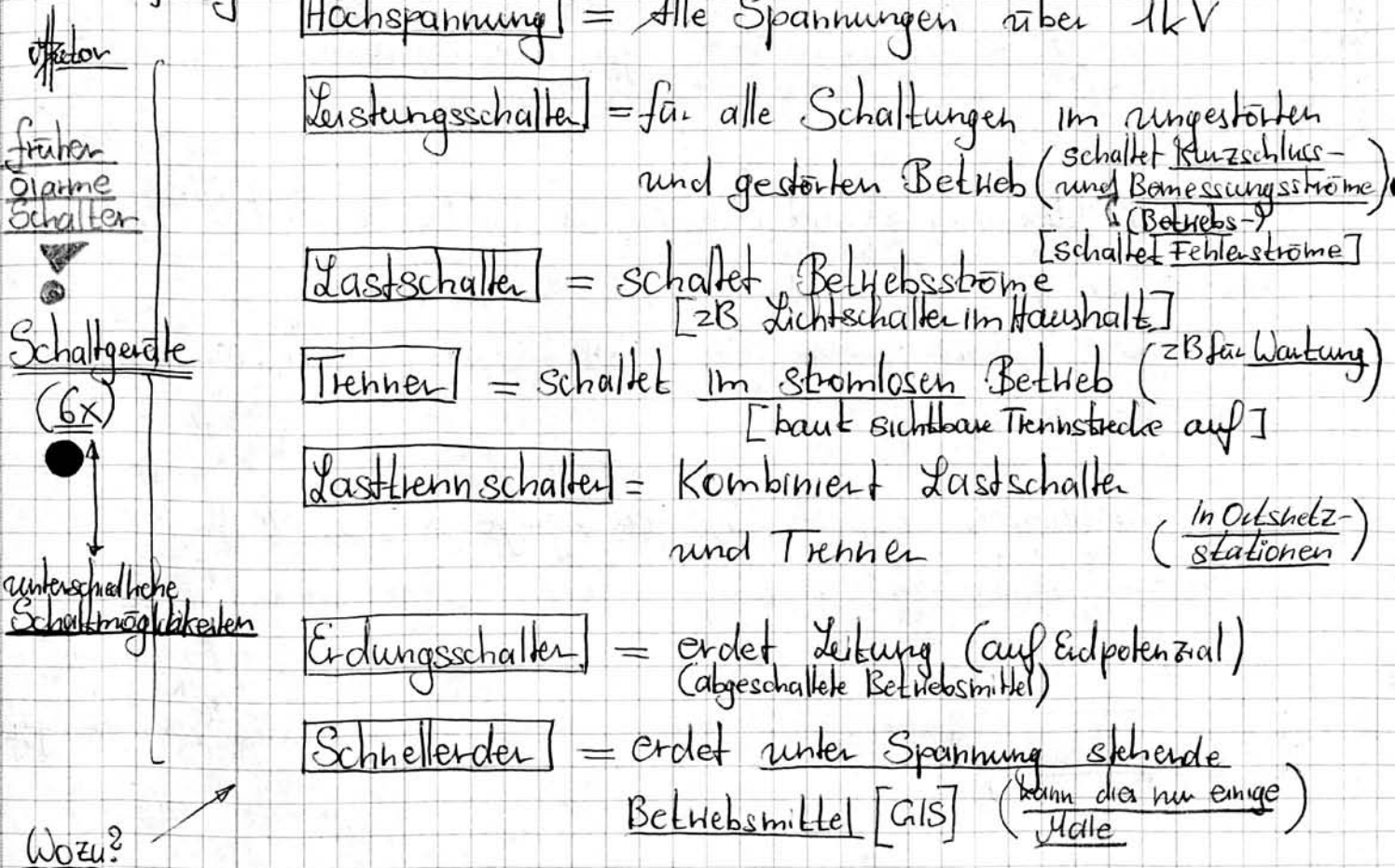


2001.11

Schalter

1 Einführung zum Seminar Hoch- und Mittelspannungs-schaltgeräte und -anlagen

Zusammenfassung



Kriechweg $\hat{=}$ Weg zwischen den Kontakten (Isolationsstrecke) $\rightarrow$ (wird in feuchten Gebieten verlängert)

Gefahr:

Stromabriss $\hat{=}$ Vor natürlichem Strom-Null-Durchgang sinkt Strom auf 0, es entstehen hohe Überspannungen aufgrund der großen Steilheit $\frac{di}{dt}$ ($u(t) = L \frac{di}{dt}$)

= Choppingstrom

schlecht für Transformatoren (Überschlag)

$\rightarrow$ beim SF₆-Pufferschalter / Vakuumschalter

nicht Strombegrenzend

- Strom wird im natürlichen Strom-Null-Durchgang unterbrochen $p = u \cdot i = 0$
- weil dann Zugeführte Leistung $= z_u \cdot i = 0$ ist (bzw. möglichst klein sein soll)
(abgeführte Leistung > Zugeführte Leistung)

↳ "LiBo" ausblasen!

- Nach Kontaktbenennung $\approx$ konst. Brennspannung (Spannung über LiBo)
geringe.
- Wiederkehrspannung wird von Einschwingspannung überlagert, welche durch Schwingkreiselemente des Netzes bestimmt wird. (typischer Wert $\gamma = 1,4$ [Überschwingfaktor])
- Im Drehstromnetz Strom-Null-Durchgänge nicht zeitgleich $\Rightarrow$ keine Gleichzeitige Schaltung [in 3 Phasen]

Im 50 Hz System alle 10 ms ein Stromnulldurchgang
↑
wieso?

Nennspannung

Bemessungsspannung (Bemessungsbetriebsstrom)
= maximale dauerhafte Spannung

Bemessungskurzzeitstrom

= Kurzschlussstrom, welche unter bestimmten Bedingungen eine bestimmte Zeit lang geführt werden kann (Fehlerfall)

2 Schaltlichtbögen (= LiBo)

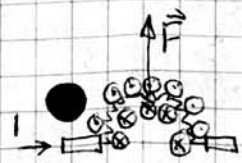
Ion⁺
Elektronen⁻

Plasma = ionisiertes Gas (4 Aggregatzustand)
Ist gut leitfähig, Zerlegung (Ionisierung) erfolgt
durch hohe Temperaturen

PTFE
≡ Teflon

Schaltlichtbogen = Beim Öffnen weniger Kontakte
(Mikrokontakte) $\Rightarrow$ hohe Stromdichte pro
Kontaktpunkt $\Rightarrow$ Verdampfung $\Rightarrow$ LiBo

LiBo
= Lichtbogen



Im SF₆
Selbstblas-
Schalter

$\hookrightarrow$ Energieabgabe durch Strahlung

$\hookrightarrow$ Steigt auf, aufgrund hoher Temperatur, Termik
 $\oplus$ Eigenmagnetfeld

$\hookrightarrow$ Im Inneren 25.000 K heiß

$\hookrightarrow$ Auf Oberfläche $\approx$ 3500 K heiß (Verdampfungs-
temperatur PTFE)

$\hookrightarrow$ Bei Löschung 8000 K heiß (innen).

$U_n = 220 - 690V$
 $I_k = 1 - 50kA$

• Niederspannung Niederspannungsschutzschalter ($< 1kV$)

• Löschung in Löschblechpaketen

• LiBo besteht aus ionisierter Luft

$\uparrow$ Ist streng
gesehen keine
Sicherung

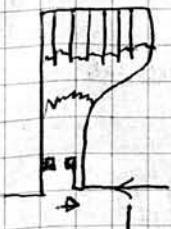
Wie
Sicherung

Strombegrenzend

("Splitting")

= LiBo wird zerschnitten in viele kleine LiBo's

hier mögl. da Brennspannung
im Bereich der Netzspannung
liegt



mehr

Fußpunkte

Im Löschblechpaket ($\leftarrow$ leitfähig)

3x

$\Rightarrow$ Anstieg des Spannungsbedarfs für LiBo

wg 1) besserer Kühlung (bei kleinen LiBo) [an Fußpunkt
des Pak]

2) Kathoden-/Anodenfall ($\equiv$ Spannungsabfälle)
(durch Behinderung des Stroms kommt es an den Elektroden-
flächen zu Spannungsabfällen)

$\Rightarrow$ Erzwingt kein Stromhindurchgang
wg Brennspannungsbedarf $\oplus$ treibende Spannung
(aufschwingende Netzspannung)

• LiBo steigt auf wegen (3x)

Termik, Geometrie und Eigenmagnetfeld des LiBo

Fußpunktspannung?

(20-40V)

→ Mittelspannung [Vakuum-Schalter] ($1 \text{ kV} < U_N < 36 \text{ kV}$)

• LiBo besteht aus Metallampf (Cu/Cr)

• nicht strombegrenzend

dampf von Elektroden ab

$U_N = 12 \dots 36 \text{ kV}$

$I_k = 10 \dots 63 \text{ kA}$

⇒ wartet auf Stromnulldurchgang

• Rotierender (RMF) oder diffuser (AMF) LiBo

• Im ersten Stromnulldurchgang geschaltet

Leistungsschalter (3x) ⊕ Ölarme Schalter (Luftisole)

→ Hochspannung [SF₆-Hochspannungsleistungsschalter] ($> 54 \text{ kV}$)

• SF₆ = Schwefelhexafluorid

da höherer I_k schalten kann

Pufferschalter

Leistungsfähige und Leerer

• LiBo besteht aus SF₆, ist rotationssymmetrisch

• nicht strombegrenzend (wartet also auf Stromnulldurchgang)

• hoher Antriebsenergiebedarf

"erzeugt" durch Löschdruck

• LiBo wird durch eine Löschgasströmung (SF₆) gekühlt, die ihm Energie entzieht

⇒ Luftpumpenprinzip

1) Bei Auslösung Kompression des Gases (SF₆) in Druckkammer (26 Bar Löschdruck)

2) Öffnung Kontakt ⇒ Strom kommutiert auf LiBo-Kontakt

3) LiBo brennt

LiBo wird

4) ~~Wird im Stromnulldurchgang~~ beblasen und erlischt (ca. 2 ms vorher Beginn) nachdem Kontakte sich öffnen (stromunabhängig)

↳ Beblasung nach Trennung der Kontakte

6 Bar Fülldruck

einige 10 Bar Löschdruck (26 bar)

21.01.11

Schalter

5

Selbstblasschalter

- LiBo besteht aus SF_6 und verdampften PTFE [vom Düsenmaterial]
 - nicht strombegrenzend
 - geringer Antriebsbedarf, wg. Druckaufbau durch Erhitzung SF_6 durch LiBo
 - LiBo wird durch eine von dem LiBo selbst erzeugte Löschgasströmung gekühlt
- ⇒ Selbstblasprinzip

"Hilfspumpe
nach dem
Pufferschaltprinzip"

- Hilfspumpe dient Unterbrechung kleiner Strome (durch Rückschlagventil) bei kleinen
Strömen
nur kleine
Druck-
aufbau

1) Durch LiBo Erhitzung von SF_6 und Verdampfung von PTFE

2) Druckaufbau in Heizkammer (Durch Druckausgl zunächst Druckaufbau in Düse)

3) Bei Druckumkehr (kurz vor Stromnulldurchgang) Beblasung des LiBo (1-2ms vorher Beginn Beblasung)

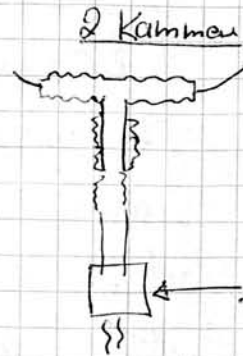
↳ Druckumkehr aufgrund kleiner werdendem LiBo und damit auch weniger Verdampfung von PTFE (stromabhängige Beblasung)

- Versagen des Schalters
 - ↳ thermisches Versagen $\hat{=}$ unzureichende Kühlung [$\hat{=}$ thermische Phase] (Strom führt zu Rückzündung)
 - ↳ dielektrisches Versagen $\hat{=}$ falls dielektrische Festigkeit nicht gegeben (wg. Restgasmenge) [$\hat{=}$ dielektrische Phase]
- Nach LiBo - Löschung tritt hohe Spannungssteilheit auf mit $10 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$ ⇒ Was muss gegeben sein?

3 SF₆-Hochspannungsleistungsschalter

(HS) (heute auch in LS) $\hat{=}$ Leistungsschalter

- T-Bauweise $\hat{=}$ 2 LS in Reihe
 $\rightarrow$ in höheren Spannungsebenen (z.B. 400kV)



◦ Dead-Tank-Schalter

- $\rightarrow$ Gehäuse liegt auf Erdpotenzial
- $\rightarrow$ Vorteil: niedrigerer Schwerpunkt

(kann 3-5 Kurzschlussströme schalten)

◦ LiBo-Löschung

- $\rightarrow$ Leitwert des LiBo muss abnehmen
- $\rightarrow u \cdot i = P_{zu}$ soll möglichst klein sein $\Rightarrow$ im Stromnull

$$P_{AB} > P_{zu}$$

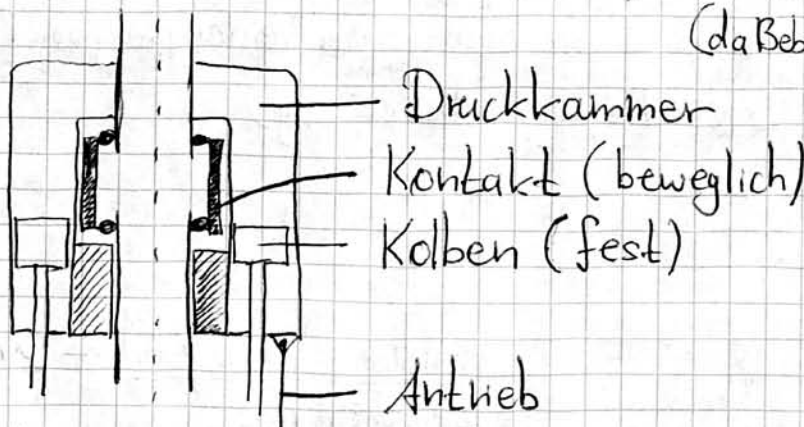
$$P_{zu} = 0$$

- $\rightarrow$ Durchschlagfestigkeit möglichst groß (Restplasma muss schnell weg (wegblasen)) (um Überschlag zu verhindern)

SF₆-LS (Pufferschalter)

Rotationsachse

Gefahr vorzeitiger Stromnulldurchgang (da Belastung nach Trennung der Kontakte)

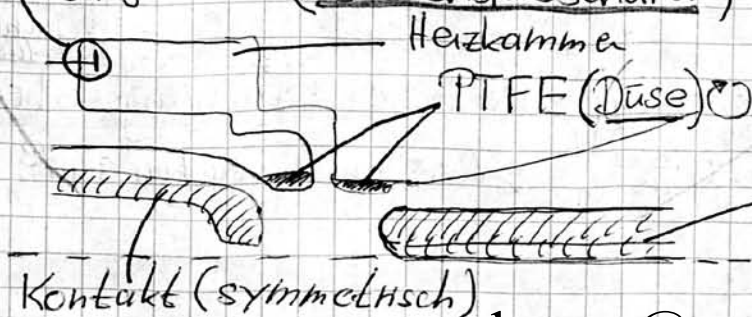


Tubenbau

Rückschlagventil (SF₆-LS (Selbstblasschalter))

Löscht LiBo immer im Stromnulldurchgang

PTFE $\hat{=}$ Teflon



Fingerkontakt da wo temperatur-fester LiBo-Kontakt (fest) (aus Wocu)

(WO leitet jedoch schlecht als Cr. Cr.)

- Löscht zuverlässig im 3-5 Stromhüllendurchgang (da Kontakte an Endposition gebracht werden müssen) mechanisch für Druckaufbau

• SF₆

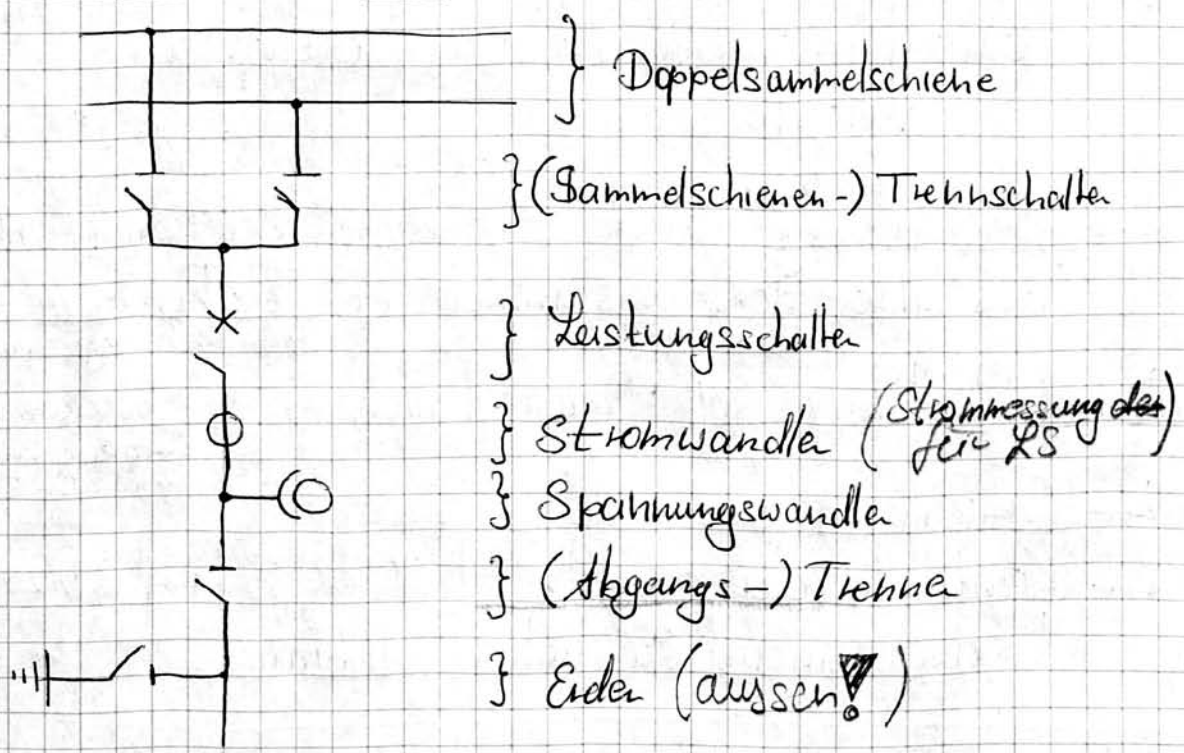
- ↳ Hohes Isoliervermögen, besser als Luft ab 3bar besser als Trafoöl
- ↳ LBo weniger heiß als bei Luft
- ⇒ weniger Energie für Belasung (Kühlung) notwendig

Nachteil: 22800x höheres Treibhauspotenzial als CO₂

- Open - Close - Open } Wofür benötigt?

- ↳ muss SF₆-Schalter können
- ↳ mit Hilfe eines Federspeicherantriebs

• Feld (ESB)



Summe 3 Phasen
mit gemeint (ESB)

(kann mehrere 100 mal Kurzschlussströme schalten)

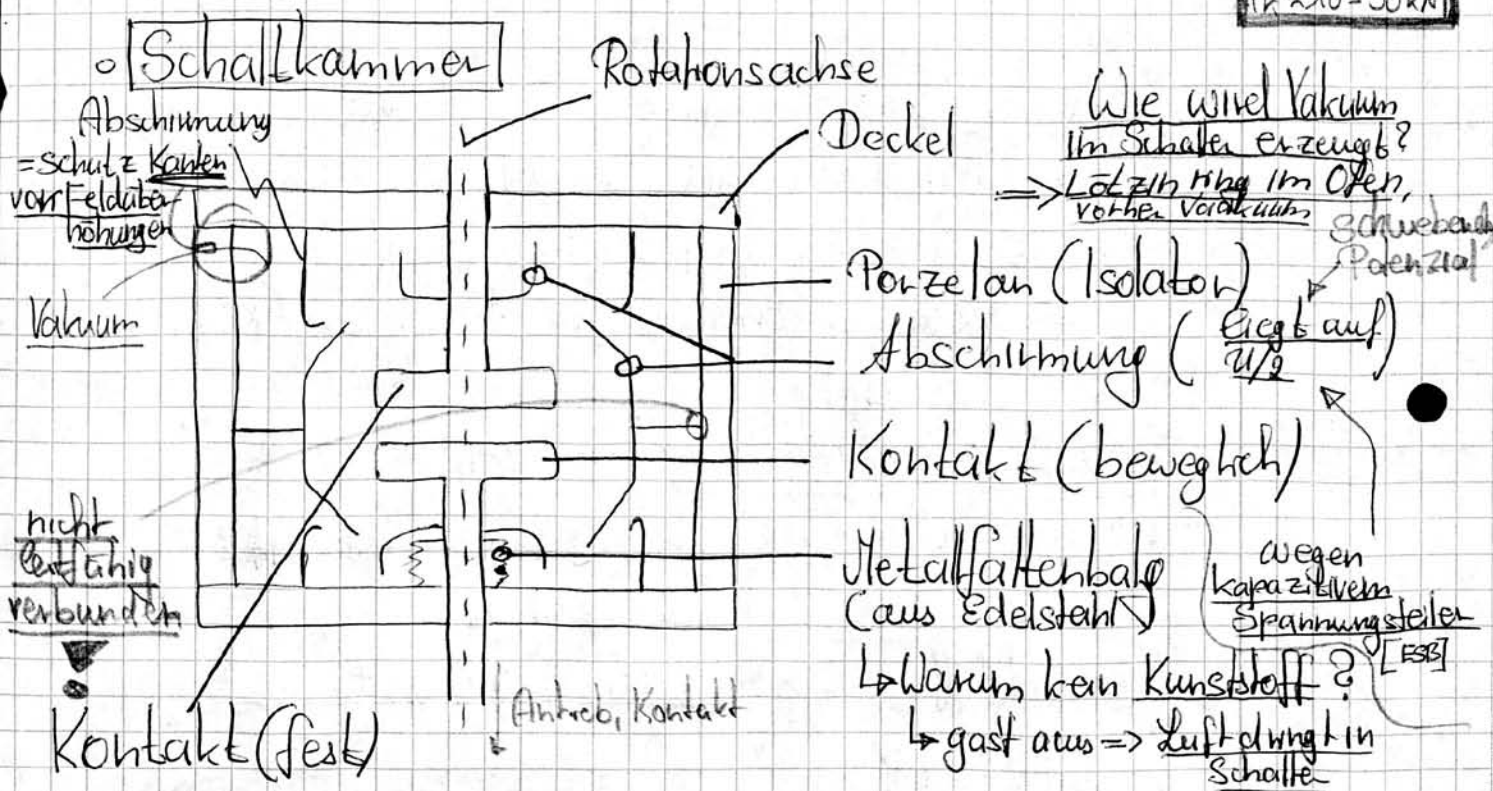
8

(kann 20.000 - 30.000 Schaltspiele durchführen, beim Betriebsschorn)

4 Vakuum - Leistungsschalter

- Vakuum in MS (nicht HS), weil Spannungsfestigkeit besonders hoch bei kleinen Kontaktabständen
- ⊕ (billiger als SF₆)

$I_n \approx 10 - 50 \text{ kA}$



↳ Keine Kunststoffe, da diese ausgasen
=> Metalle, Porzellan

↳ Abschirmung (2x) damit sich keine ~~Edelmetallpartikel~~ Cu/Cr (aus LiBo) ~~ansammeln~~ ⊕ Feldhomogenisierung (um Überschlage zu verhindern) hoher Abbund

↳ Metallfaltenbalg soll Druck halten

↳ Anschlüsse aus Cu

↳ Kontakte aus CuCr [50/50 %] ↔ [75/25 %]

↳ auf reinem Cu hoher Abbund

Warum CuCr?
↳ da reines Cu nicht temp. fest
↳ reines Cr schlecht leitend
ABB

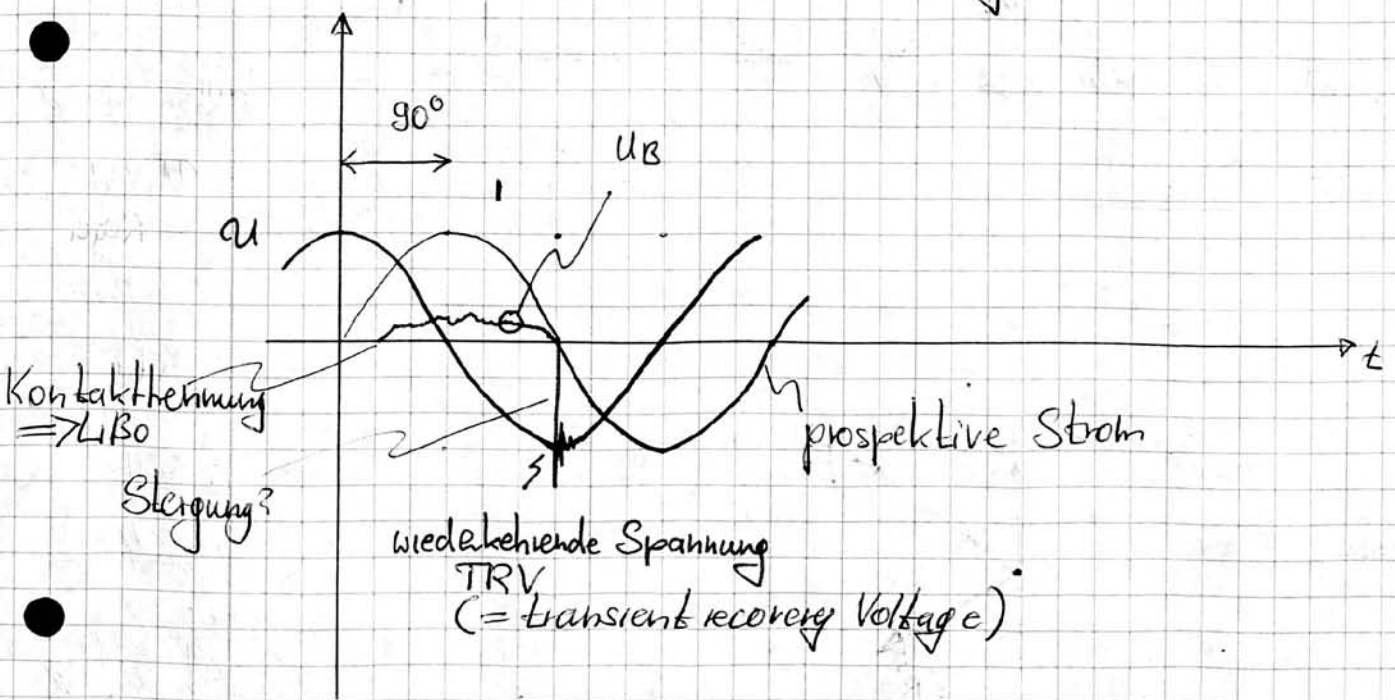
SIEMENS

Vakuum (Druck) $p \approx 10^{-7} \text{ hPa} \approx 10^{-6} \text{ mBar}$

($\hat{=}$ 1 nBar)

ketov@gmx.de

◦ Kurzschlussstrom - Ausschaltung



=> Induktives Verhalten, Strom eilt Spannung
um 90° nach. Spannung eilt Strom vor.

Bei $I_k < 10 \text{ kA}$ brennt LiBo diffus

$I_k > 10 \text{ kA}$ Kontraktion zur Säule

=> RMF/AMF-Methode
wegen **Pinch-Effekt**

bei Vakuum- K s

Nennkontakt

||>

LiBo-Kontakt

◦ Kontakt ist sowohl Nennstromkontakt als
auch Kurzschlusskontakt ($\hat{=}$ Abbrandkontakt
 $\hat{=}$ LiBo-Kontakt)

◦ Vakuumisolation ist selbstheilend wie Freileitungen

(Bei Durchschlag wird LiBo gelöscht im natürlichen
Stromnulldurchgang) $\rightarrow$ Ionen/Elektronen rekombinieren
 $\rightarrow$ Werden von den Kontakten durch
die wiederkehrende Spannung
angezogen

◦ Umweltfreundlich (Vgl. SF_6)

RMF (= Radialmagnetfeld)
(11/1)

10 ^{die meisten} ^{Wickelschichten}

nur bei

$k > 10kA$

Feld zeigt nach aussen ▼

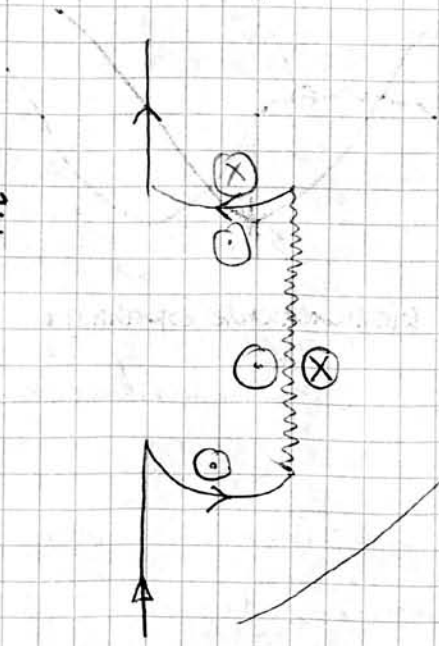
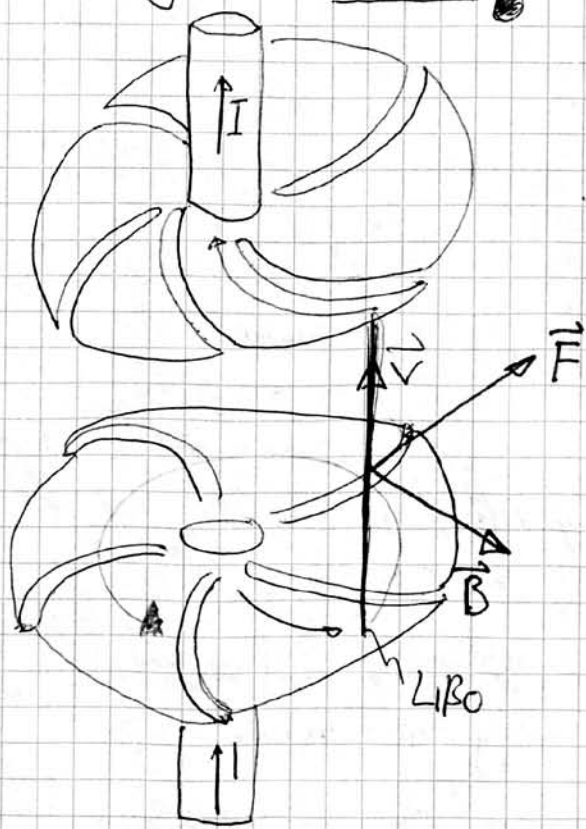
nicht radialsymmetrisch ▼

$$\vec{F} = g \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$= g \cdot \vec{E}$$

↳ davon diffuse LiBo ▼

u, v, w
- Regel
bzw
 k, I, B, F



⇒ Axiale
Komponente
hebt
sich auf ▼

— „Rechte-Hand-Regel“ —

Metalldampf-

⇒ LiBo rotiert (bei Stromumkehr bleibt Kraftrichtung gleich)

⇒ Dadurch gleichmassige thermische Belastung der Kontaktoberfläche (wichtig für gleichmassige Abnutzung)
(wenige Feldüberhöhungen)
↳ hohe Spannungsfestigkeit

Brennspannung $\approx$ 100V

LiBo
kontrahiert
wegen
Pinch-Effekt

[Vgl. ET III]

Erklärung?

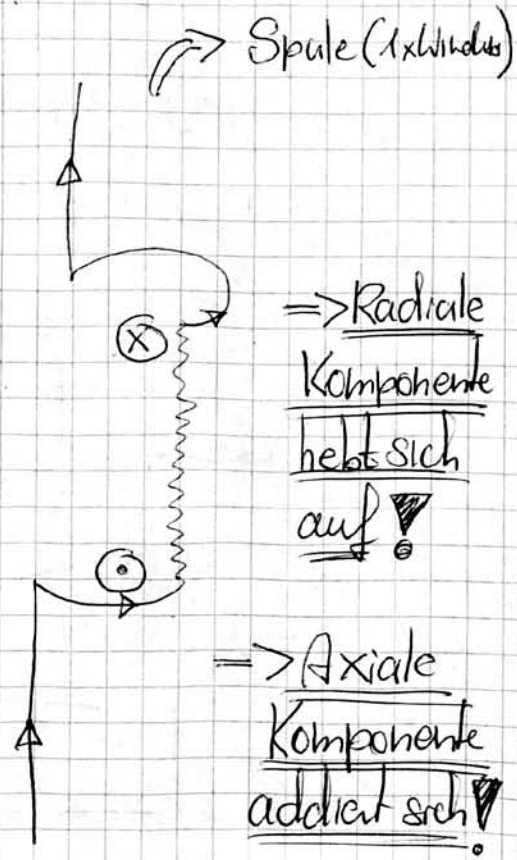
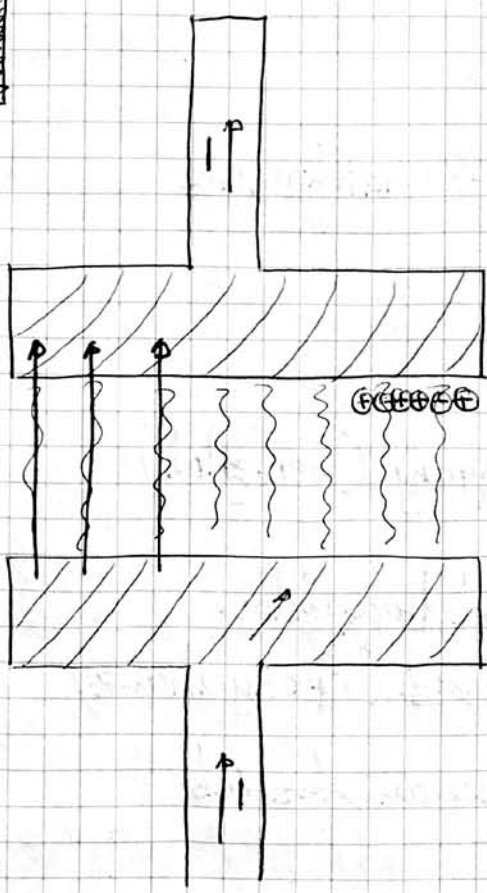
⇓
gegenseitige
Magnetfelder

(mag.) Feld wird durch Strom erzeugt! (nicht LiBo)
(≡ Durchflutungsgesetz)

$I_L > 10 \text{ kA}$

AMF (= ¹¹Axialmagnetfeld)

Schlitzung
anders



=> Axiales Magnetfeld erzeugt diffusen LiBo metalldampf-
=> gleichmässige thermische Belastung

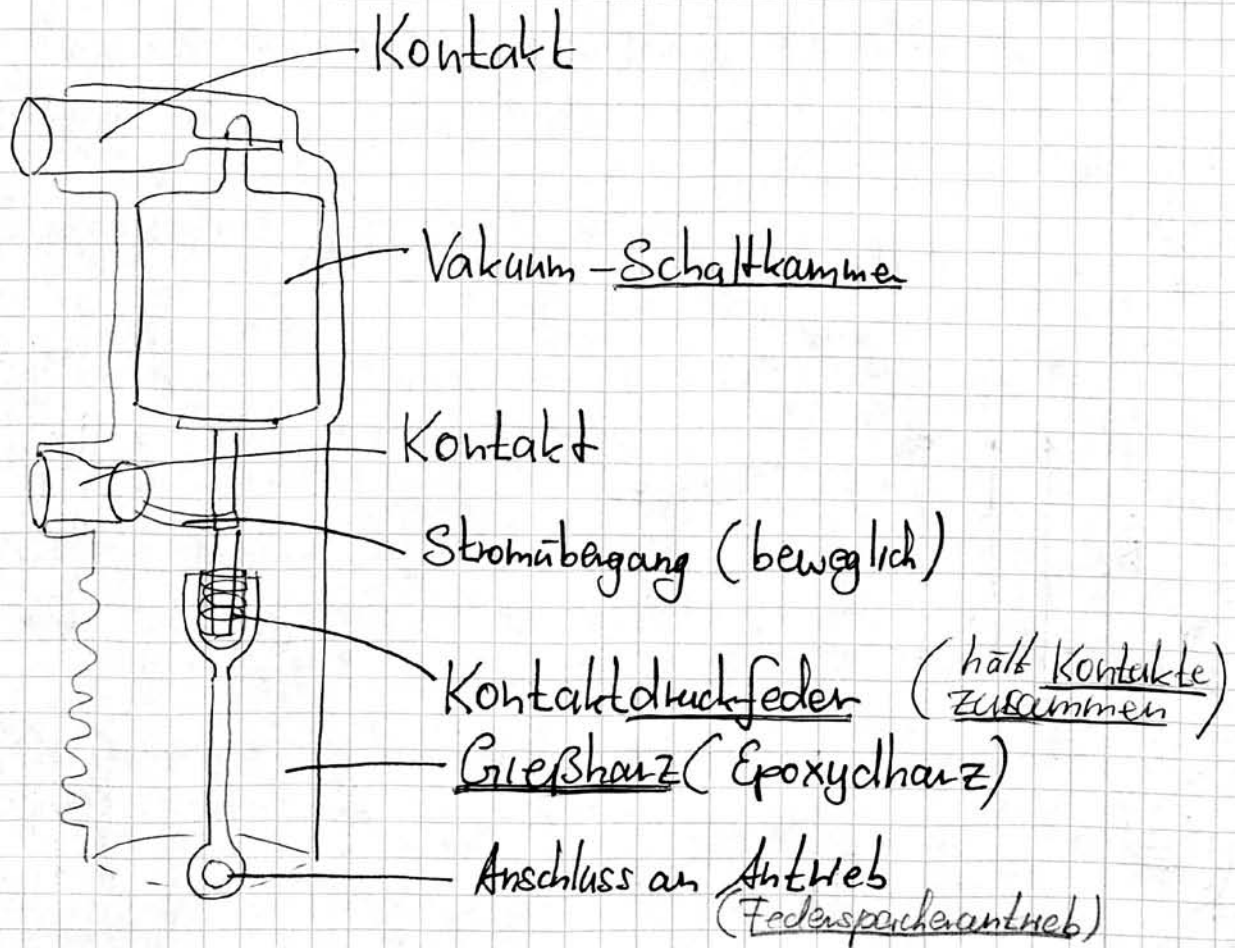
Wie springt
LiBo über den
Schlitz?
=> gleiches
Potential

Brennspannung $\approx 50 \text{ V}$ (
↳ Warum niedriger?
(denke an ESB)

Ionen
Elektronen

• Bahnradien der Ionen⁽⁺⁾ sind dabei aufgrund ihrer höheren Masse größer als die der Elektronen⁽⁻⁾.
Daher stoßen sich die Plasmaschläuche gegenseitig ab.

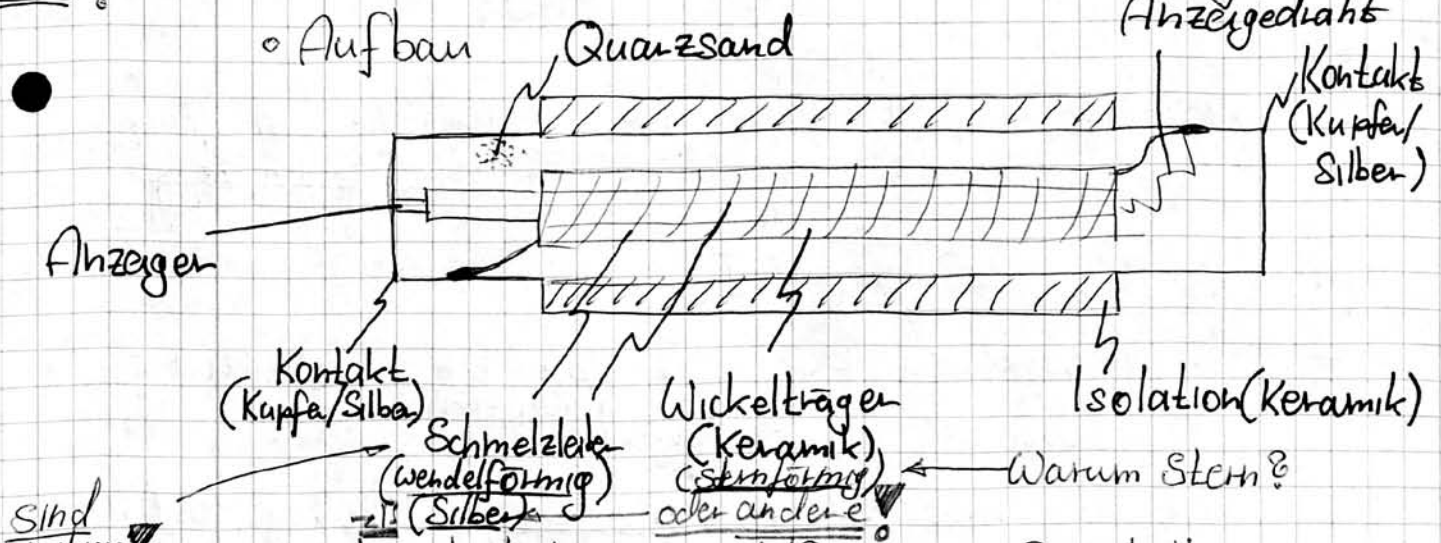
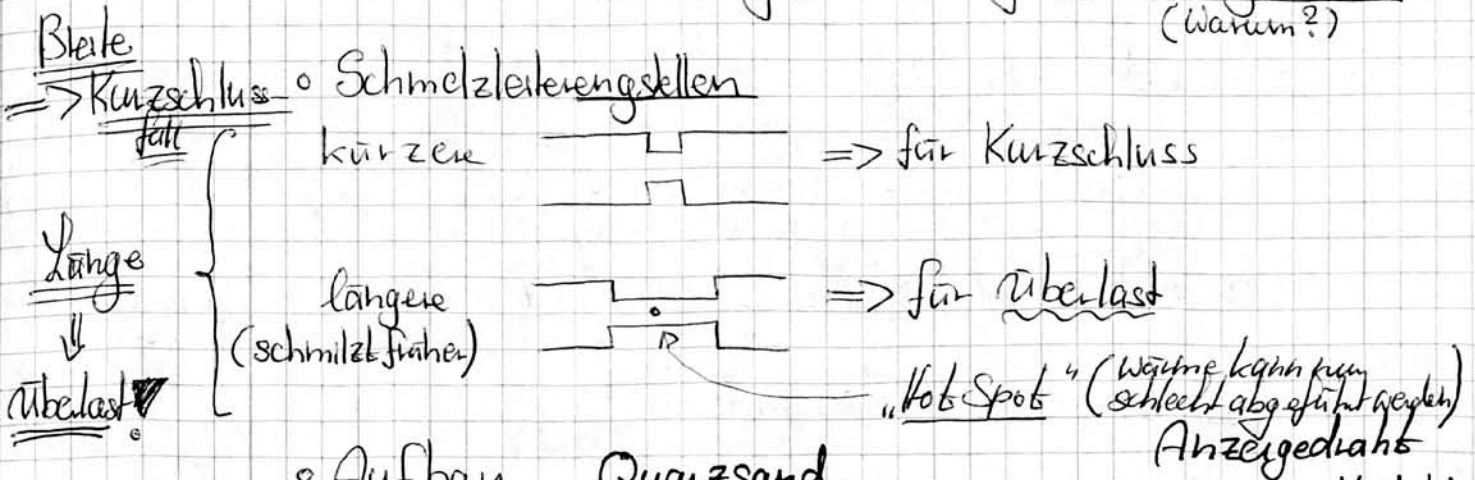
Eingießspolteil



Gießharz / Epoxydharz für Isolation, Schutz

[5] Hochspannungssicherungen (H-Sicherung)

= schaltet einmalig, selbsttätig, strombegrenzend
(Warum?)



• Schmelzleiter wendelförmig auf Wickelträger
↳ um Sicherung kurz zu halten

• Kontakte sind aus Kupfer (besser leitfähig und gute Wärmeleitung), sind versilbert (nicht aus Silber)
↳ Schutz vor Korrosion

Warum Wickelträger sternförmig?
=> bessere Kühlung

Schmelztemperatur Quarzsand 1800°C

• Gefüllt mit Quarzsand (3x) (Korngröße 0,2-0,35mm)
↳ wichtig für Wärmeableitung Kühlung + Stabilität
↳ bildet Sinterkörper (im LBO-Fall)

• Anzeiger für Schmelzleiter intakt, häufig über Schlagmelder (vorgespannte Feder) realisiert
[Feder wird beim Aufschmelzen des Anzeigedrahtes (Isolator) ausgelöst] (Schlagstift)

Schmelztemperatur Silber 960°C

Sicherungen schalten Strombegrenzend [Vorteil ggü Leistungsschaltern]

⇒ Aufschmelzen / Verdampfen Engstellen ①

⇒ Lichtbögen ② + Kathoden / Anodenfall

⇒ Werden gekühlt durch Quarzsand (Bildung Sinterkörper) ③

⇒ Erhöhter Brennspannungsbedarf ④

Schmelztemp
Kupfer
1088°C

⇒ Erzwungener Nullstromdurchgang ⑤

(Kurzschlussfall / Überlastfall)

Temperatur steigt auf
960°C Schmelztemp
(1h dauert) Silber

Prospektiver Strom I_k''

= Strom, welcher bei überbrückter Sicherung fließen würde (Fehlerfall) (Effektivwert)

Wird berechnet durch Kurzschlussstromberechnung
(bzw. Simulaboh) [vgl. EVS]

Strom / Zeit - Kennlinien

= zeigen Schmelzzeit in Abhängigkeit vom
prospektiven Strom (bei jeder Sicherung anders)



Sicherungsarten: 3+1 (genau anschauen)

Teilbereichssicherung (ohne Wärmeband)

Vielbereichssicherung (mit Wärmeband)

Ganzbereichssicherung (← Leuer)

kapul
⇒ für Wärme-
stau im
Überlastfall



Vollbereichsschutz (Kombi:
TB-Schutz
+
Lasttrenner)

22.01.11

15

Schalter

6 Ortsnetzstationen

= Verbindung zwischen MS Verteilungsnetz und NS Versorgungsnetz (≈ 600.000 in dt.)

MS = Mittelspannung
(10/20kV)

NS = Niederspannung

o Aufbau:

- 1) MS Schaltanlage
- 2) Transformator
- 3) NS Schaltanlage

300GVA an
Trafo-Leistung
installiert in D.
häufig etwa
Verbrauch
(Redundanz)

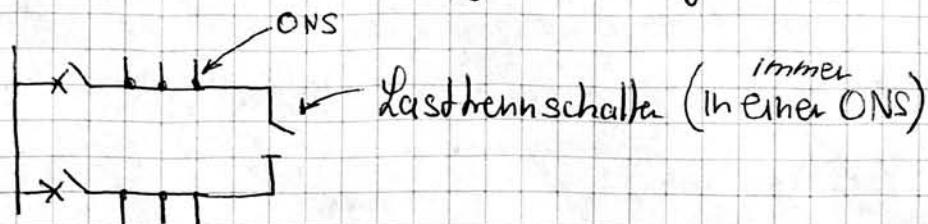
o Trafoleistung
500kVA

als o Errichtete Station oder Kompaktstation ||

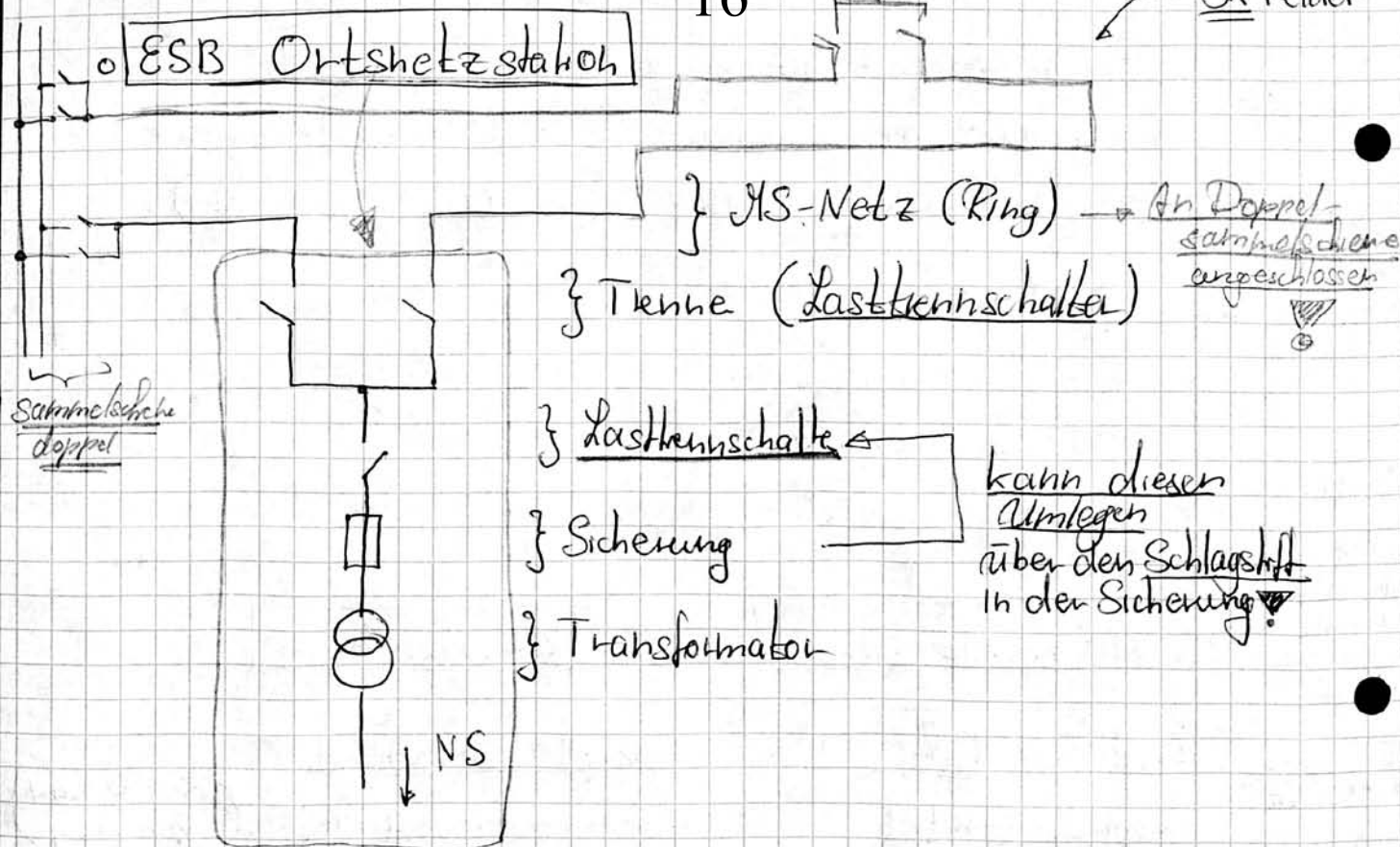
↳ rel. viel Platz
↳ vor Ort errichtet
↳ vor Ort geprüft

↳ ① platzsparend
↳ im Werk geprüft (Stück- und
Typprüfung)
↳ im Werk errichtet
↳ ② billiger (Economy of Scale) und ③ sicherer (Personensicherheit)
da Komponenten etc.
erprobt, erprobt
(Anlagensicherheit)

o MS-Netz wird als offenes Ringnetz betrieben
Damit im Fehlerfall ^{nicht} ganzer Ring ausgeschaltet ist



Im Bei Fehlerfall dauert Unterbrechung ca. 60min
↳ Personal vom EVU fährt Stationen ab und liest
Kurzschlussmelder ab $\Rightarrow$ per Hand Lasttrennschalter und LS
anlegen, vorher defekte Station freilegen (Trenner)



7 Einführung in die Anlagentechnik / Gasisolierte Schaltanlagen

o Anlagen Typen (von Hochspannungsschaltanlagen)

AIS (Luftisolierte Schaltanlagen)

GIS (Gasisolierte Schaltanlagen)

Hybrid-Anlagen (kombiniert beides)

→ muss gerenigt werden (^{hin und} wieder)

o AIS → hoher Platzbedarf für Isolation untereinander und zu Boden

↳ Einfache Schnittstellen (Kombinationen d. Komponenten)

↳ leichte Austauschbarkeit (reparaturfreundlich) ^{unt. Hersteller}

o GIS → Komponenten u.U. nicht austauschbar (^{falls Hersteller nicht mehr da})

↳ geringerer Platzbedarf (90% weniger) [Faktor 10]

↳ bessere Integrierbarkeit; ↳ für schwierige Diffusionsorte

↳ Zuverlässiger (Faktor 10 als AIS)

↳ längere Reparaturzeiten (als AIS)

↳ keine Beeinflussung durch Umweltbedingungen

o Hybrid

↳ Erweiterung einer AIS Schaltanlage und kein Platz vorhanden (^{typischerweise} SS oder Feld)

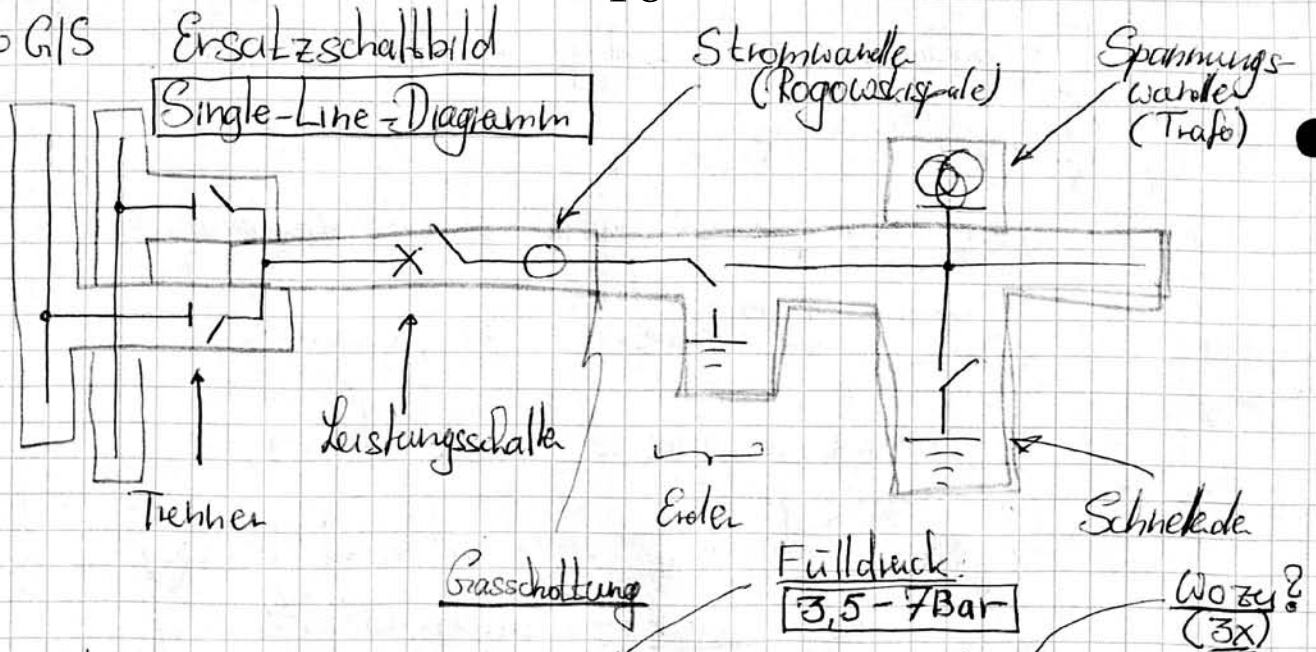
Kosten nicht pauschal bewertbar!

↳ Kapselung Komponenten auf Erdpotential

Warum? (2x)

↓
Isolationssicherheit
keine Umwelteinflüsse

o GIS Ersatzschaltbild



o Anlage in SFG gekapselt in abgeschotteten Gasräumen
 => Grasschema (///) in Hoch- und Höchstspannung
 (vgl. VTS)

↳ Wartungsfreundlicher

↳ Sicherer, da falls LiBo brennt nur der jeweilige Raum betroffen [= Selektivität]

o Schnelleiter für Erdung der Betriebsmittel im Fehlerfall (LiBo) (→ möglichst kein großer Schaden)

o SFG = Schwefelhexafluorid

- hohe elektrische Isolationsfestigkeit (Spannungsfestigkeit / dielektrische Festigkeit)
- geruchlos, nicht brennbar, ungiftig
- Treibhausgas

8 Freiluftschaltanlagen

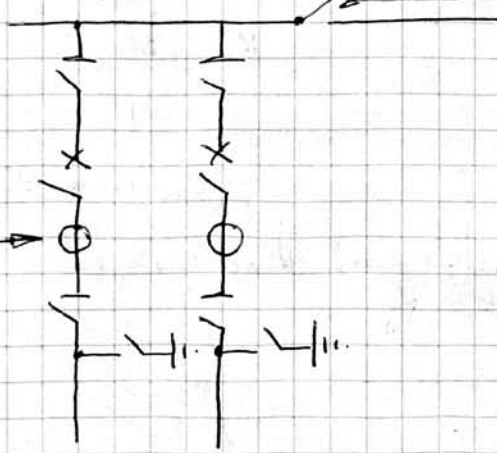
Sammelschienenkonzepte (6x) [+ 3x Zusätze]

SS-Konfigurationen:

① Einfachsammschiene

Längshenker (Reversion)

- 1) Günstig
- 2) wenig Platzverbrauch

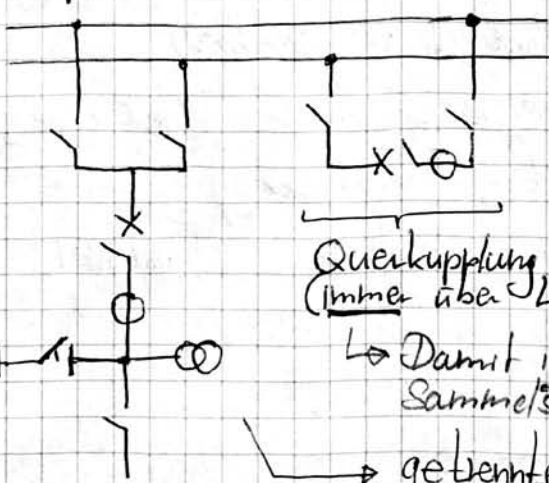


Wo zu?

=> Zustandsbestimmung des Leistungsschalters

② Doppelsammschiene

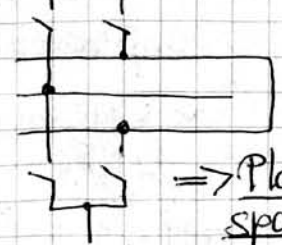
=> Doppelsamms. in U-Form



Querkupplung (Immer über LS)

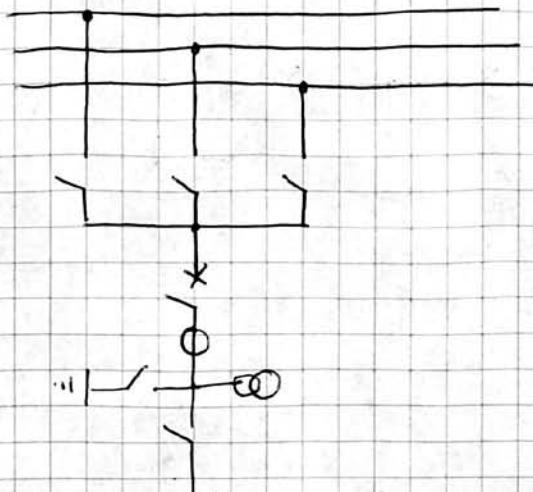
=> Damit im Fehlerfall nicht beide Sammelschienen betroffen

=> getrennter Betrieb der SS möglich!

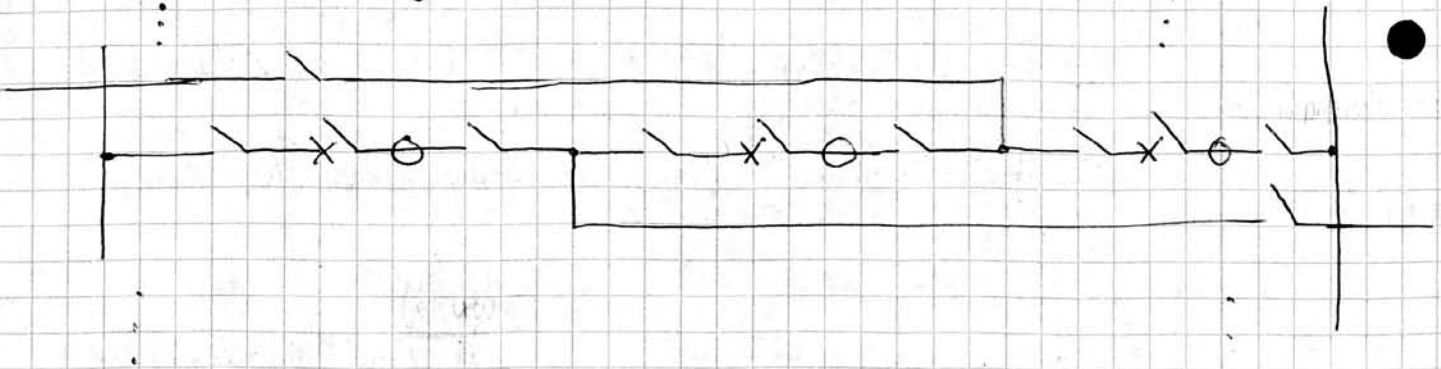


=> Platz sparen (falls auf beiden Seiten Abgänge)

③ Dreifachsammschiene



④ $1\frac{1}{2}$ - Leistungsschalter Methode → Einsatzgebiet? Hoch- und Höchstspannungsebene



$\frac{3 \text{ LS}}{2 \text{ Abgänge}} \Rightarrow 1\frac{1}{2} \text{ Leistungsschaltermethode}$

Alle LS im Vorratbetrieb auf ein

• Vgl. günstig (bei H-Schaltung 4 LS)

↓ (3x)

• hohe fersfallsicherheit

unterbrechungslose Umschaltung

↳ bei Ausfall einer Sammelschiene Versorgung sichergestellt (oder Ausfall eines LS)

↳ Sammelschiene fersschaltbar (Wartung)

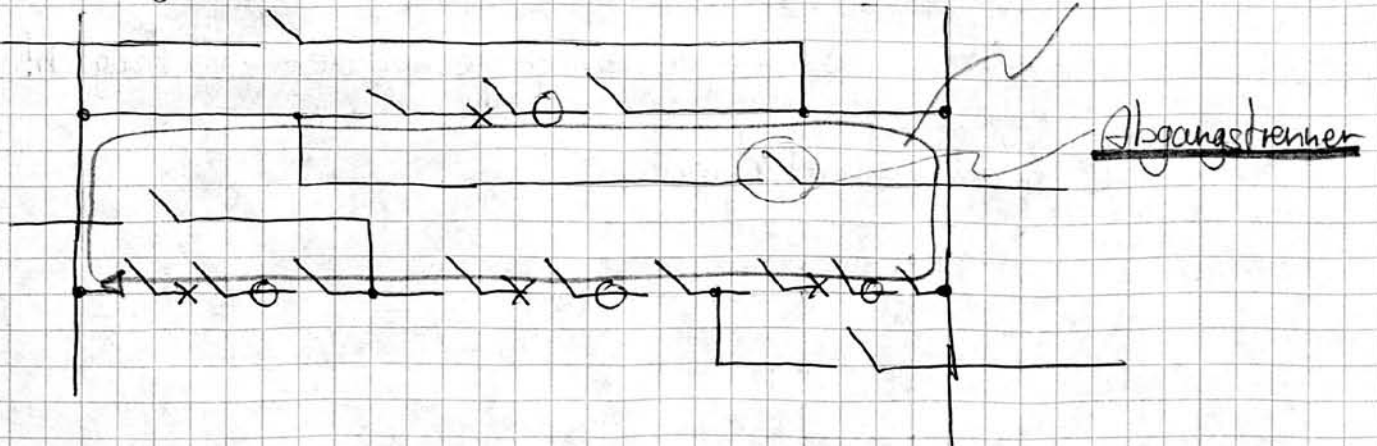
↳ 1 LS fersschaltbar (Wartung)

↖ In USA üblich, nicht in Europa

• Im Fehlerfall müssen 2 LS schalten [Nachteil]

⑤ Ring-Sammelschiene

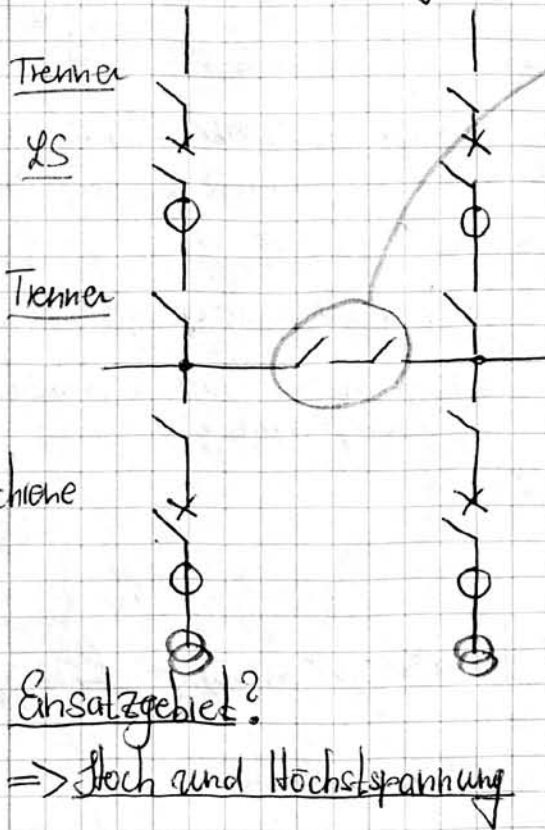
Wo Ring?



⑥ H-Schaltung

Vgl. Anzahl
LS
mit Doppel-
sammelschiene

günstiger
als
Doppelsammelschiene
(dort 5 LS)



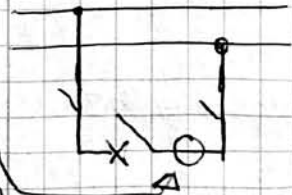
Warum zwei Trenner?
=> Wartungszwecke
(es muss nicht gesamte
Anordnung abgeschaltet werden)
für Wartung 1x Trenner

Wie einen LS
einsparen?

=> LS zwischen den 2
Trennern
(Jedes Feld muss durch LS
abschaltbar sein)

②'

Querkupplung



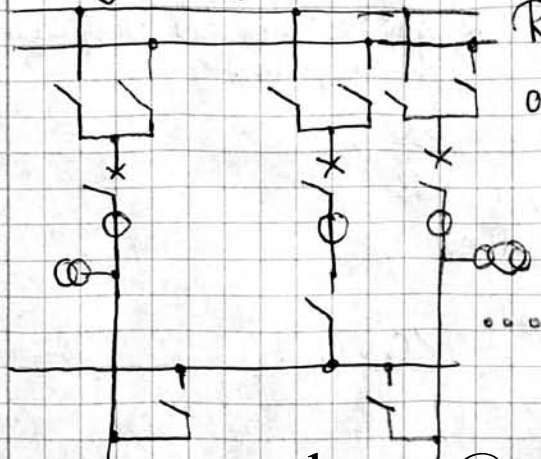
LS da hohe Ströme geschaltet
werden müssen (Fehlerfall)

=> Aufgebaut wie Schaltfeld um
Standardkomponenten zu verwenden
(billiger)

Wozu?
=> Strom-
messung
für LS

③'

Umgehungschiene



= jeder Abzweig kann für
Reparaturen fiegeschaltet werden
ohne Versorgungsunterbrechung

- hohe Versorgungssicherheit
- teuer (weitere Sammelschiene,
LS, Wandler, ...)

• Bauweisen

• < 220kV

Klassische Bauweise

= Trenner nebeneinander unter Sammelschienen

Trenner unt. SS $\hat{=}$ Sammelschiene
angeordnet
bezüglich SS

PRO

- 1) geringe Felderteilung
- 2) gute Wartbarkeit der SS und Trenner

KONTRA

- 1) hoher Stahlaufwand, viele Isolatoren
- 2) m.H. 1 SS wird von Leitungen überspannt

Reihen-Längsbauweise

= Trenner als Drehtrenner hintereinander längs zur Sammelschiene

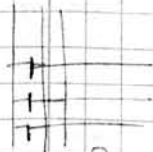
Felderteilung
= Breite

PRO

- 1) geringer Stahlaufwand
- 2) SS nicht von Leitungen überspannt (darunter)

KONTRA

- 1) große Felderteilung
- 2) schlecht wartbar warum?



Reihen-Querbauweise

= Trenner hintereinander quer zur Sammelschiene

PRO

- 1) geringe Felderteilung
 - 2) SS gut zugänglich
- 220kV und 380kV

KONTRA

- 1) große Anlagenbreite
- 2) alle SS werden von Leitungen überspannt

Diagonalbauweise

= Trenner diagonal angeordnet
→ unterliegende SS
→ oberliegende SS

PRO

- 1) geringer Geländebedarf

KONTRA

- 1)

- 9) Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
 ≙ sind immer Punkt-zu-Punkt Verbindungen
 o Einsatzgebiete (3x)

- 1) Kupplung asynchroner Netze
- 2) Fernübertragung (von hohen Leistungen)
 ↳ kein Drehstrom, da kapazitive Ladeleistung
 ↳ zu groß wird
 ↓
- 3) Seekabel

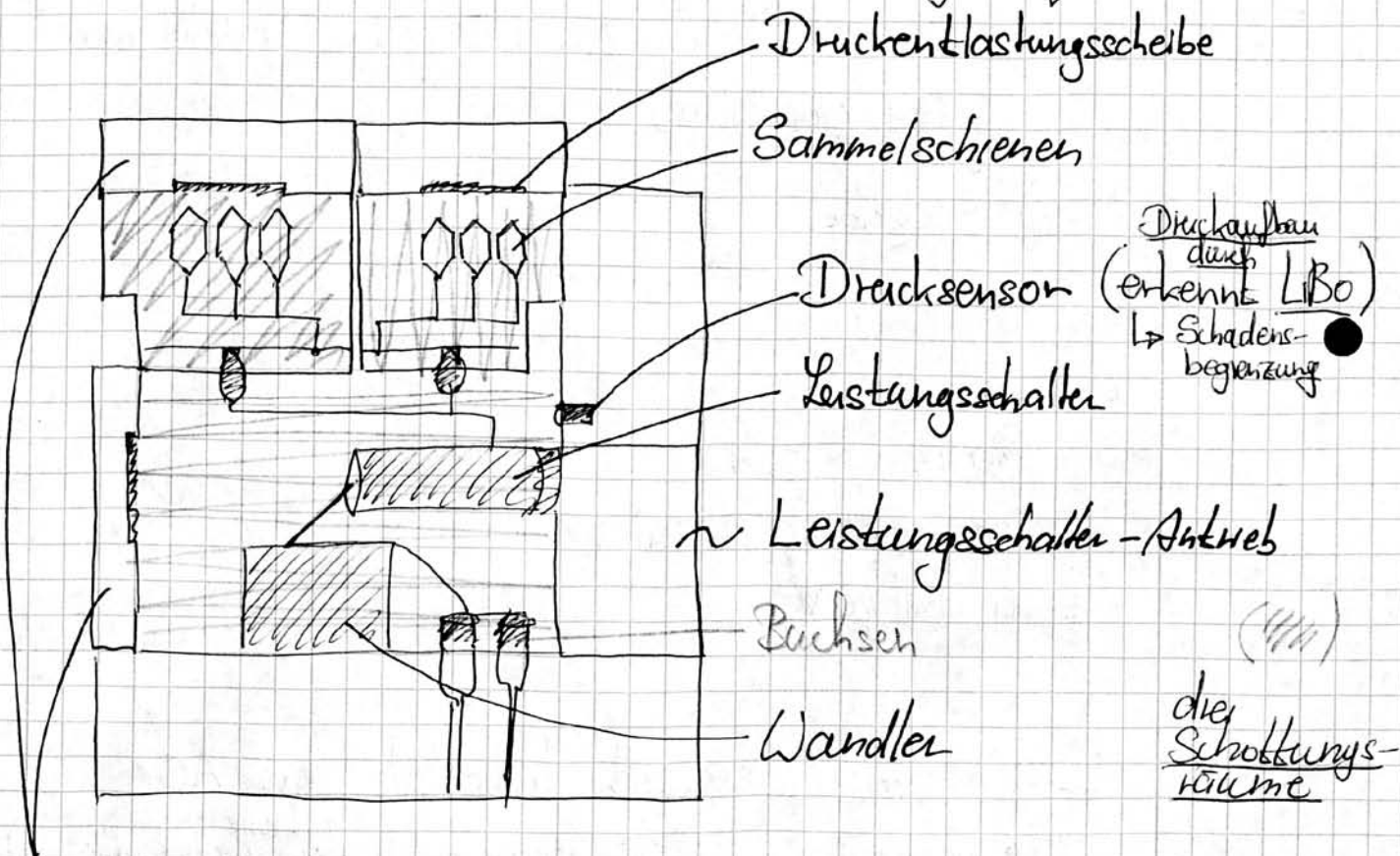
- o Ab ca.
 50km Seekabel (Drehstrom)
 200-800km Freileitung
 HGÜ billiger! ⚡

- ↳ Fixkosten wesentlich höher als bei AC
 ↳ Kosten pro Kilometer geringer (da keine Kompensationsanlagen)
 [geringere Übertragungsverluste]

10. Mittelspannungsschaltanlagen

In AIS (luftisoliert bzw. Vakuum) oder GIS (SF_6)
 warum? (3x) → leichter herstellbar (Module)

- Schottungsräume um Fehler zu begrenzen (LiBo)
 [Selektivität] → Wartung einfacher



Druckentlastungskanal

Druckentlastungsscheibe ist Sollbruchstelle
 für den Druckausgleich (falls LiBo)
 → gezielte Druckentlastung (persönlich soll nicht getroffen werden)

Stromwandler funktioniert über Rogowski-Spule



Spannungswandler über Transformator
 → Spannungen messbar machen

- 3,5 - 7 Bar Fülldruck (Ab 3 Bar besser als Trafoöl)

11) Kabel und Freileitungen

o Im Hoch-Höchstspannungszetz Freileitungen > 95%

o In Verteilungsebene Kabel zu $\approx 75\% \approx 80\%$

o Isoliermedium Freileitung Luft $\Rightarrow$ Wärmeabfuhr Selbstheilung (durch Erneuerung) zB bei Blitze
Kabel Öl, Papier, Kunststoff

1km Freileitung
(Hochspannung)
 $\approx 1400€$

gleichwert.
Kabel teurer
in HS/HoS

o Bei Freileitungen über 20kV [HS/HoS] oberer Leiter Erdungsterm als Blitzableiter

1200.000km
Kabel in
Deutschland

500.000km
Freileitungen
in Deutschland

$\rightarrow$ bei NS/MS wäre dieser unnütz, da Isolation versagen würde

o Höhe der Spannung ^{bestimmt} gibt Isolationsaufwand

1x Porzellanisolator $\Rightarrow 110kV$

2x $\Rightarrow 220kV$

3x $\Rightarrow 380kV$

Warum?

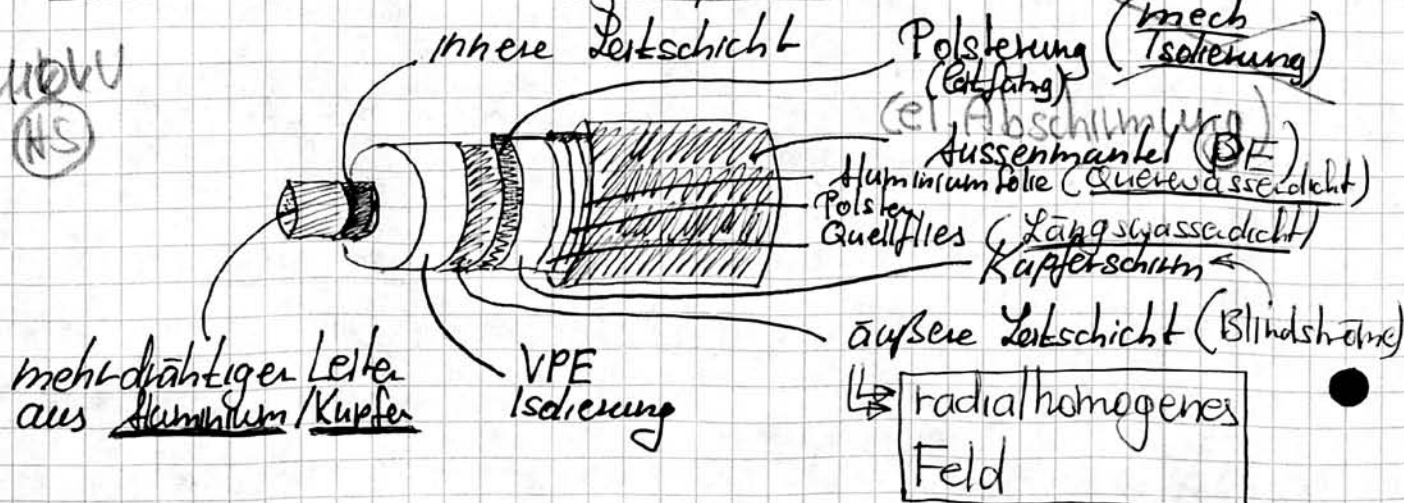
o Bei Freileitung Verluste höher, da kleinerer (Leiter-) Querschnitt

o Kabel haben heute VPE-Isolierung

PE
Polyethylen

VPE $\hat{=}$ vernetztes Polyethylen

110kV
(HS)



- Leiter aus Aluminium in NS (billiger)
Kupfer in MS/HS (bessere Leitfähigkeit)

Kabel

- Innere Leitschicht um elektrisches Feld zu glätten; an Kanten (Rändern) werden hohe Feldstärken erzeugt (Feld am Leiter, am höchsten) Vgl. ET3

- Leitschichten allg. um radialsym-Feld zu bekommen (Feldhomogenisierung) [äußere Leitschicht] ist geerdet

auf idealen Leitern
 $E \perp$

denke an
Luft

- Sonst Feldüberhöhungen $\Rightarrow$ Schäden bzw. Durchschlag

Phat?
Zw P?Q?

- Maximaltemperatur Kabel 90°C (VPE)
(definiert maximale übertragbare Leistung)
haben eine hohe Kapazität ($\Rightarrow$ Blindleistungsbedarf)
 $\Rightarrow$ hohe Ladeströme $\Rightarrow$ max. Länge Kabel ($\approx 50\text{km}$)

Leistung wird für Laden/Entladung von C benötigt

- Die Übertragungslänge bei Kabeln wird durch den Ladestrom begrenzt

- Geringe Reserve für Überlastungen

- Maximaltemperatur Freileitungen 80°C (nach Festigkeit)
haben Induktives Verhalten (ΔU längs der Leitung)
haben höhere Widerstandsbeläge ($\Rightarrow$ Verluste)

Warum?

- Die Übertragungslänge bei Freileitungen wird durch Spannungsfall begrenzt (ΔU)

- Freileitungen haben große Überlastungsreserven, da Verlustwärme gut an Luft abgegeben werden kann

- Längenbegrenzung für 380kV-VE-Kabel bei ca. 50km (80% der Energie soll übertragen werden) (Faustregel)

⇒ Bei Hoch-/Höchstspannungsleitungen kann eine Freileitung nicht durch eine Kabelanlage ersetzt werden (umgekehrt auch nicht) Warum? → Ballungsgebiete

- Hochtemperatur - Leiterseile ermöglichen Überbrückung von Kapazitätsengpässen
 ↳ da hohe Verluste bei hohen Temperaturen

$T_{max} \approx 200^\circ\text{C}$
 statt 80°C
 (beachtliche Durchhang)

- Mittelspannungskabel haben ein günstigeres Übertragungsverhalten als Freileitungen (MS), weil Spannungsverluste bei Kabel geringer, da kleineres R
- Bei Höchstspannung ist die Übertragungslänge von Kabeln stark eingeschränkt (Warum?) ggü. Freileitung

↑
 Warum?

- Bzgl. Verfügbarkeit sind Freileitungen ggü. Kabeln von Vorteil

↳ Kabel haben eine geringere Ausfallhäufigkeit aber eine hohe Ausfalldauer } ⇒ Kabel schlechter

- Alternativen zu Kabeln Warum? (im Vgl.)
 ↳ Gasisolierte Leitungen (geringere Kapazität, 10x teurer) → geringerer Blindleistungsbedarf
- ↳ Supraleitende Kabel (in Kinderschuh) (Füllmedium: flüssiger Stickstoff)

↳ warmes Dielektrikum } kommt drauf an ob
 ↳ kaltes Dielektrikum } Dielektrikum mit gekühlt wird mit flüssigem Stickstoff

Prinzip:

28

an allen Einführungen
Überspannungsableiter

① Anzapfung
vorwählen

12 Leistungstransformatoren

Stufenschalter

Abfall an Trafotf Leitungen
(Vgl. EVS) [X_{ges}]

② Schalten
③ dabei Windungen
über R kurzgeschlossen

↳ zur Spannungshaltung (Lastschwankungen Netz)

↳ Grob- / Feinstufen (27 Stufen) $\pm 16\%$ regelbar

↳ sitzt auf OS, da dort Ströme geringer (kleine
Windungszahl
geschaltet
höher liegt!)

• Warum Kurzschlussleistung relativ hoch?

↳ Weil sonst Kurzschlussleistung zu hoch wird!
↳ bzw Kurzschlussstrom zu groß ($\approx$ Nennstrom)

Yd

Ausgl.wicklung

Bei einem
200 MVA-Trafo

$P_0 \approx 60 \text{ kW}$

$P_K \approx 400 \text{ kW}$

Warum $P_K > P_0$

• Wozu Ausgleichswicklung? (= Leerlaufwicklung)

↳ höhere Sternpunktbelastbarkeit (beim
einphasigen Kurzschluss) [allg. unsym.
Belastung] } dann mehr
hears
gefährd.!

↳ Eigenbedarf und Kompensationsanlagen
(dann auf jeden Fall ausgeführt)

• Vorteil 5-Schenkel-Dreiphasentrafo?

⇒ niedrigere Bauhöhe (Transport) [mit Bahn]

• Wicklungsarten (2x)

↳ Lagenwicklung

↳ Nachteil höhere Isolation
da Spannungen zw.
Lagen höher

↳ Spulenvicklung
(= Stanzwicklung)

• Wicklungsanordnung

Kern | NS | OS | Grobstufe | Feinstufe

Stufensteller

o eingelegt in Kessel

Öl brennbar

↳ Öl-Papier-Isolation

↳ Isolation

↳ Wärmeabfuhr

o Kern besteht aus Isolierten Blechen mit
Dicke 0,23 - 0,35 mm

Stapel bedingt
=> E-Feld
glatter!



da Wechselstrom
: Ruhemagnetismus

↳ Kein Massivkupfer, da sonst Selbstinduktion
auftritt => Kern würde glühen (Kreisströme)
[Wirbelstromverluste] [Kernverluste]

um Wirbelstromverluste
zu minimieren

Vgl. ET III

Wie
gestapelt?

o Warum Leerlaufverluste geringer als
Kurzschlussverluste?

=> Im Kurzschlussfall fließen höhere Ströme
(~~aber~~ Querelemente quasi kurzgeschlossen)

o 5-Schenkel-Drehstromtransformator

Alle Schenkel gl. groß? => Nein, wegen magh. Fluss? Ja!
(äußere Kl. kleiner)

13 Störungsgeschehen von Betriebsmitteln der Elektrizitätsversorgung

- für Asset-Management relevant: (3x)
Leistungsschalter, Transformator, Trennschalter
 da nur diese nennenswerte Schadensanteile haben
- häufigste Schadensursache:
 - beim Transformator: Leckagen
 - beim Kabel: fremde Einwirkung Bagger
 - bei Freileitung: fremde Einwirkung (Bäume, Fluggeräte)
 - beim Vakuumschalter: ^{minderung} elektr./mech. Eigenschaften
 - ↳ Schäden am Antrieb Undichtigkeiten
 - ↳ Abbrand an Kontakten
- Häufigkeit
Bei 1000 Vakuumschaltern 1 Fehler pro Jahr