

# Energiesysteme

6. Semester – Dr. A Fuchs, Dr. T Demiray

Autoren: Luca Loop

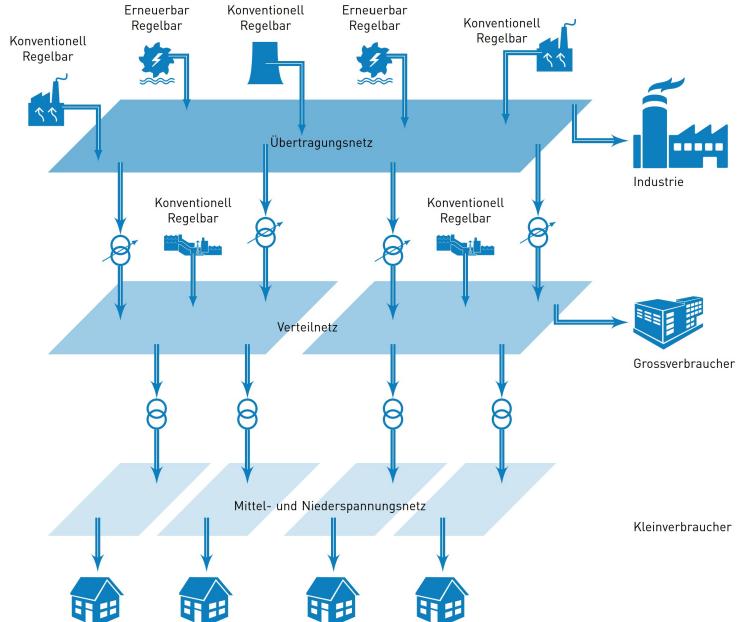
<https://github.com/Luca-ET/EnSys.git>

## Inhaltsverzeichnis

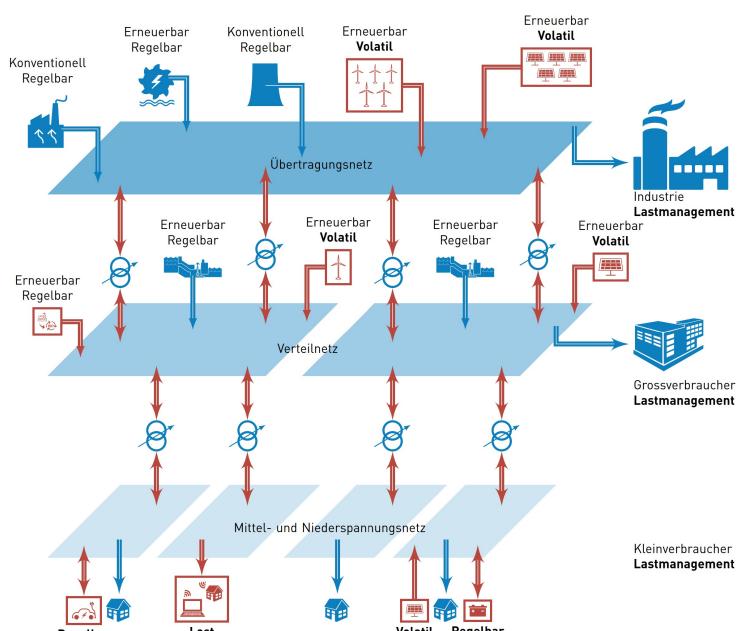
<b>1 Netze Allgemein</b>	<b>2</b>	
1.1 Interessen der Erzeuger . . . . .	2	
1.2 Anforderungen an das Stromnetz . . . . .	2	
<b>2 Netzebenen</b>	<b>2</b>	
2.1 NE1: Übertragungsnetz . . . . .	2	
2.2 NE3: Überregionales Verteilnetz . . . . .	3	
2.3 NE5: Verteilnetz . . . . .	3	
2.4 NE7: Verteilnetz . . . . .	3	
<b>3 Netztopologien</b>	<b>3</b>	
3.1 Strahlnetz . . . . .	3	
3.2 Ringnetz . . . . .	3	
3.3 Maschennetz . . . . .	3	
<b>4 Leitungen</b>	<b>3</b>	
4.1 Freileitungen . . . . .	4	
4.2 Masten . . . . .	4	
4.3 Unterscheidungsmerkmale Freileitungen . . . . .	4	
<b>4.4 Mastenformen . . . . .</b>	<b>4</b>	
4.5 Freileitungen: Vor- und Nachteile . . . . .	4	
<b>5 Kabelleitungen</b>	<b>4</b>	
5.1 Aufbau Allgemein . . . . .	4	
5.2 Aufbau . . . . .	4	
5.3 Erdverkabelung in der Schweiz . . . . .	4	
<b>6 Schaltanlagen / Umspannwerke</b>	<b>5</b>	
6.1 Aufgabe . . . . .	5	
6.2 Aufbau . . . . .	5	
6.3 Transformator . . . . .	5	
6.4 Leistungsschalter . . . . .	5	
6.5 Lastschalter . . . . .	5	
6.6 Trennschalter . . . . .	5	
6.7 Sonstiges . . . . .	5	
6.8 Schaltfelder Aufbau . . . . .	5	
6.9 Regeln beim Schalten (Reihenfolge) . . . . .	5	

# 1 Netze Allgemein

## 1.0.1 Stromnetz früher



## 1.0.2 Stromnetz heute



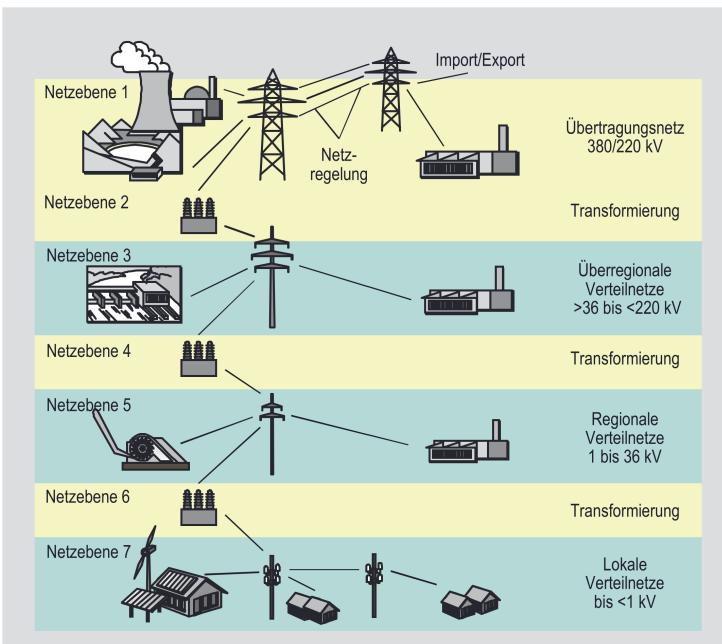
## 1.1 Interessen der Erzeuger

- Erzeuger**
  - Freier Netzzugang
  - Hohe Verfügbarkeit: produzierte Leistung kann jederzeit abgeführt werden
  - Geringe Kosten
- Verbraucher**
  - Netzanschluss
  - Hohe Versorgungssicherheit und -qualität
  - Geringe Kosten

## 1.2 Anforderungen an das Stromnetz

- Hohe Verfügbarkeit
- Hohe Versorgungsqualität
- Sicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- Diskriminierungsfreiheit
- Transparenz

# 2 Netzebenen

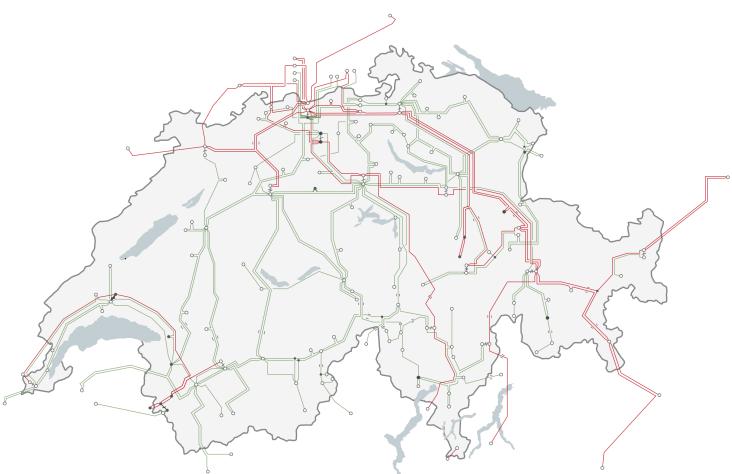


Spannungsebene	Spannungsbereich	Leistung
<b>Höchstspannung</b>	380 kV, 220 kV	> 300 MVA
<b>Hochspannung</b>	150 kV bis 50 kV	< 100 MVA
<b>Mittelspannung</b>	36 kV bis 6 kV	< 30 MVA
<b>Niederspannung</b>	0,4 kV	< 1 MVA

## 2.1 NE1: Übertragungsnetz

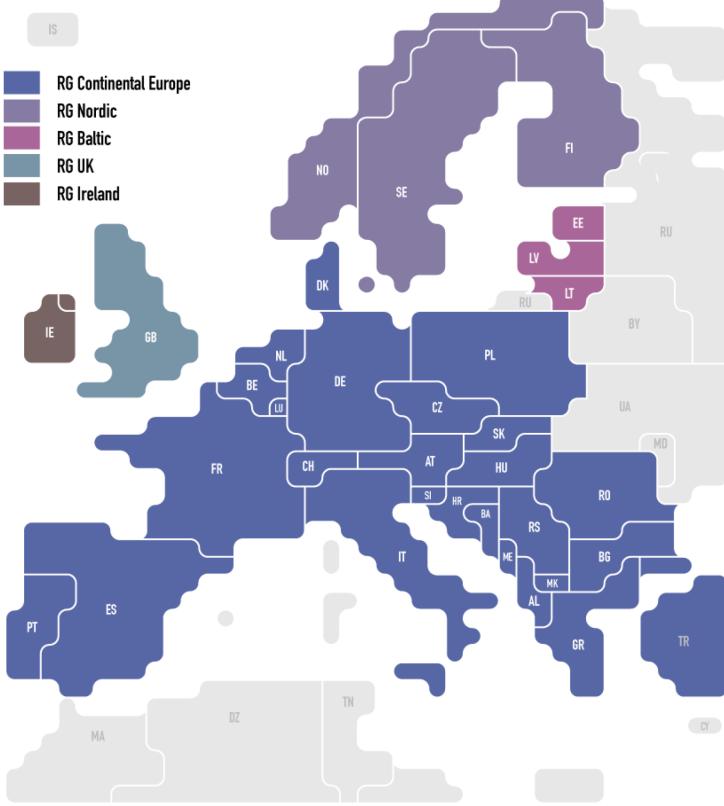
- 380 kV und 220 kV
- Zweck
  - Abtransport der großen Kraftwerksleistungen (typ. > 300 MVA)
  - Versorgung der Verteilnetze
  - Weiträumiger Energietransport
  - Internationaler Verbundbetrieb, Energieaustausch
- **Ausdehnung:** national, international
- **Topologie:** (stark) vermaschtes Netz
- **Technologie:** fast ausschließlich Freileitungen

## 2.1.1 Schweizer Stromübertragungsnetz (Daten 2014)



- Gesamtlänge Übertragungsnetz Inland: 6700 km
  - Länge 380 kV: 1780 km
  - Länge 220 kV: 4920 km
- Gesamtzahl Leitungen im Übertragungsnetz: 246
  - Leitungen 380 kV: 48
  - Leitungen 220 kV: 198
- Anzahl Netzübergänge in das Ausland: 41

## 2.1.2 Entso-E



- koordinierter Systembetrieb
- koordinierte Marktlösungen
- koordinierte Systementwicklung

## 2.2 NE3: Überregionales Verteilnetz

- 150 kV, 132 kV, 60 kV
- Zweck
  - Abtransport mittlerer Kraftwerksleistungen (typ. 100 MVA)
  - Anschluss großer Industriekunden
  - Überregionale Verteilung
- Ausdehnung: mehrere Kantone
- Topologie: (leicht) vermaschtes Netz oder Ringnetz
- Technologie: vorwiegend Freileitungen

## 2.3 NE5: Verteilnetz

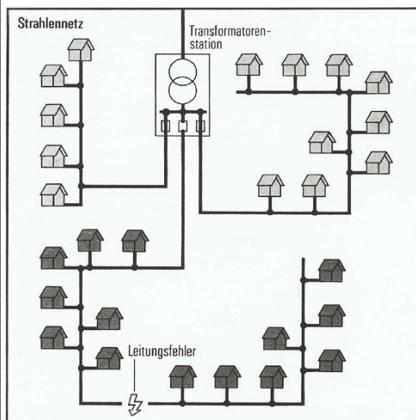
- 20 kV, 10 kV
- Zweck
  - Abtransport kleiner Kraftwerksleistungen (< 30 MVA)
  - Anschluss von Industrie- und Gewerbe Kunden
  - Regionale Verteilung
- Ausdehnung: Kanton, Tal
- Topologie: Ringnetz, Strahlennetz
- Technologie: Freileitungen und Kabel

## 2.4 NE7: Verteilnetz

- 400 V
- Zweck
  - Abtransport kleinsten Einspeisungen (kVA)
  - Feinverteilung zum Endverbraucher
  - Anschluss von Haushaltskunden
- Ausdehnung: typ. Gemeinde
- Topologie: offener Ring, Strahlennetz
- Technologie: Freileitungen und Kabel

## 3 Netztopologien

### 3.1 Strahlennetz



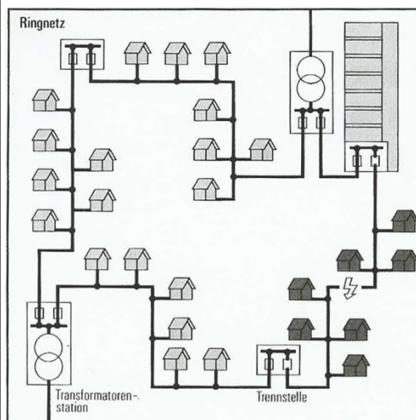
#### Pro:

- geringer Planungsaufwand
- große Übersichtlichkeit bei der Fehlersuche
- geringe Anforderungen an den Netzschatz

#### Contra:

- größer werdende Spannungsabfälle mit zunehmendem Abstand von der Einspeisung
- höhere Leistungsverluste mit zunehmendem Abstand von der Einspeisung

### 3.2 Ringnetz



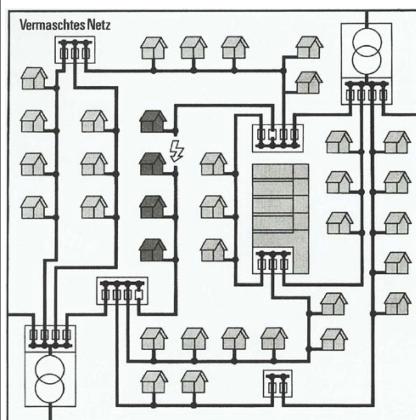
#### Pro:

- höhere Versorgungssicherheit
- geringere Verluste
- verbesserte Spannungshaltung

#### Contra:

- höhere Anspruch an die Qualifikation des Wartungspersonals

### 3.3 Maschennetz



#### Pro:

- eine optimale Versorgungszuverlässigkeit
- optimale Spannungshaltung
- minimale Leistungsverluste

#### Contra:

- hohe Investitionskosten
- hohe Projektions- und Wartungsaufwand
- höhere Kurzschlussströme

## 4 Leitungen

### Aufgabe:

- Energieübertragung und -verteilung

## Wichtigsten Leitungsarten:

- Freileitung
- Kabelleitung
- **Freileitungen** in praktisch allen Spannungsebenen von der Niederspannung bis zur Höchstspannung.
- **Kabelleitungen** mehr in den unteren Spannungsebenen.

## 4.1 Freileitungen

### • Material:

- Al-Seile (99,5% Al), Aldrey-Seile (> 98,5% Al, Mg, Si, Fe) und Al-Stahl-Seile (Verhältnis Alu:Stahl typ. 6:1, z. B. 240/40 mm<sup>2</sup>), Kupfer ist bei neuen Leitungen immer seltener
- Aluminium-Drähten ⇒ eine gute elektrische Leitfähigkeit
- Stahlkern ⇒ mechanische Festigkeit
- Aluminium hat gegenüber Kupfer einen deutlichen Preisvorteil
- Ab 220 kV ⇒ Bündelleiter ⇒ Sie führen also zur **Verminderung des Wellenwiderstandes** und damit zur **Erhöhung der übertragbaren Leistung**.
- **Hochtemperaturleiter:**
  - normale Leiterseile  $T_{max} = 80^{\circ}\text{C}$
  - Hochtemperaturseile  $T_{max} = 210^{\circ}\text{C}$
  - Steigerung der Übertragungskapazität um bis zu 50 Prozent

## 4.2 Masten

### Funktionen:

- **Tragmast:** Tragwerke für die Aufhängung der Leiter einer Freileitung
- **Abspannmasten:** An Winkelpunkten nehmen sie die Zugkräfte der Leiterseile auf.
- **Verdrillmast:** alle Außenleiter eines Stromkreises auf dem Mast tauschen ihre Plätze (verbessertes Übertragungsverhalten).

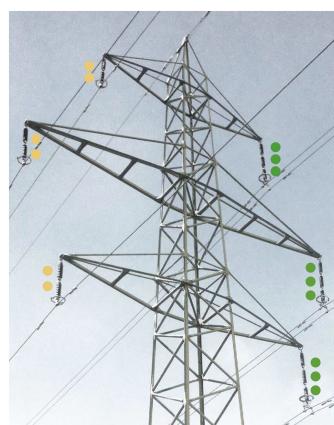
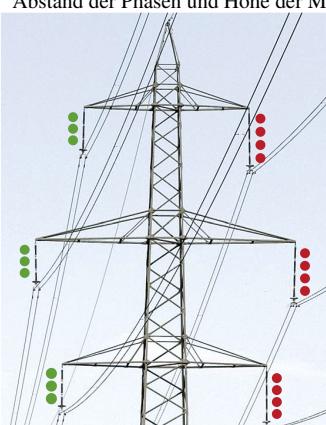
### Materialien:

- Stahl-Gittermast
- Betonmast
- Stahlrohrmast
- Holzmast

## 4.3 Unterscheidungsmerkmale Freileitungen

### Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale:

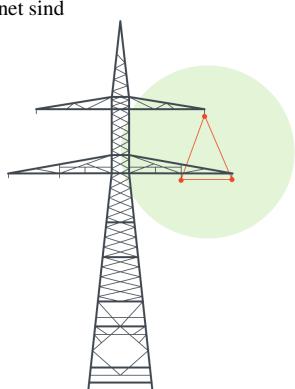
- Anzahl Phasen
- Länge der Isolatorenketten (Je höher die Spannung, umso länger sind die Isolatorenketten)
- Abstand der Phasen und Höhe der Masten



## 4.4 Mastenformen

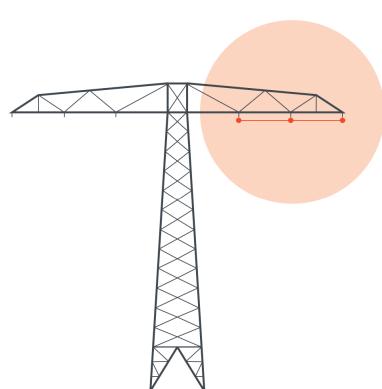
### 4.4.1 Donaumast

Zwei Drehstromkreise bei denen die Leiter jeweils im Dreieck angeordnet sind



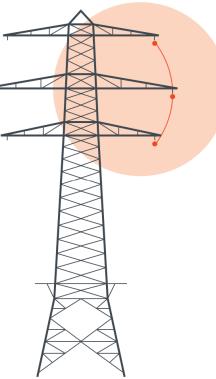
### 4.4.2 Einebenenmast

Niedrige Bauhöhe und eine größere Trassenbreite



## 4.4.3 Tonnenmast

Eine geringe Trassenbreite, sind aber höher als vergleichbare Donau-masten



## 4.5 Freileitungen: Vor- und Nachteile

### Pro:

- günstige Investitionskosten
- bessere Zugänglichkeit bei Reparaturen ⇒ kürzere Wiederinbetriebnahmezeiten

### Contra:

- atmosphärischen Einwirkungen ausgesetzt
- Akzeptanzprobleme

## 5 Kabelleitungen

### 5.0.1 Material

- |                      |   |
|----------------------|---|
| <b>Leiter:</b>       | Kupfer oder Aluminium   |
| <b>Isolierung:</b>   | öl-imprägnierte Papier oder Kunststoffe wie Polyäthylen (PE), vernetztes Polyäthylen (VPE) sowie Polyvinylchlorid (PVC) |
| <b>Schutzmantel:</b> | Metall  |

## 5.1 Aufbau Allgemein

## 5.2 Aufbau

### Gürtelkabel:

Nichtradiales elektrisches Feld, Verwendung im Nieder- und Mittelspannungsbereich

### Dreimantel-Kabel:

Radiales elektrisches Feld, Verwendung im Nieder- und Mittelspannungsbereich

### Einleiterkabel:

Radiales elektrisches Feld, Verwendung im oberen Mittelspannungs- und im Hochspannungsbereich

### 5.2.1 Kabel: Vor- und Nachteile

### Pro:

- geschützt vor atmosphärischen Einwirkungen ⇒ kleinere Ausfallsrate
- bessere Akzeptanz

### Contra:

- schwierigere Zugänglichkeit bei Reparaturen ⇒ längere Wiederinbetriebnahmezeiten
- im Hochspannungsbereich teurer (wirtschaftlich nur für kurze Strecken)

## 5.3 Erdverkabelung in der Schweiz

### Erdverkabelung pro Netzebene in der Schweiz

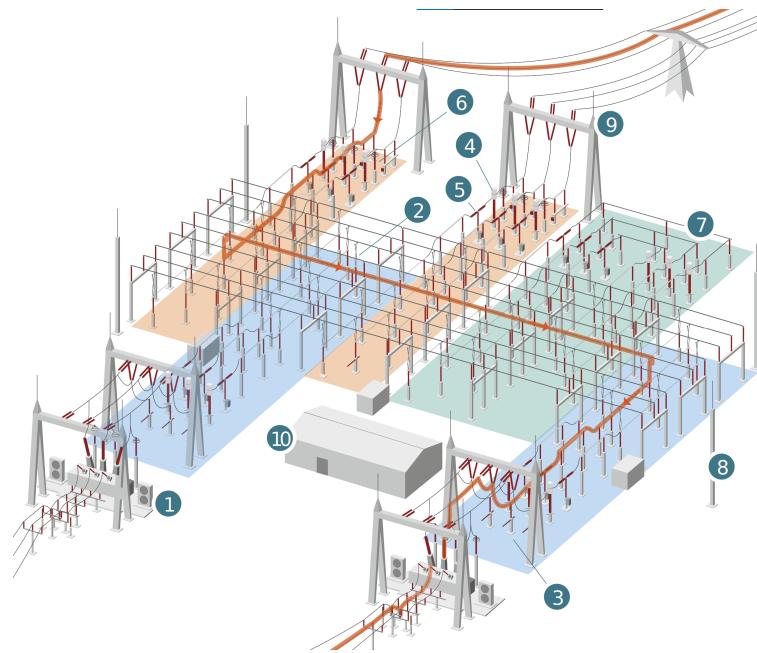
Netzebene 1	8 km
Netzebene 3	1'893 km
Netzebene 5	30'607 km
Netzebene 7	72'852 km

## 6 Schaltanlagen / Umspannwerke

### 6.1 Aufgabe

- Stromfluss herstellen oder unterbrechen
- Betriebsmittel unter Spannung setzen oder spannungslos schalten
- Topologie ändern
- Strom- und Spannungsmessung

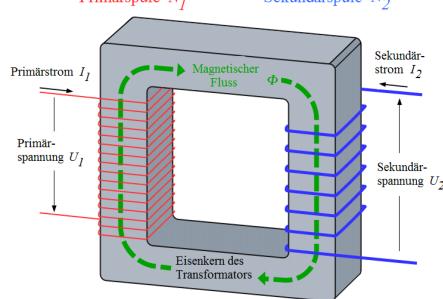
### 6.2 Aufbau



1. Transformatoren
2. Trennschalter
3. Erdungsschalter
4. Strom- und Spannungswandler
5. Leistungsschalter
6. Überspannungsableiter
7. Sammelschiene
8. Blitzschutzmast
9. Portal
10. Relais- und Betriebsgebäude

### 6.3 Transformator

- Veränderung der Spannung
  - Öl zur Isolation und zum Wärmeabtransport
- Primärspule  $N_1$       Sekundärspule  $N_2$



### 6.4 Leistungsschalter



- Schaltet Strom
- Ein- und Ausschalten von Leitungen und Anlagenteile
- Schaltet im Normalbetrieb und im Fehlerfall (Kurzschlussstromunterbrechung)

### 6.5 Lastschalter

- Schaltet Strom
- Kann bis zu ca. 2-fachem Laststrom unterbrechen

## 6.6 Trennschalter



- Leitungs- oder Sammelschienentrennschalter
- öffnen eines Stromkreises (Trennung einer Anlage von den restlichen Anlagen)
- Die Trennschalter schalten **keinen Strom**.

### 6.7 Sonstiges

#### 6.7.1 Messwandler

Messung der Spannung und Strom für Erkennung des Betriebszustandes



#### 6.7.2 Überspannungsableiter

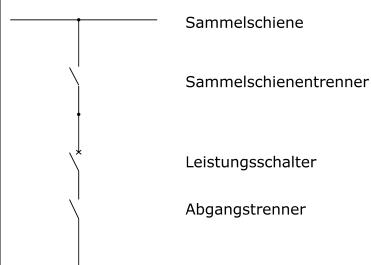
Spannungsabhängiger Widerstand. Bei hoher Spannung verringert sich Widerstand schlagartig



### 6.8 Schalfelder Aufbau

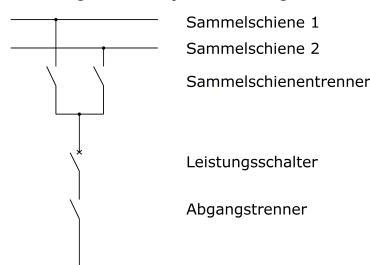
#### 6.8.1 Einfachsammelschiene

- übersichtliche und billige Lösung



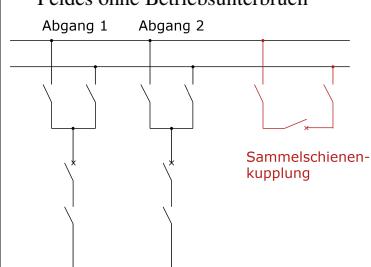
#### 6.8.2 Doppelsammelschiene

- ein Sammelschienenwechsel eines beliebigen Feldes jederzeit möglich



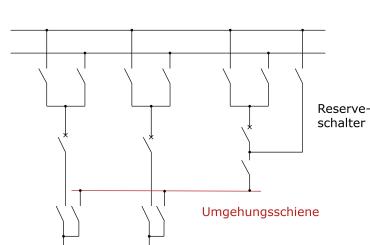
#### 6.8.3 Sammelschienenkupplung

- Ermöglicht die Parallelschaltung der beiden Sammelschienensysteme und damit den Sammelschienenwechsel des Feldes ohne Betriebsunterbruch



#### 6.8.4 Umgehungsschiene

- Bei dieser Schaltung ersetzt Reserveschalter den Kuppelschalter beim Sammelschienenwechsel



### 6.9 Regeln beim Schalten (Reihenfolge)

#### 6.9.1 Ausschalten

Beim Ausschalten werden Leistungsschalter zuerst geöffnet, dann Last- und Trennschalter

#### 6.9.2 Einschalten

Beim Einschalten müssen zuerst Trennschalter, dann Lastschalter und zuletzt Leistungsschalter geschlossen werden