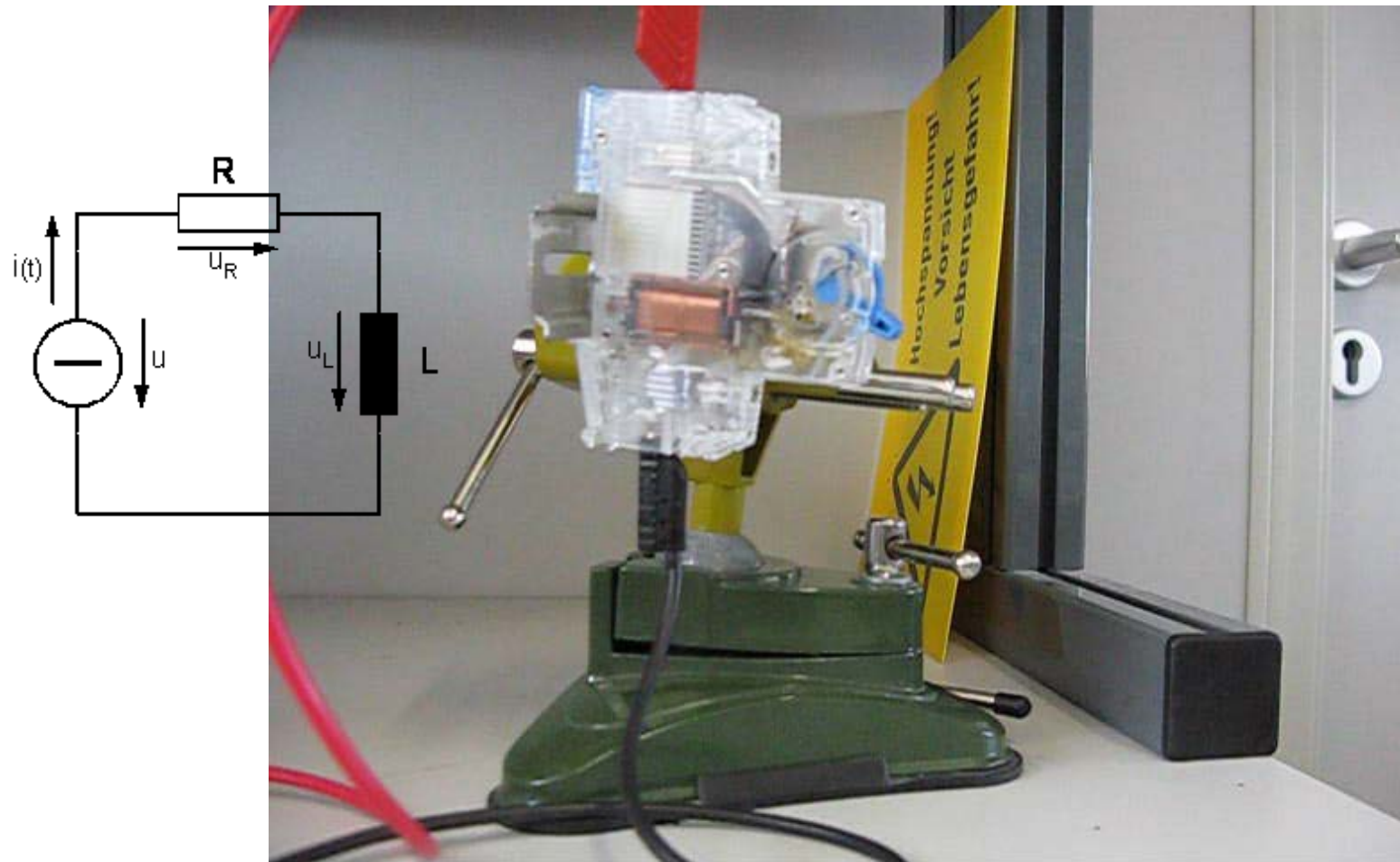
# 5. Hybrides Schalten

## Mechanischer Schutzschalter: 400V DC, 5A / ohmsch



## 5. Hybrides Schalten

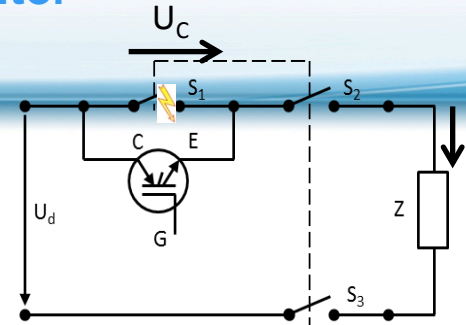
### Mechanischer Schutzschalter: 400V DC, 5A / induktiv



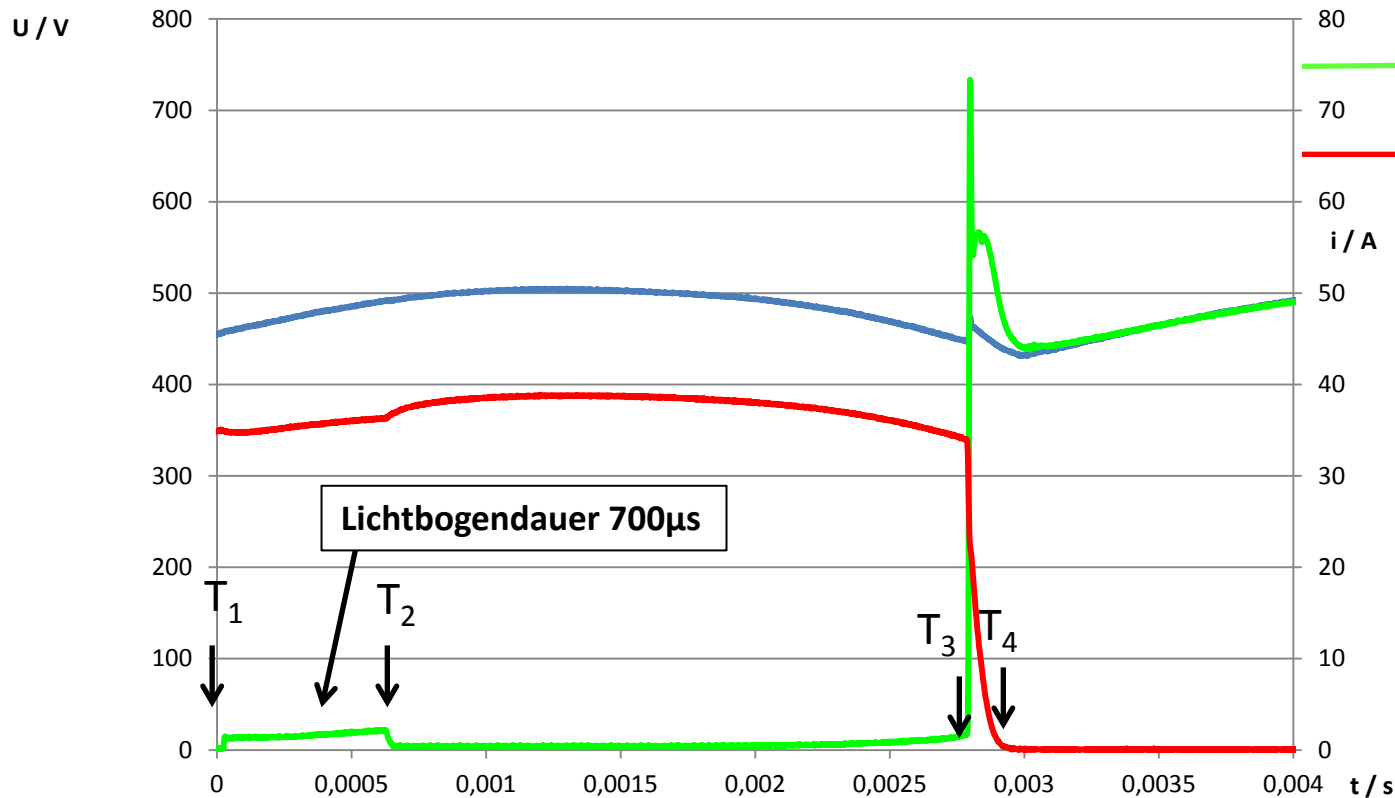
# 5. Hybrides Schalten

## Reales Schaltgerät: Hybrid-Trenn-Schalter

### Abschaltszilogramm



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

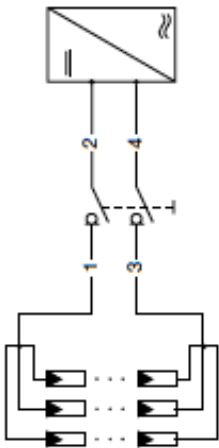


- Quellenspannung  $U_d$
- Spannungsfall  $U_C$  an  $S_1$
- Strom  $i$
- $T_1$  Kontakt  $S_1$  öffnet
- $T_2$  Strom kommutiert auf Halbleiter
- $T_3$  IGBT sperrt
- $T_4$  Strom wird zu Null
- $T_2 - T_1$  Lichtbogendauer **700µs**
- $T_3 - T_2$  Verzögerungszeit **2ms**
- $T_4 - T_3$  Sperrzeit IGBT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

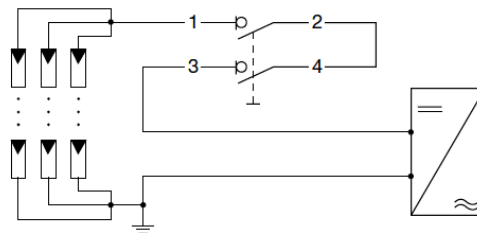
# 5. Hybrides Schalten

## 5.2 Reales Schaltgerät: Hybrid-Trenn-Schalter

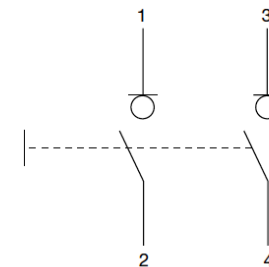
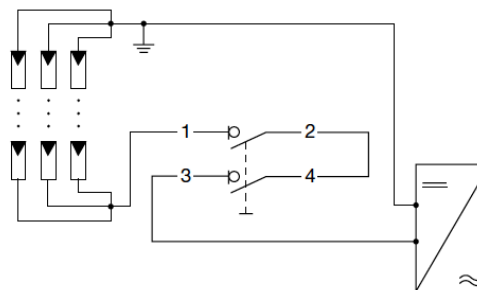
Ungeerdetes Netz



Geerdetes Netz (Minus geerdet)



Geerdetes Netz (Plus geerdet)

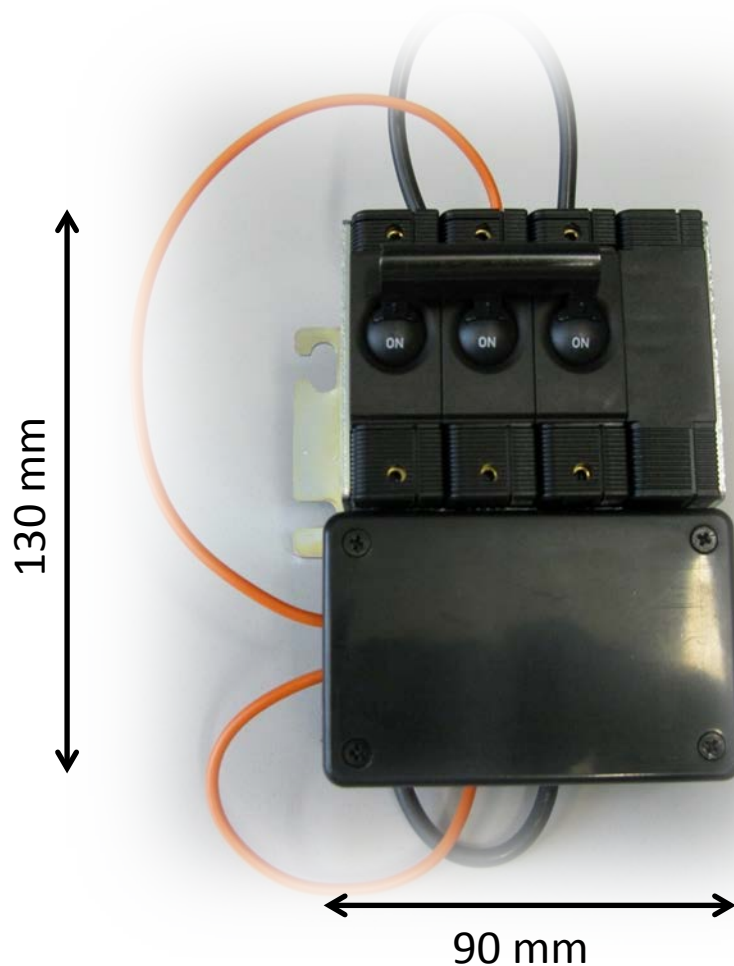


Bemessungsbetriebsspannung DC 1.000V  
Bemessungsisolationsspannung DC 1.500V  
Bemessungsbetriebsstrom  $\leq 30A$   
2-polige Trennung, integriertes Fail-Safe-Element



# 5. Hybrides Schalten

## Prototyp eine hybriden Schutzschalters



### HCB<sup>1)</sup> Demonstrator (erster Prototyp)

Nennspannung 400VDC

Nennstrom 160A

← **Hydraulisch-Magnetischer  
Schutzschalter**

schnelle Fernauslösung  
Remote ON / OFF

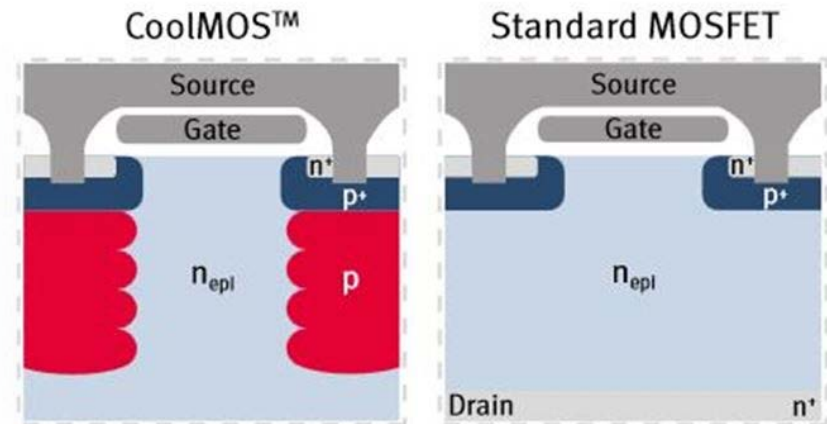
← **IGBT**

plus Steuer-Elektronik

1) Hybrid Circuit Breaker

### Hybrid-Schutzschalter Prototyp

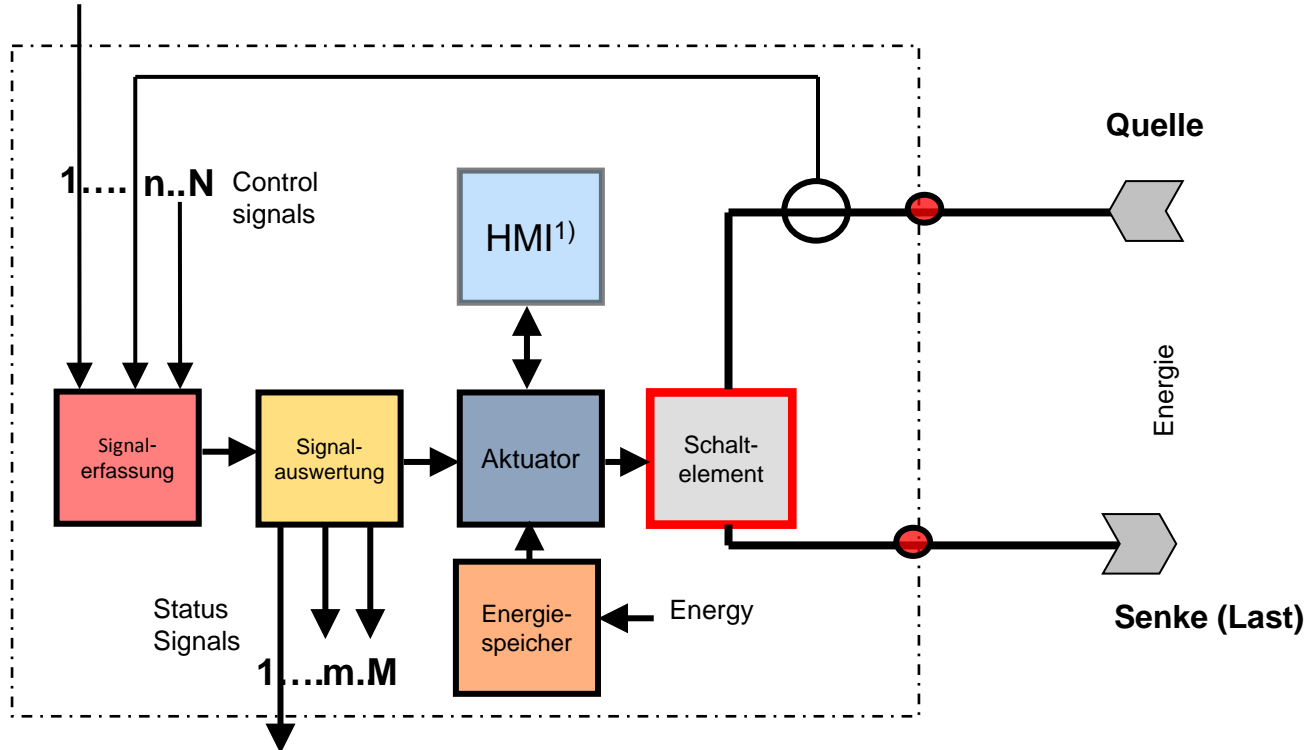
- Weiterentwicklung des IGBT-basierten Musters
- Tests mit CoolMOS™ Bauteilen
- Reduzierung der Komplexität der Steuerelektronik
- Reduzierung der Gesamtausschaltzeit



## 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”).

