

# 1 Leitungen und Netze

## 1.1 Bauformen

### 1.1.1 Betriebsgrößen, Begriffe

1. *Welche Spannungsebenen werden in der elektrischen Energieübertragung unterschieden: Nennen Sie die Spannungsbereiche und die jeweilige Anwendung.*

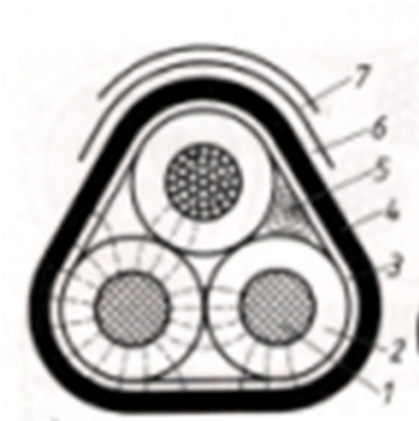
Spannungsbereich	Nennspannung	Anwendung
Niederspannung	Bis 1kV, typisch 400V	Kleinverbraucher und Haushalte, Lokal, Photovoltaik
Mittelspannung	typisch (3/6/10/15/20/30) kV	Großabnehmer, Stadtversorgung, Regional
Hochspannung	typisch (60/110) kV	Stadt- und Überlandversorgung, Überregional
Höchstspannung	typisch (220/380/500/700) kV	Großraumversorgung, Verbundwirtschaft, International

2. *Welchem Spannungsbereich wird die Nennspannung 110kV zugeordnet?*  
Hochspannung
3. *Welchem Spannungsbereich wird die Nennspannung 60kV zugeordnet?*  
Hochspannung

### 1.1.2 Kabel

1. *Warum werden bei höheren Spannungen bevorzugt Einleiterkabel eingesetzt?*  
Die Abstände zwischen den Kabeln sind größer als bei Mehrleiterkabel → kleinere elektrische Felder

## 2. Radialfeldkabel, Gürtelkabel: Beschreibung, Skizze



### Aufbau eines Gürtelkabels:

- 1 ... Leiter
- 2 ... Leiterisolierung
- 3 ... Gürtelisolierung zur Bündelung der Leiter
- 4 ... Metallmantel (früher Blei, heute Aluminium)
- 5 ... Beilauf (Isoliermaterial zur Füllung der Hohlräume/Zwickel)
- 6 ... Bewehrung (Bandstahl oder Flach- bzw. Runddraht zum Schutz gegen mechanische Beschädigung)
- 7 ... Außenhülle (asphalterte Jute oder Kunststoff)

Strichliert dargestellt: Feldlinien des el. Feldes



### Aufbau eines Dreimantelkabels:

- 1 bis 7... siehe Gürtelkabel
- 8 ... Metall- oder Carbonpapier
- 9 ... Metallumspinnung
- 10... Innenhülle

Strichliert dargestellt: Feldlinien des elektrischen Feldes

## 3. Skizzieren und beschreiben Sie den Aufbau eines Radialfeldkabels. Zeichnen Sie in die Skizze die Feldlinien des elektrischen Feldes ein zu einem Zeitpunkt $t$ mit $U_1(t) = \text{Scheitelwert von } U$ und $U_2(t) = U_3(t) = -1/2 * \text{Scheitelwert von } U$

- Einsatz für höhere Spannungen möglich
- Dreimantelkabel von 15kV bis 30kV; Einleiterkabel bis 60kV (kleinere Durchmesser bei diesem Ausmaß)
- Der radialsymmetrischen Feldverlauf wird durch die einzelnen Leiterisolierungen mit Metallpapier (Hochstädter-Kabel) erreicht, während beim Mehrmantel- oder Dreimantelkabel jeder Leiter von einem eigenen Metallmantel umgeben ist
- Größte Flussdichte und Feldverzerrung des elektrischen Feldes tritt an der Oberfläche des mehrdrähtigen Leiters auf
- Leitfähigen Papierlagen oder Kunststoff zwischen Leiter und Aderisolierung für gleichmäßigen Feldverlauf

4. *Skizzieren und beschreiben Sie den Aufbau eines Gürtelkabels. Zeichnen Sie in die Skizze die Feldlinien des elektrischen Feldes ein zu einem Zeitpunkt  $t$  mit  $U_1(t)$ =Scheitelwert von  $U$  und  $U_2(t)=U_3(t)=-1/2$ \*Scheitelwert von  $U$* 
  - Einsatz bis 10kV
  - Elektrische Feld verläuft durch die durchschlagsfeste Leiterisolierung und verbleibenden Zwickel. Trotz Befüllung der Zwickel mit durchschlagsfester Leiterisolierung verbleiben Hohlräume, in welcher bei zu hoher Leiterspannung Teilentladungen auftreten und mit der Zeit zur Zerstörung der Leiterisolierung führen
  - Isoliermaterial: Ölgetränktes Papier
5. *Nennen Sie Gründe für die zunehmende Verwendung von kunststoffisolierten Kabeln.*

PVC (Polyvinylchlorid – bis zu 10kV) • nicht hygroskopisch, auf Metallmantel kann dadurch verzichtet werden

  - Gute chemische Beständigkeit
  - Geringes Gewicht, biegsam
  - Durchschlagsfest
  - Verhältnismäßig große dielektrische Verluste

VPE (Vernetztes Polyäthylen – bis zu 400kV)

  - Vorteile wie PVC
  - Geringe dielektrische Verluste
  - Sagenhafte thermische Eigenschaften
6. *Was versteht man unter "Massekabel" und welche Vor- und Nachteile sind hierbei zu berücksichtigen?*

Kabeln, bei der die Leiterisolierung aus mehreren Lagen Papier besteht, die mit Isolieröl getränkt wird

Vorteile:

  - Geringe dielektrische Verluste

Nachteile:

  - Gefahr von Teilentladungen durch Hohlraumbildung und Abwanderung von Tränkmasse; Schutz durch aufwändige Kabelverschlüsse und Verlegevorschriften (keine senkrechte Verlegung!)
  - Hygroskopische Eigenschaft
  - Starr, schwer zu verlegen
  - Schwer
7. *Welches Isoliermaterial wird gegenwärtig vorwiegend in Kabeln von Mittel- und Hochspannungsnetzen eingesetzt und welche Vorteile bietet es gegenüber Massekabeln?*

Kunststoffisolierung aus VPE  
(Vorteile siehe Fragestellung 7)
8. *Welche Ursachen führen zur Hohlraumbildung in einer Isolation bei Massekabeln? Was kann man dagegen vorsehen?*

Tränkmasse wandert ab, weil das Kabel zu steil verlegt wird.  
Kabel müssen streng nach Vorschrift verlegt werden, Tränkmassetrichter?????

9. *Welche Gefahr entsteht durch die Bildung von Hohlräumen in der Isolation von Kabeln?*
  - Die Isolationsfähigkeit ist nicht mehr gegeben, es kann zu Durchschlägen kommen
  - Schlechtere thermische Eigenschaften, da Luft sich bei Wärme ausdehnt kann weiteres Ölgemisch vertrieben werden oder eine der darüberliegenden Schicht beschädigt werden.

**TODO: Kapazität**
10. *Warum werden in Steilhängen bevorzugt kunststoffisolierte Kabel eingesetzt?*  
Bei Massekabeln würde die Tränkmasse abwandern. Weiterhin haben Kunststoffkabel eine höhere Flexibilität, niedriges Gewicht, bessere chemische Beständigkeit etc.
11. *Warum werden papierisolierte Kabel mit einem Mantel aus Blei oder Aluminium ausgerüstet?*  
Dadurch kann man eine gleichmäßige Feldverteilung erzielen.
12. *Was versteht man unter Dielektrizitätsverlusten bei Hochspannungskabeln und wie sind diese bei der Auswahl der Kabel für die jeweilige Energieübertragung zu berücksichtigen?*  
Die ständige Umpolung der ortsfesten elektrischen Dipole in der Isolation, durch das elektrische Feld, bei Wechselspannung erzeugt eine Erwärmung.  
Kabelauswahl:
  - PVC bis 10kV
  - VPE bis 400kV
13. *Welche el. Größe (Strom, Spannung) ist für die Dielektrizitätsverluste hauptverantwortlich*  
Die Größe der Dielektrizitätsverluste ist abhängig von der Spannung und der dielektrischen Verlustzahl des Isolierstoffs.

### 1.1.3 Kabelerwärmung

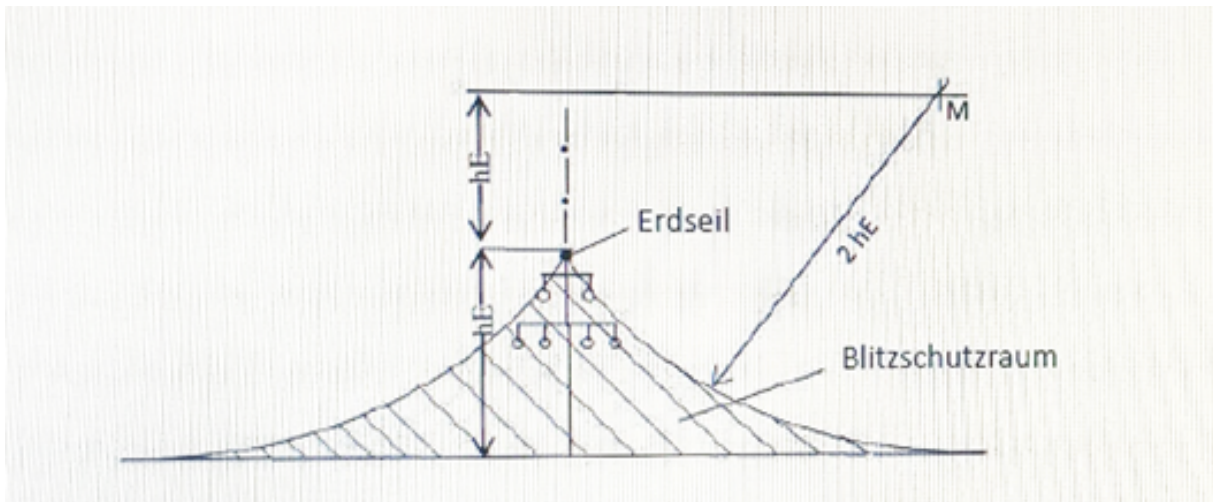
1. *Welche elektrischen Verluste eines Kabels in Mittel und Hochspannungsnetzen führen zur Dauererwärmung?*  
Dielektrizitätsverluste
2. *Gehören Dielektrizitätsverluste zu den Stromwärmeverlusten? (Ja oder Nein, Begründen Sie ihre Antwort)*  
Nein. Die Stromwärmeverluste wird durch den Stromfluss im Leiter aufgrund der Verlustleistung im wirksamen Leiterwiderstand Erwärmung hervorgerufen, während die Dielektrizitätsverluste durch die ständige Umpolung der ortsfesten elektrischer Dipole in der Isolation durch das elektrische Feld bei Wechselspannung Erwärmung hervorgerufen wird.
3. *Welche Widerstände sind bei der Berechnung der Stromwärmeverluste eines Kabels in Mittel- und Hochspannungsnetzen zu berücksichtigen?*

Gleichstromwiderstand  $R$  und dem Zusatzwiderstand  $\delta R$  (aus Skineffekt und Mantelverlusten)  $R_W = R + \delta R$ ,  $R = \rho \cdot l/A$ ,  $\delta R \dots$  aus Tabelle

4. *Welche Belastungen sind bei der Dimensionierung von Kabeln hinsichtlich Wärmebeständigkeit zu berücksichtigen? (Erklären Sie zu jeder genannten Belastung jeweils kurz die Ursache dieser Belastung)*  
Dauerbelastbarkeit:
  - Durch den Betriebsstrom im Normalbetrieb – Stromwärmeverluste/DielektrizitätsverlusteKurzerwärmung:
  - durch einen Überstrom oder Kurzschluss bis zur Abschaltung des Überstromschutzorgans und daraus hervorgerufener Stromwärmeverluste
5. *Was versteht man unter dem „Skineffekt“ bei einer Energieübertragungsleitung und wie wird er in der Berechnung berücksichtigt?*  
Sie ist ein physikalisches Phänomen, das in elektrischen Leitern, insbesondere bei hohen Frequenzen, auftritt. Er führt dazu, dass elektrischer Strom dazu neigt, an der Oberfläche des Leiters zu fließen, anstatt gleichmäßig im gesamten Querschnitt des Leiters verteilt zu werden. Der Skineffekt wird in der Berechnung durch  $\Delta R$  berücksichtigt.
6. *Was versteht man unter „Mantelverlusten“ bei Kabeln und wie werden sie in der Berechnung berücksichtigt?*  
Mantelverluste bezieht sich auf Verluste, die in einem elektrischen oder elektronischen System auftreten, wenn Wirbelströme im Metallmantel oder Bewehrung entstehen. Die Mantelverluste werden gleich wie die Verluste durch den Skineffekt durch  $\Delta R$  beschrieben.

#### 1.1.4 Freileitung

1. *Welche Aufgabe hat das Erdseil bei Freileitungen?*  
Blitzschutz, Verbindung der Erder aller Masten (Potenzialausgleich)
2. *Wie erfolgt die Masterdung bei Freileitungsmasten, wozu dient die Masterdung?*  
Als Erder werden Ring- oder Strahlenförmig in Erde verlegte Bandeisen oder tief in das Erdreich eingetriebene Tiefenerder verwendet.
  - Erd- und Erdkurzschlussströme durch Isolatorüberschlag abzuleiten
  - Erd- oder Blitzschutzseil mit der Erde zu verbinden
3. *Wie ist der Blitzschutzraum bei Freileitungsmasten definiert*
4. *Welche Maßnahmen werden bei Freileitungen verwendet, um Teilentladungen (Korona) durch zu hohe Randfeldstärke zu vermeiden?*
  - Querschnittvergrößerung (bei Mittel- und teilw. Hochspannungsleitungen)
  - Bündelleiter
5. *Warum und unter welchen Bedingungen werden Freileitungen als Bündelleiter ausgeführt?*  
Um Teilentladungen – auch Koronaentladung genannt, die zur Störgeräuschen, elektromagnetische Störung und Verlustleistung führt – zu vermeiden



6. Welche Aufgabe haben die Lichtbogenarmaturen an Isolatorketten von Freileitungen?

Sie erfüllen die Aufgaben:

- Verbinden von Mast, Seil und Isolatoren
- Lichtbogenschutz: Um bei Isolatorüberschlag die Glimmentladung und den Lichtbogen vom Porzellan fernzuhalten

7. Was ist bei der Wahl der Aufhängungspunkte und des Durchhanges zu beachten?

Der Seildurchhang ist so einzustellen, dass die Höchstzugspannung in den Aufhängungspunkten auch bei klimatischen Grenzbedingungen (Windlast, Temperatur, Eislast) nicht erreicht wird. Die Abstände der Leiter zueinander sowie zwischen Leiter und geerdeten Teilen (z.B. Mast, Traverse) muss so groß sein, dass bei Schwingen durch Wind ein Zusammenschlagen oder eine Annäherung bis zum Überschlag nicht erfolgt. Schutz vor zufällige Berührung:

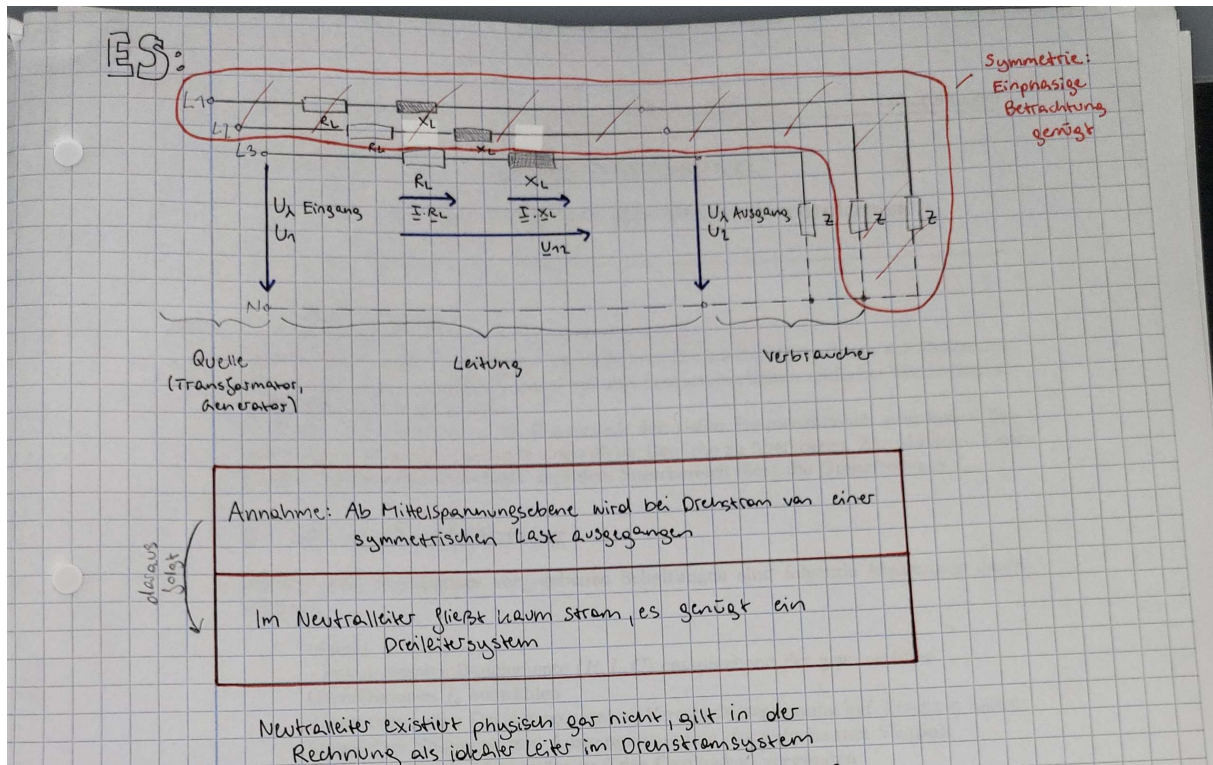
- UN = 110kV: Abstand zum Erdboden  $\geq 6\text{m}$
- UN = 220kV: Abstand zum Erdboden  $\geq 6,75\text{m}$
- UN = 380kV: Abstand zum Erdboden  $\geq 7,8\text{m}$

## 1.2 Berechnungen

### 1.2.1 Leitungsnachbildung

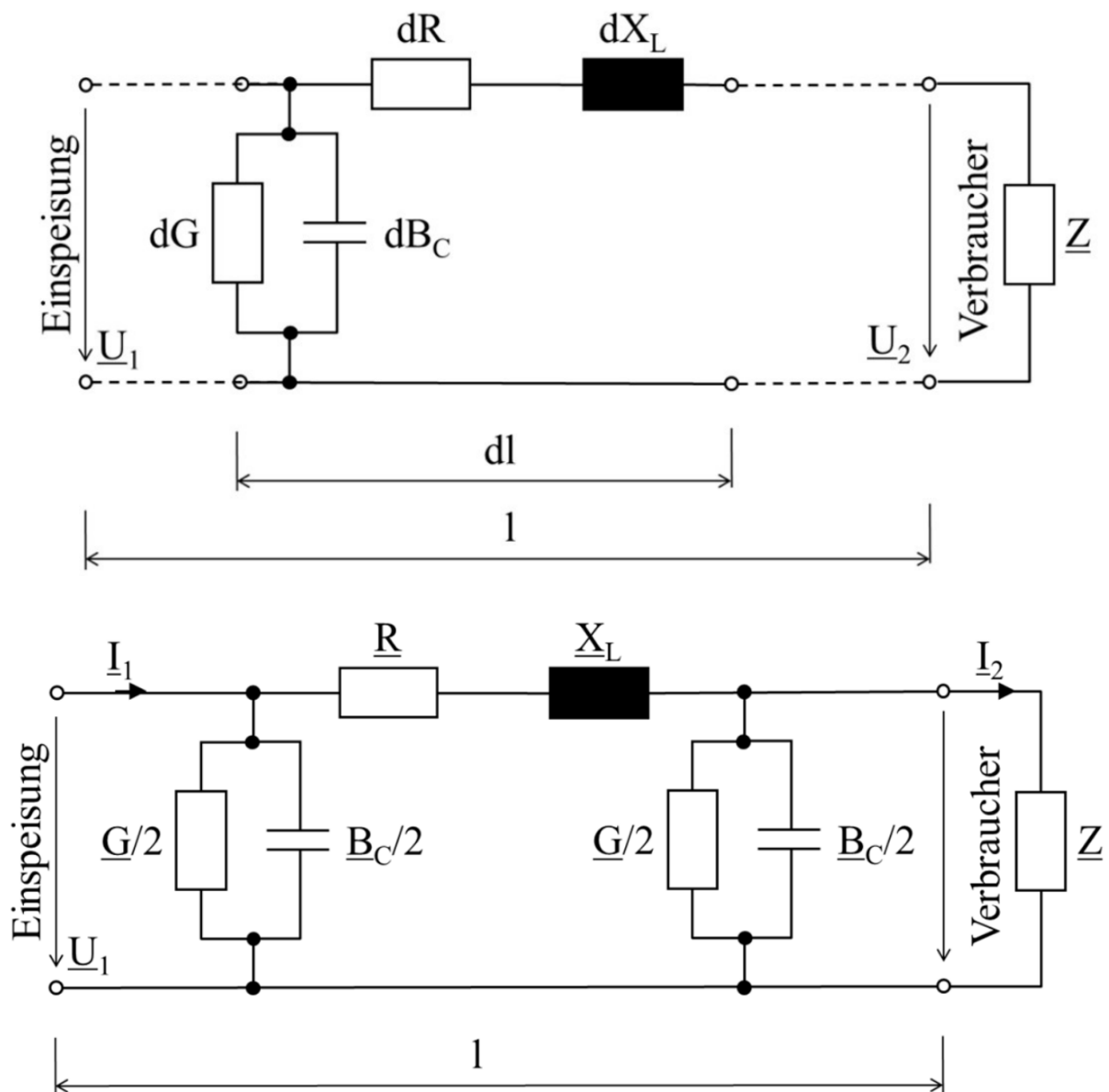
1. Zeichnen Sie das vereinfachte einphasige Ersatzschaltbild einer symmetrisch betriebenen Drehstromleitung mit konzentrierten Längsimpedanzen
2. Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild einer symmetrisch betriebenen Drehstromleitung mit konzentrierten Längsimpedanzen und der Queradmittanz konzentriert am Leitungsende (T-Halbglied)
3. Zeichnen Sie das einphasige Ersatzschaltbild einer symmetrisch betriebenen Drehstromleitung mit konzentrierten Längsimpedanzen und der Queradmittanz konzentriert am Leitungsanfang und -ende (II-Glied)
4. Erklären Sie den Unterschied zwischen  $\Delta U$  und  $U_{12}$  anhand des Zeigerdiagrammes eines Nieder- und Mittelspannungsnetzes für eine einseitig gespeiste Leitung mit





einer Abnahme

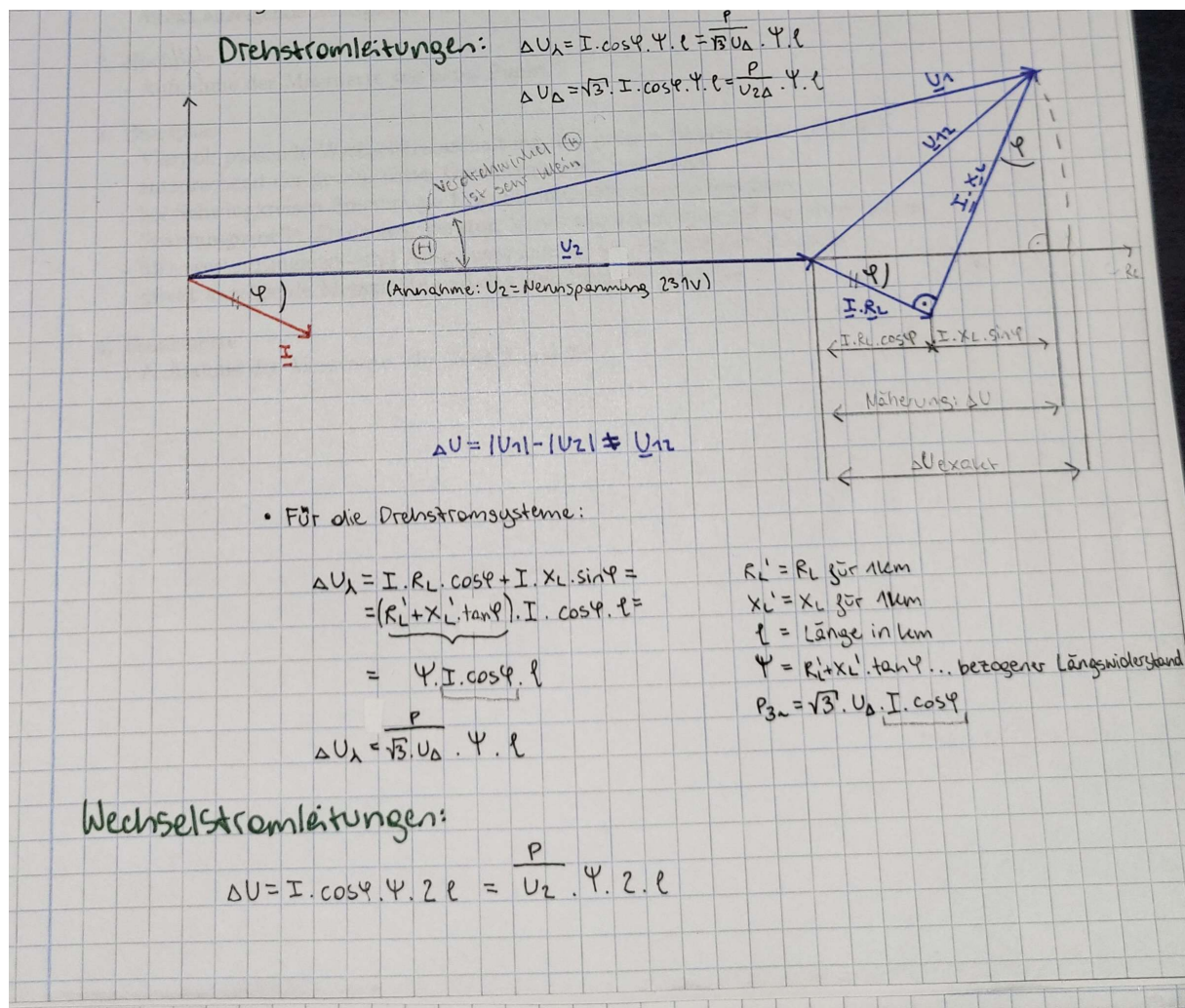
5. Was versteht man unter dem Widerstandsbelag einer Leitung?  
 $R'$  in  $\Omega/\text{km}$
6. Weshalb besitzen elektrische Leitungen eine Kapazität?  
**TODO**
7. Unter welchen Bedingungen kann die Leitungskapazität von Netzen vernachlässigt werden, wann ist sie zu berücksichtigen?  
Für elektrisch kurze Leitungen (Freileitungslänge unter 100km) und Betrieb bei Normallast kann sowohl der Wirkleitwert  $G$  als auch die Betriebskapazität  $B_C$  vernachlässigt werden, sonst muss sie berücksichtigt werden.
8. Unter welchen Bedingungen kann der Wirkleitwert von Netzen vernachlässigt werden, wann ist sie zu berücksichtigen?  
Für elektrisch kurze Leitungen (Freileitungslänge unter 100km) und Betrieb bei Normallast kann sowohl der Wirkleitwert  $G$  als auch die Betriebskapazität  $B_C$  vernachlässigt werden.
9. Unter welchen Bedingungen kann es zu Spannungserhöhungen am Ende einer Leitung kommen?  
Photovoltaik



### 1.3 Wirr-Warr vom freundchen Mühlbacher ohne wirkliche Fragen (eigentlich der Stoff + seine PDF + Zeugs das man wissen sollte, keine Ahnung)

Einseitig gesp. Leitung mit einer Abnahme  
 Einseitig gesp. Leitung mit verteilter Abnahme  
 Einseitig gesp. Verzweigte Leitung  
 Zweiseitig gesp. Leitung  
 Vermaschtes Netz  
 (komplexe Lastflussber.)  
 Erd- und Kurzschluss  
 Sternpunktbehandlung  
 Sternpunktschaltung  
 Kurzschlussfestigkeit,





Überspannungsschutz, Isolationskoordination  
 Entstehung von Überspannungen  
 Schutzeinrichtungen gegen Überspannungen