

Netzwerke und Schaltungen Übungsstunde Woche 4

Name

ppeterse@student.ethz.ch

8. Oktober 2026



Beispielformelsammlung jetzt verfügbar auf moodle

Erlaubte Hilfsmittel an
Prüfung:

Buch Albach "Elektrotechnik"

Wörterbücher

einfacher Taschenrechner erlaubt

**Formelsammlung (max. 2 Seiten
A4 = 1 Blatt), - KEINE Notizen zu
Übungen und alten Klausuren auf
den Hilfsmitteln.**

Informationen

Ablauf einer typischen Woche:

- bis Sonntag 18:00: Lesen des angegebenen Abschnitts im Buch für diese Woche und Beantworten der Lesekontrollfragen im Moodle
- Montag 10:15 - 12:00: Vorlesung im ETF C1
- Mittwoch 12:00 - 14:00 ab der zweiten Semesterwoche: Study Center im GLC E29.2 (andere Study Center sind im: GLC E24 - Technische Mechanik, GLC E29.1 - Digitaltechnik, GLC E34.1 Lineare Algebra, GLC E34.2 Analysis 1, zur selben Zeit), Tutor*innen sind vor Ort zum Fragen beantworten (WER AUF DER SUCHE NACH EINER LERNGRUPPE IST, KANN HIER AUF GLEICHGESINNTE TREFFEN!)
- Donnerstag 10:15 - 12:00: Übungsstunde mit Tutor*in in den jeweiligen Übungsräumen
- bis Sonntag 18:00: Abgabe der Bonusaufgaben in Moodle der letzten Woche

Informationen zur Vorlesungsaufzeichnung:

Es wird für die Vorlesung kein Live-Stream angeboten. Es wird die Präsenzteilnahme erwartet, da innerhalb der Vorlesung der Fokus auf Interaktion (Clickerfragen und Diskussionsrunden) und Veranschaulichung durch Experimente liegt.

 Erlaubte Taschenrechner für Klausur

 Infoblatt Signifikante Stellen

 Infoblatt Elektrische Generatoren Gruppenprojekt

 Verfügbar ab 28. September 2026, 10:15

 Formelsammlung

 Verfügbar ab 8. Oktober 2026, 10:00

Beispiel 1.1 – Stromdichteverteilung – Lösung

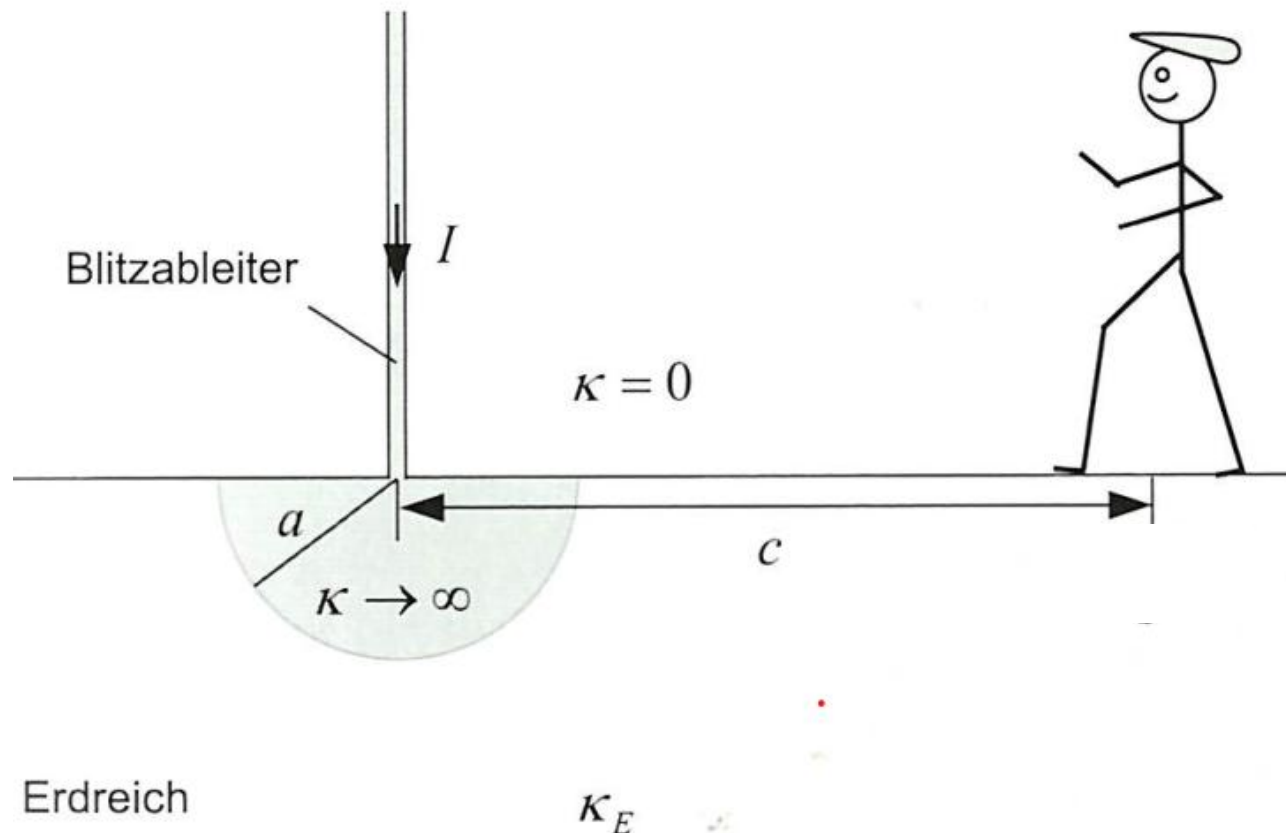
Ein Blitzableiter ist in Form eines halbkugelförmigen Erders in den Boden eingelassen worden.

Schlüsselkonzepte

Der elektrische Strom (Kap. 2.1)

Berechnet die Stromdichte $\vec{J}(\vec{r})$

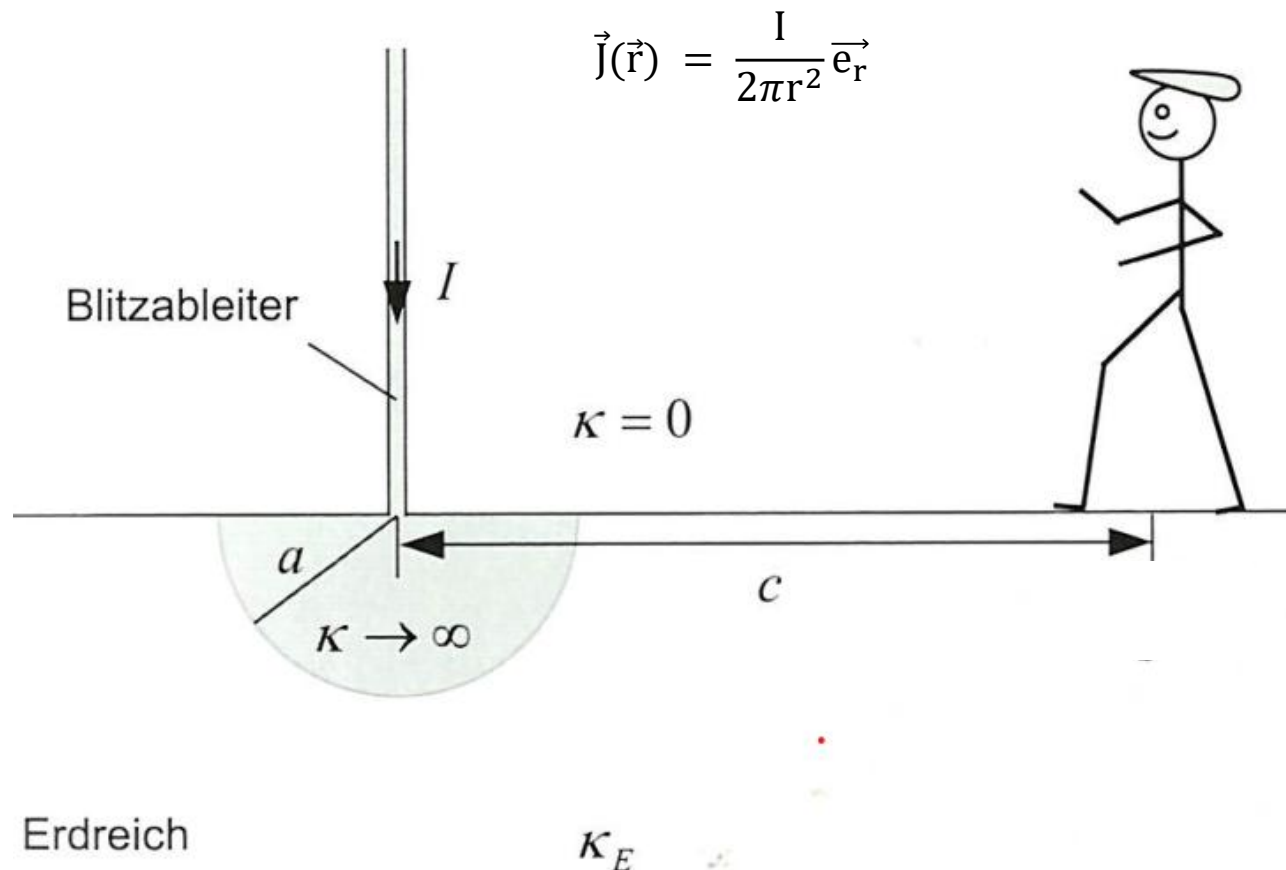
Ansatz: Der Strom fließt senkrecht zur Fläche und die Stromdichte ist homogen über die Fläche verteilt.



$$A(r) = 2\pi r^2$$
$$\vec{J}(\vec{r}) = \frac{I}{2\pi r^2} \vec{e}_r$$

Beispiel 1.2 – Das Ohm'sche Gesetz – Lösung

Ein Blitzableiter ist in Form eines halbkugelförmigen Erders in den Boden eingelassen worden.



Schlüsselkonzepte

Das Ohm'sche Gesetz (Kap. 2.6)

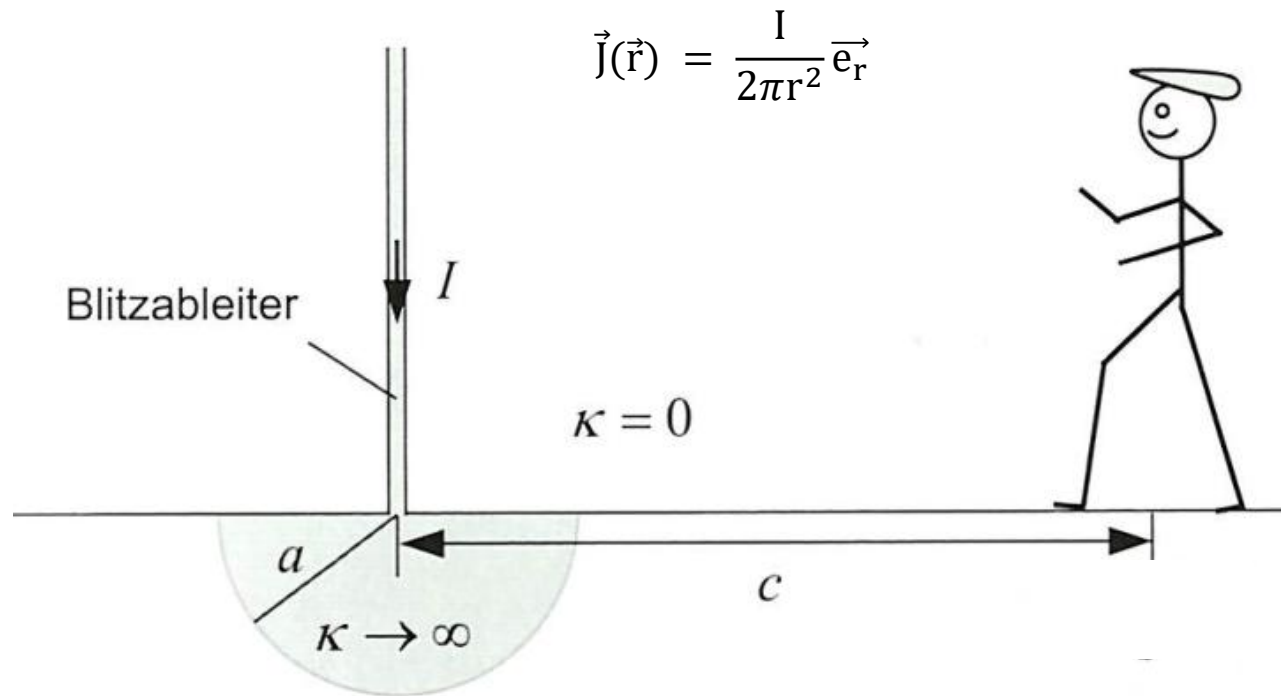
(Differenzielle Form)

Wie gross ist das elektrische Feld ...

- ... innerhalb des Blitzableiters?
 - $\vec{E}(\vec{r}) = \vec{J}(\vec{r}) / \kappa \rightarrow 0$
- ... im Erdreich?
 - $\vec{E}(\vec{r}) = \vec{J}(\vec{r}) / \kappa_E$

Beispiel 1.3 – Das Ohm'sche Gesetz – Lösung

Ein Blitzableiter ist in Form eines halbkugelförmigen Erders in den Boden eingelassen worden.



Schlüsselkonzepte

Das Ohm'sche Gesetz (Kap. 2.6)

(Integrale Form: Zusammenhang der integralen Grössen E-Feld integriert über Länge (Spannung) und Stromdichte integriert über Fläche (Strom))

Wie gross ist die Spannung vom Blitzableiter bis zur Person?

$$U = \int_a^c \vec{J}(\vec{r}) / \kappa_E d\vec{r} = \frac{I}{2\pi\kappa_E} \int_a^c \frac{1}{r^2} dr$$

$$U = \frac{I}{2\pi\kappa_E} \left[-\frac{1}{r} \right]_a^c = \frac{I}{2\pi\kappa_E} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{c} \right)$$

Wie gross ist der zugehörige Widerstand?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{2\pi\kappa_E} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{c} \right)$$

Erdreich

κ_E

Beispiel 2.1 – Spezifische Leitfähigkeit – Lösung

Tabelle 2.1

Spezifische Leitfähigkeit κ , spezifischer Widerstand ρ_R und Temperaturkoeffizient α für verschiedene Materialien bei 20°C nach [16], [22].
Prozentuale Zusammensetzung: (1): 54 Cu, 45 Ni, 1 Mn, (2): 84 Cu, 4 Ni, 12 Mn

Leiter	$\kappa \cdot \text{m}^{-1} \Omega \text{mm}^2$	$\rho_R \cdot \text{m} \Omega^{-1} \text{mm}^{-2}$	$\alpha \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Aluminium	35	0,0287	3,8
Chromnickel	0,91	1,1	0,2
Eisen	10	0,10	6,1
Gold	44	0,022	3,9
Grafit	0,125	8	-0,2
Konstantan(1)	2	0,5	0,0035
Kupfer	56	0,0178	3,9

Schlüsselkonzepte

Spezifische Leitfähigkeit (inkl. Temperaturabhängigkeit)

Ein dünner Kupferleiter ($l = 0.10 \text{ m}$ lang, $w = 10 \text{ mm}$ breit und $t = 0.10 \text{ mm}$ hoch) wird von 20°C auf 120°C erwärmt. Berechnet:

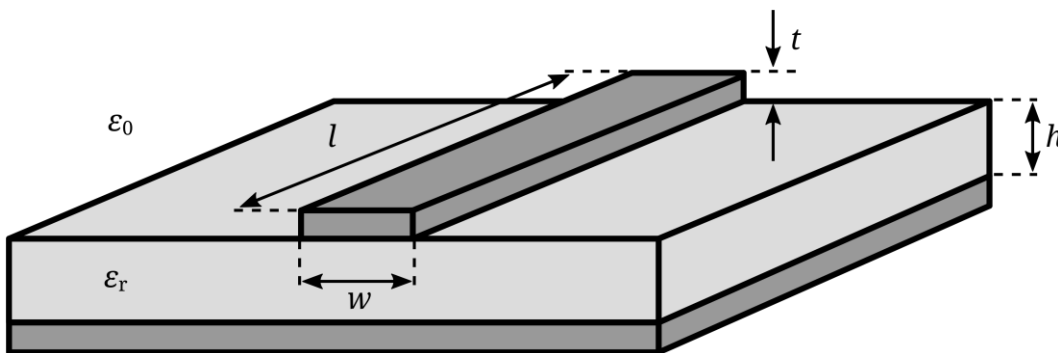
- Den Widerstand des Leiters bei 20°C

$$R = \frac{\rho_R l}{wt} \approx 1.8 \text{ m}\Omega$$

- Den Widerstand des Leiters bei 120°C

$$R = \frac{l}{wt} \rho_R (1 + \alpha \Delta T) \approx 2.5 \text{ m}\Omega$$

Auf zwei signifikante Stellen runden (siehe moodle -> Informationen -> Infoblatt Signifikante Stellen)



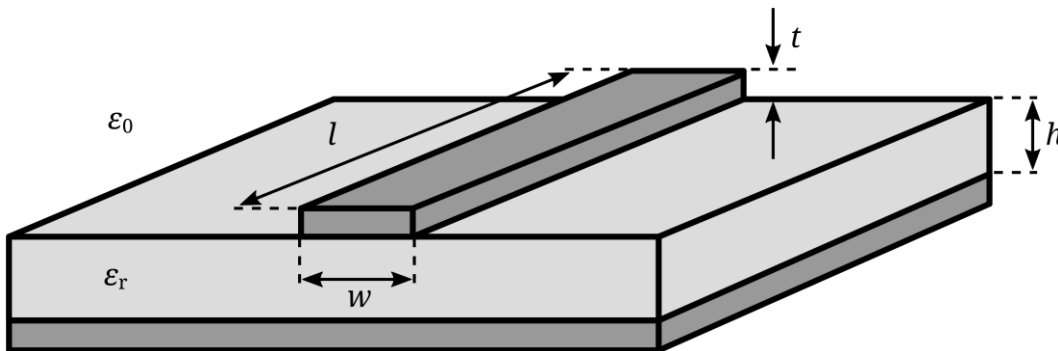
https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Microstrip_scheme.svg

Beispiel 2.2 – Energie und Leistung – Lösung

$l = 0.10 \text{ m}$ lang, $w = 10 \text{ mm}$ breit
und $t = 0.10 \text{ mm}$ hoch

$$R_{20^\circ\text{C}} \approx 1.8 \text{ m}\Omega$$

$$R_{120^\circ\text{C}} \approx 2.5 \text{ m}\Omega$$



https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Microstrip_scheme.svg

Schlüsselkonzepte

Energie und Leistung (Kap. 2.9)

Über die 20°C warme Leiterbahn wird aus Versehen eine Spannungsquelle mit 5.0 V kurzgeschlossen. Die Leiterbahn erwärmt sich. Berechnet:

- Die maximale elektrische Leistung in der Leiterbahn
 - Zwischenfrage: Welcher Widerstandswert wird in der Rechnung benutzt?

$$P = UI \quad \text{mit} \quad U = RI$$

$$P = U^2/R$$

- Der Term wird maximal, wenn der Widerstand klein ist.

$$P_{\text{max}} = \frac{U^2}{R_{20^\circ\text{C}}} \approx 14 \text{ kW}$$

↑

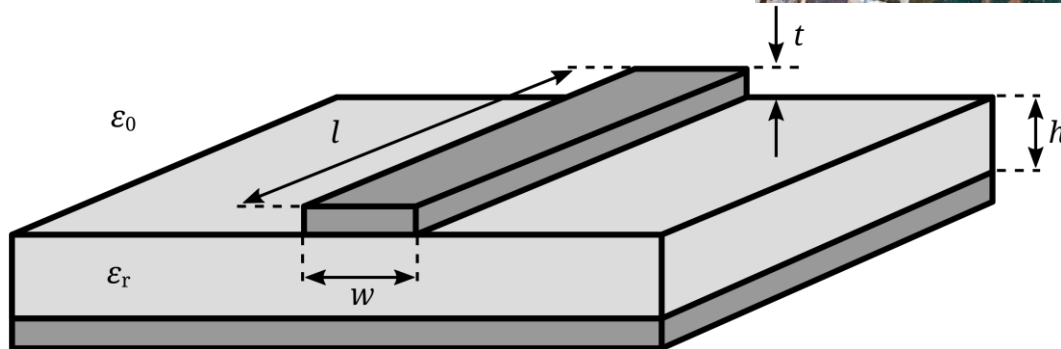
Ungerundetes Zwischenergebnis einsetzen!

Beispiel 2.3 – Energie und Leistung – Lösung

$l = 0.10 \text{ m}$ lang, $w = 10 \text{ mm}$ breit
und $t = 0.10 \text{ mm}$ hoch

$$R_{20^\circ\text{C}} \approx 1.8 \text{ m}\Omega$$
$$R_{120^\circ\text{C}} \approx 2.5 \text{ m}\Omega$$

$$P_{\text{max}} \approx 14 \text{ kW}$$



https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Microstrip_scheme.svg

Schlüsselkonzepte

Energie und Leistung (Kap. 2.9)

Wie lange dauert es, bis die Leiterbahn sich auf 120°C erwärmt hat? Annahme: Leistung ist immer maximal. Die benötigte Energie für die Erwärmung ist 36 J .

$$t = \frac{W}{P} = \frac{36 \text{ J}}{14 \text{ kW}} \approx 2.6 \text{ ms}$$

- Energie wird extrem schnell freigesetzt, wie im Drahtverdampfungsexperiment
- (Aber, normale 5 V Spannungsquellen haben viel geringere Stromlimite. Häufiger wird ein höherohmiges Bauteil beschädigt, nicht die Leiterbahn.)

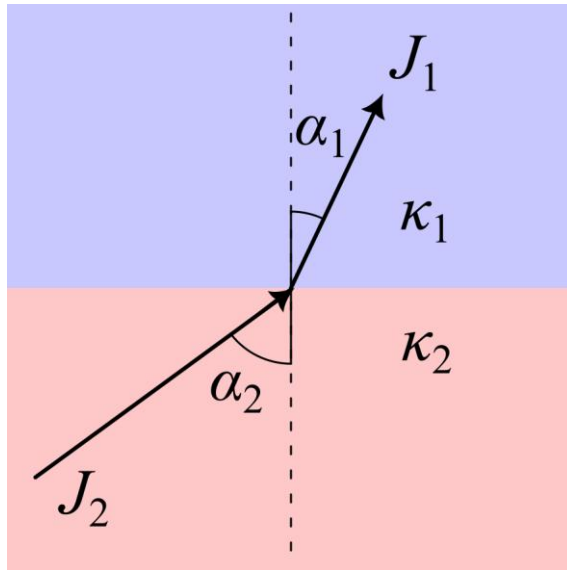
Beispiel 3.1 – Materialsprungstellen der Leitfähigkeit – Lösung

Gegeben sei die Leitfähigkeit κ_2 , der Betrag der Stromdichte $|\vec{J}_2|$, sowie die Winkel α_1 und α_2

- Berechne die Normal und Tangentialkomponente von $\vec{J}_2$
- Berechne die Leitfähigkeit κ_1
- Berechne Normal und Tangentialkomponente von $\vec{J}_1$

Lernziel

Das Verhalten der Stromdichte an Materialsprungstellen mit unterschiedlichen Leitfähigkeiten zu bestimmen.



$$J_{2n} = J_2 \cos \alpha_2 \quad J_{2t} = J_2 \sin \alpha_2$$

$$\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} \Rightarrow \kappa_1 = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} \kappa_2$$

$$J_{1n} = J_{2n} = J_2 \cos \alpha_2$$

$$\frac{J_{1t}}{J_{2t}} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} \Rightarrow J_{1t} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} J_{2t} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} J_2 \sin \alpha_2$$

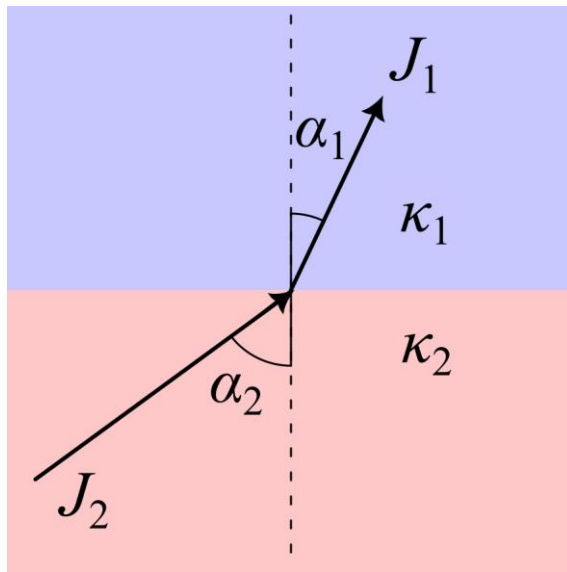
Beispiel 3.2 – Materialsprungstellen der Leitfähigkeit – Lösung

Sei nun $\kappa_1 \rightarrow 0$ und $\kappa_2 > 0$.

Was kann man über $\vec{J}_1$ und $\vec{J}_2$ aussagen?

Lernziel

Das Verhalten der Stromdichte an Materialsprungstellen mit unterschiedlichen Leitfähigkeiten zu bestimmen.



$J_{1n} = J_{1t} = 0$, da in einem nicht leitfähigen Material kein Strom fließen kann.

$J_{2n} = J_{1n} = 0$, da die Normalkomponente stetig ist.

D.h. fließt in Material 2 ein Strom, so fließt er tangential zur Oberfläche.