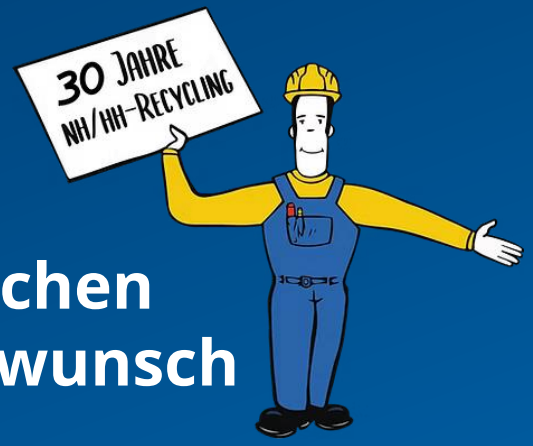
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

DRESDEN concept



Herzlichen Glückwunsch

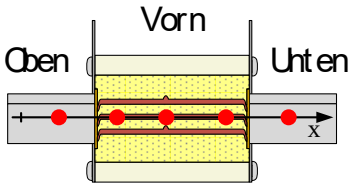
Stephan Schlegel
Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Betriebsverhalten von NH-Sicherungseinsätzen bei erhöhter thermischer Belastung

Jubiläumsveranstaltung 30 Jahre NH-HH-Recycling Verein
14. Mai 2025, Regensburg

Historie

Funktion von Schmelz-sicherungen bei erhöhter Erwärmung (**NH-HH-Recycling**)
01.04.2011 bis 13.08.2013

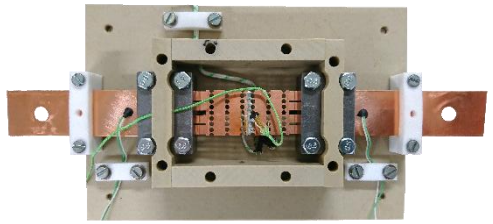


Dissertation
C. Kühnel
27.09.2019
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-705441

Dissertation
L. Büttner
03.12.2024
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-949835

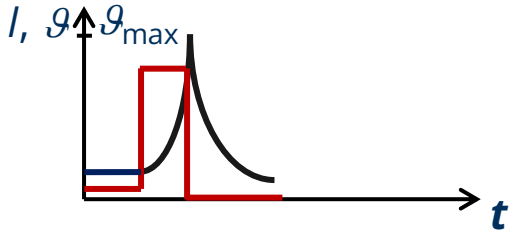
2011

BestTemp - Bestimmen der Grenztemperatur des Sicherungs-messers für einen langzeitstabilen Betrieb von gG NH-Sicherungen (**NH-HH-Recycling**)
01.01.2015 bis 31.12.2017



BestDesign - Entwicklung eines Ganzbereichs-Sicherungseinsatzes mit erhöhter Zuverlässigkeit für den Einsatz im Energieversorgungsnetz der Zukunft (ZIM-Vorhaben)
01.03.2020 bis 31.7.2023

CycleFuse - Zuverlässigkeit von Schmelzsicherungen bei hohen dynamischen Wechselbelastungen in Batteriespeichersystemen (ZIM-Vorhaben)
01.01.2025 bis **31.12.2026**



Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Historie

Geschenk des NH/HH-Recycling 2015 zur „The 10th International Conference on Electric Fuses and their Applications “ in Dresden

Methodik in der Lehre

… Umfassende Ausbildung in den Fächern der Hochspannungs- und **Hochstromtechnik**

… Module für Grundlagen, Vertiefung und Anwendung verteilt über Grund- und Hauptstudium

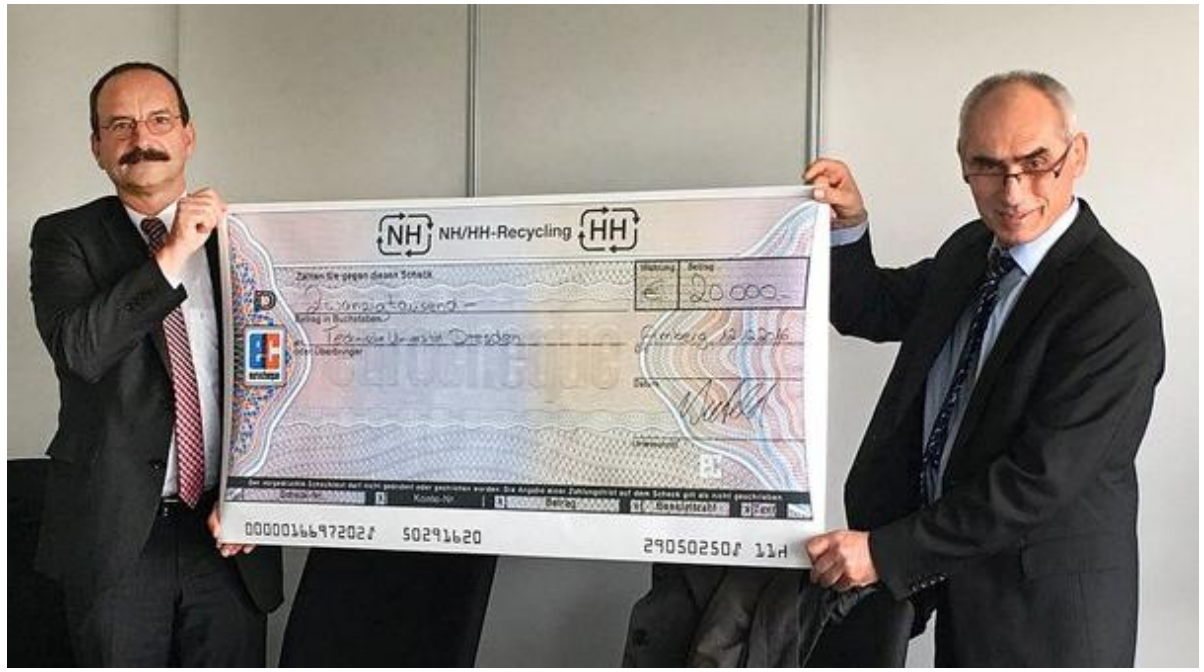
… Fächerübergreifende Kolloquien mit Beiträgen aus Akademie, Industrie und Gesellschaft

Übergabe eines Lernzirkelwagens des NH-HH-Recycling Vereins als Geschenk an die TU Dresden

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Historie

Spende NH/HH-Recycling 2016 zum „Erforschen des Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen unter extremen Klimaten“



Volker Seefeld (r.), Vorstandsvorsitzender des NH/HH-Recycling-vereins, übergibt die Spende an Prof. Dr. Steffen Großmann (l.)

Quelle: https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/die-fakultaet/aktuelles/news/spende-nhhh-recyclingverein

Regenwald bei Belém in Brasilien bis 2023

Wüste bei Ismailia und an der Mittelmeerküste bei Port Said in Ägypten

Norilsk unter dem Einfluss extremer Kälte im Winter im Norden Sibiriens

Quelle: Großmann, S., Schlegel, S.: Langzeitexperimente mit Verbindungen unter extremen klimatischen Bedingungen. 27. Albert-Keil-Kontaktseminar · 27.09.- 29.09.2023 in Karlsruhe

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Anforderungen
NH-Sicherungseinsätze (gG)

Konventioneller Betrieb

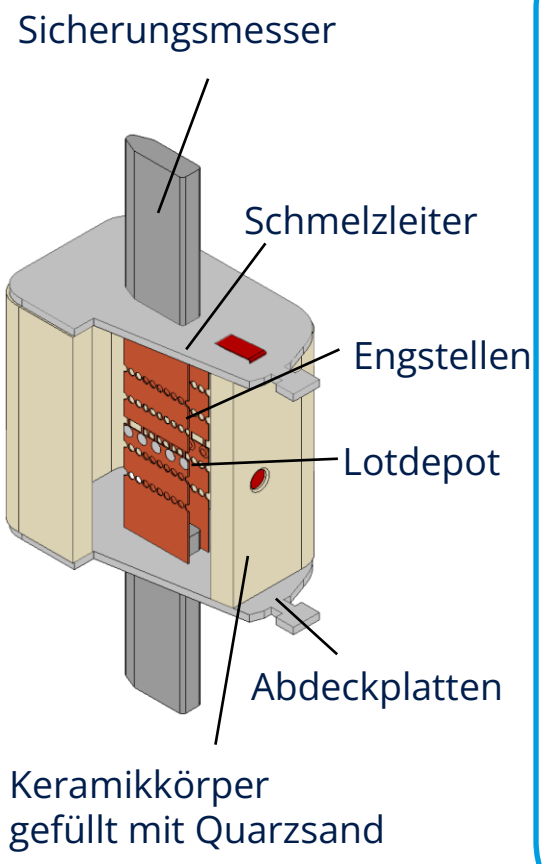
EVU-Last: mittlere Belastung von 70 % der Höchstlast

Aktuelle Randbedingungen

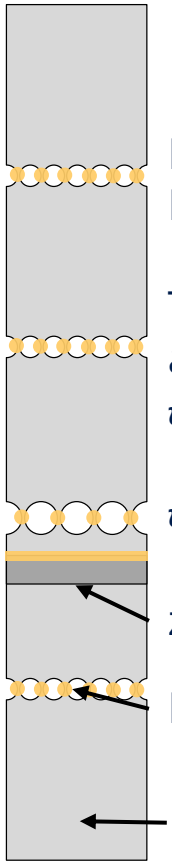
- Häufig dauerhaft hohe **Belastung im Bereich des Bemessungsstroms** der Sicherungseinsätze (z. B. Biogas-, PV-Anlagen, Batteriespeicher)
- **Schmaler Bereich** zwischen dem **Betriebs- und Fehlerstrom**
- **Volatile Strom- und Temperaturprofile im Betrieb**
- **Hohe zulässige Grenztemperaturen für angeschlossene Betriebsmittel** (z. B. DIN EN 61439-1:2012 – maximale Sammelschienentemperatur von 140 °C)
- Kompakte & gekapselte Bauweise
  → **hohe Umgebungstemperatur**
- **Substitution Pb- und Cd-haltiger Lote** (RL 2011/65/EU)

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

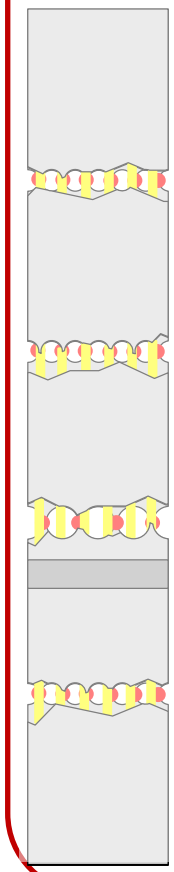
Anforderungen
NH-Sicherungseinsätze (gG)



Normalbetrieb
Zuverlässiges Stromführen



Fehlerströme
Zuverlässiges Unterbrechen des Stromkreises



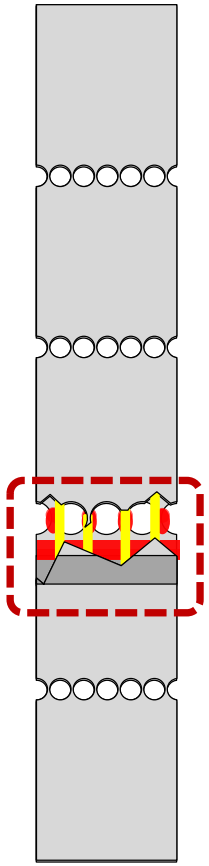
Kurzschluss

Schmelzleiter-werkstoff wird flüssig
$\vartheta_{max} > \vartheta_{Liq\ Sl}$

Aufschmelzen

Zünden des Lichtbogens

Löschen des Lichtbogens



Überströme

Zinn wird flüssig
$\vartheta_{Lot} > \vartheta_{Liq\ Lot}$

Diffusion zwischen Zinn Schmelzleiter-werkstoff

Unterbrechen

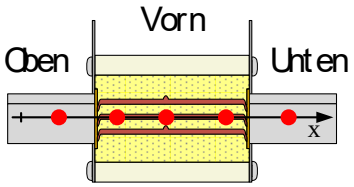
Zünden des Lichtbogens

Löschen des Lichtbogens

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungs- und Langzeitverhalten

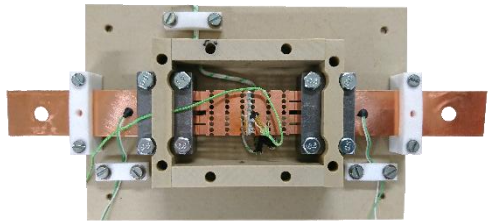
Funktion von Schmelz-sicherungen bei erhöhter Erwärmung (**NH-HH-Recycling**)
01.04.2011 bis 13.08.2013



Dissertation
C. Kühnel
27.09.2019
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-705441

2011

BestTemp - Bestimmen der Grenztemperatur des Sicherungs-messers für einen langzeitstabilen Betrieb von gG NH-Sicherungen (**NH-HH-Recycling**)
01.01.2015 bis 31.12.2017



Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungsverhalten
Funktion von Schmelzsicherungen bei erhöhter Erwärmung

Dissertation Kühnel

Ziel: Grenztemperaturen für einen langzeitstabilen Betrieb von NH-Sicherungseinsätzen (gG)
Untersuchungsgegenstand: Vier verschiedene Typen von Sicherungseinsätzen (Cu-Schmelzleiter)

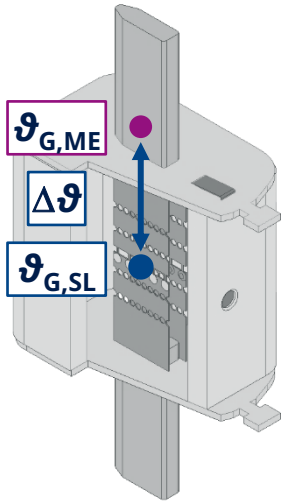
Langzeitverhalten von Schmelzleitern im Normalbetrieb und im Bereich kleiner Überströme

Altern von Schmelzleitern bei Beanspruchung unterhalb der Solidustemperatur des Lotes (Parameter: Temperatur, Belastung, Atmosphäre)

Analyse der wirkenden Alterungsmechanismen im Bereich der Engstelle mit Lotdepot

Bestimmen des Einflusses der Alterung auf die Funktion im Normalbetrieb und im Bereich kleiner Überströme

→ Physikalische Ursachen für verändertes Schaltverhalten
→ Grenztemperaturen der Schmelzleiter für ein langzeitstabiles Betriebsverhalten



Thermisches Betriebsverhalten von NH-Sicherungseinsätzen

Wärmenetzmodelle zum Berechnen der Temperaturverteilung in NH-Sicherungs-einsätzen für verschiedene Einbausituationen

Untersuchen wesentlicher Einflussparameter auf die Erwärmung und die Temperaturdifferenz zwischen Schmelzleiter und Sicherungsmesser

→ Temperaturdifferenz zwischen Schmelzleiter und Sicherungsmesser abhängig von der Einbausituation

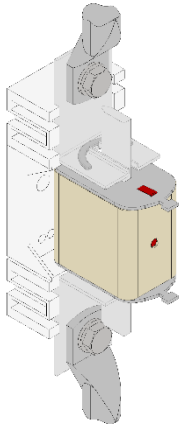
Grenztemperaturen für die Sicherungsmesser zum Bestimmen der individuell zulässigen thermischen Beanspruchung von NH-Sicherungseinsätzen (gG) in der Anwendung

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungsverhalten

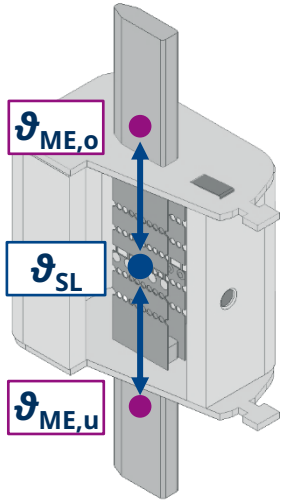
Berechnen der Erwärmung von NH-Sicherungseinsätzen

Dissertation Kühnel



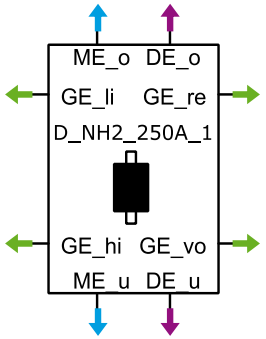
Modelle der Einbausituation

- Frei in Luft (DIN EN 60269-1:2015)
- Eingeschränkte Wärmeabgabe (Lastschaltleiste in Kabelverteilerschrank)



Parametrierbare Modelle der Sicherungseinsätze als eigenständige Netzwerkelemente:

- Geometriedaten
- Werkstoffparameter (Messwerte, Literatur- & Herstellerangaben)



Randbedingungen:

- Stationäre Strombelastung
- Umgebungstemperatur
- Temperatur der Anschlüsse

Thermische Berechnungsmodelle

Berechnung mit der Wärmenetzmethode

Abbilden der Vorgänge der Wärmeübertragung in einem elektrischem Netzwerk

Erwärmungsversuche zum Verifizieren der Berechnungsmodelle

Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ zwischen Schmelzleiter und Sicherungsmessern

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{SL} - \frac{\vartheta_{ME,o} + \vartheta_{ME,u}}{2}$$

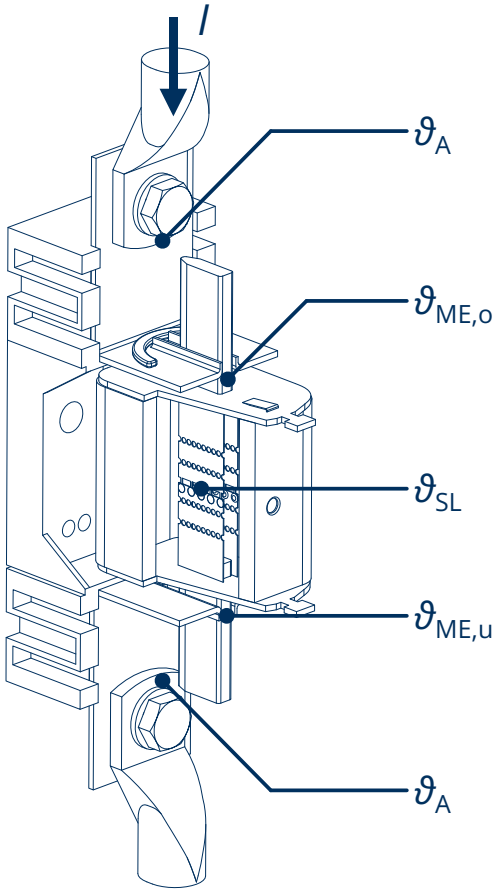
Wie ändert sich die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ abhängig von den Betriebsbedingungen?

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungsverhalten

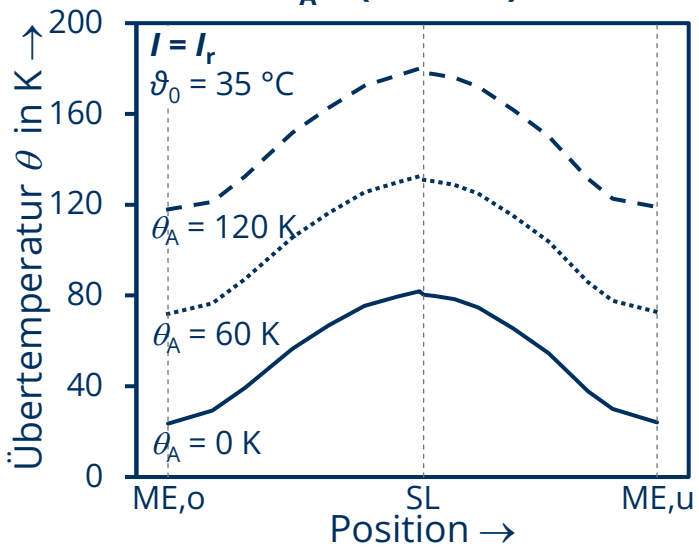
Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ - Messer und Schmelzleiter (frei in Luft)

Dissertation Kühnel

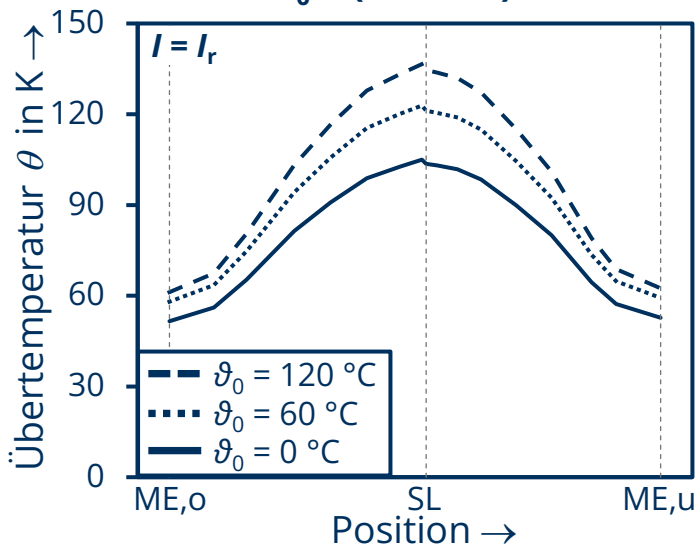


Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ für die Einbausituation nach DIN EN 60269-1:2015

Übertemperatur der Anschlüsse
θ_A = (0 … 120) K



Umgebungstemperatur
ϑ_0 = (0 … 120) °C



$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{SE}\left(\vartheta_{0,SE}\right)\cdot\left(\frac{I}{I_r}\right)^n$$

mit n = 2,4 für alle untersuchten Sicherungseinsätze
$\vartheta_{0,SE}$…Lufttemperatur in direkter Umgebung des Sicherungseinsatzes
$\Delta\vartheta_{SE}$ Temperaturdifferenz des Sicherungseinsatzes

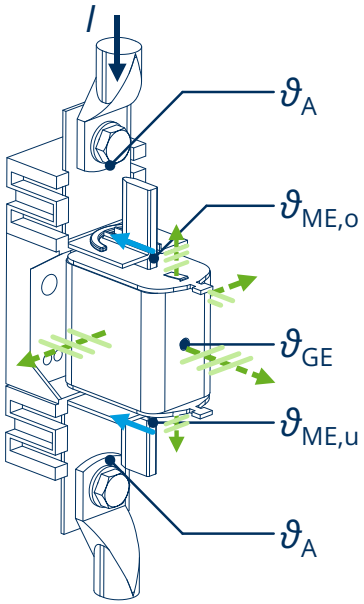
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungsverhalten

Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ - Messer und Schmelzleiter (frei in Luft)

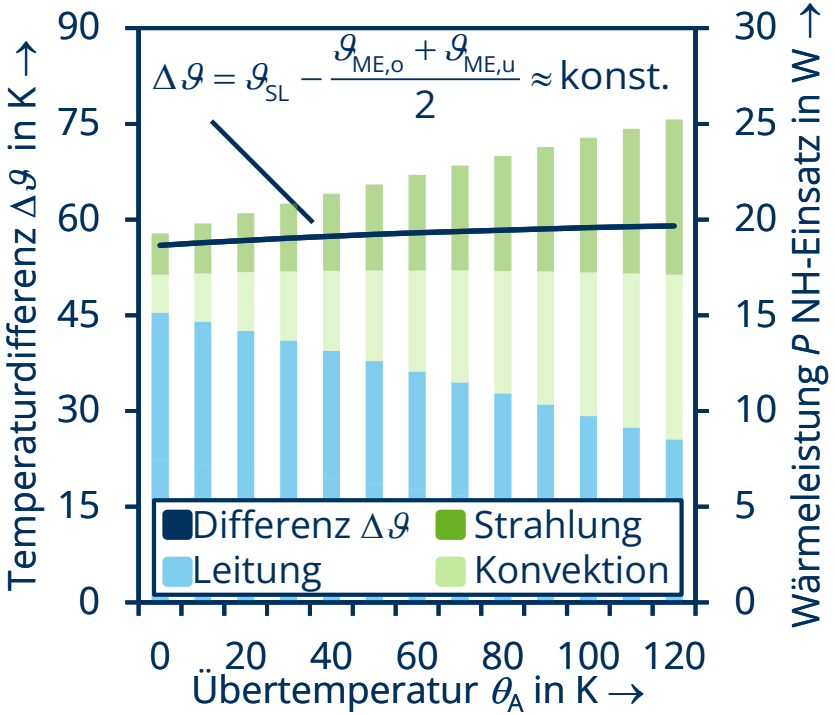
Dissertation Kühnel

Randbedingungen:
Frei in Luft
$I = I_r$ = konst.



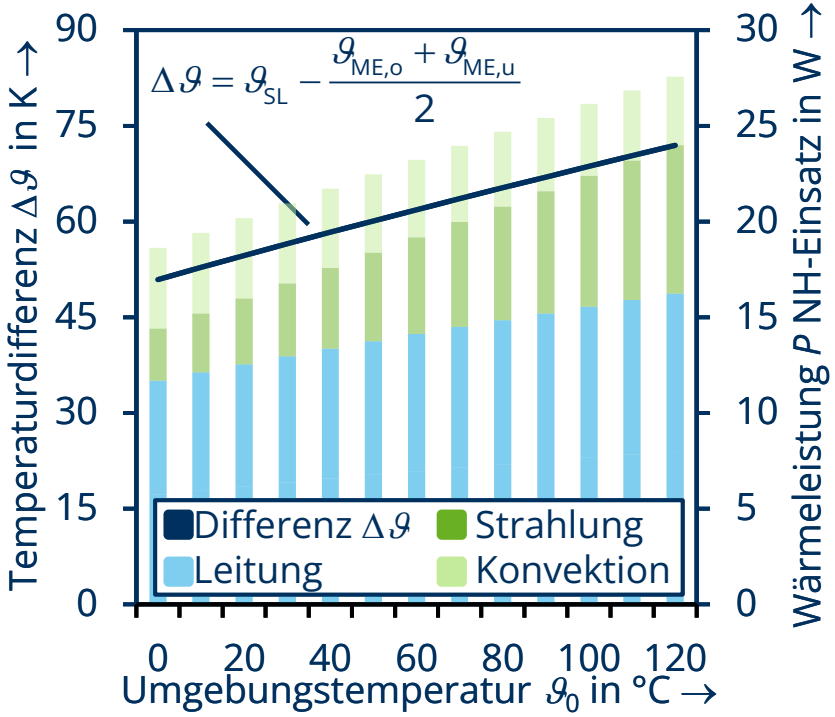
Leitung P_L
Strahlung P_S
Konvektion P_K

Übertemperatur Anschlüsse θ_A = (0 … 120) K



Änderung der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta \leq 5$ %
→ Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta \approx f(\vartheta_A)$

Umgebungstemperatur ϑ_0 = (0 … 120) °C



→ Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ wird von der Umgebungstemperatur ϑ_0 bestimmt

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Erwärmungsverhalten

Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ - Messer und Schmelzleiter (Einbau NKVS)

Dissertation Kühnel

$$\Delta\vartheta_{SE}\left(\vartheta_{0,SE}, I = I_r\right) = \Delta\vartheta_{SE,20}\left(1 + \alpha_{T,SE}\left(\vartheta_{0,SE} - 20\,°C\right)\right)$$

$\Delta\vartheta_{SE,20}$ ... Temperaturdifferenz bei $\vartheta_{0,SE}$ = 20 °C und Belastung mit $I = I_r$

$\alpha_{T.SE}$ ... Temperaturbeiwert

$\vartheta_{0,SE}$ ... Lufttemperatur in direkter Umgebung des Sicherungseinsatzes

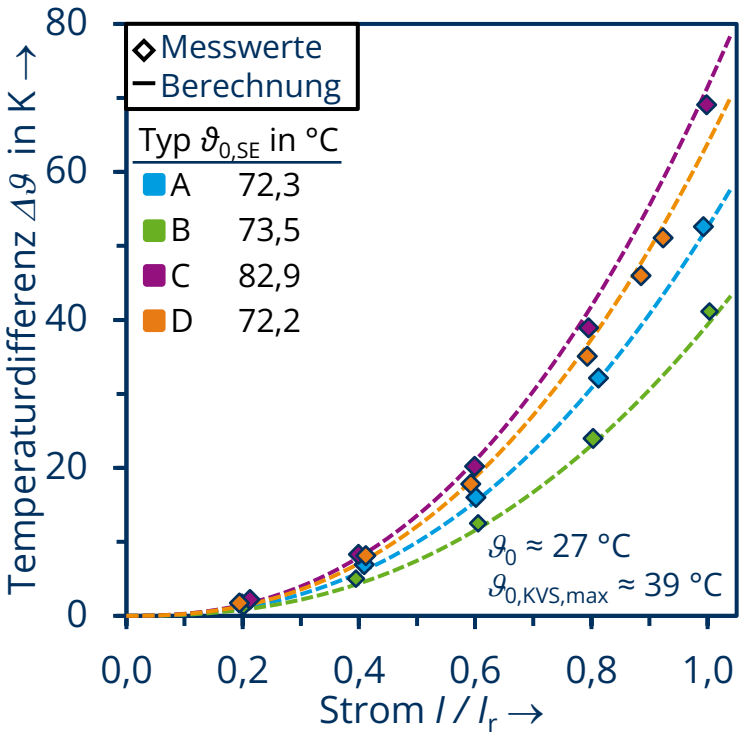
Sicherungseinsatz	$\vartheta_{SE,20}$ in K	α_T in K^{-1}
A	45,0	0,0032
B	33,6	
C	59,5	
D	54,7	

Spezifische Eigenschaft des Sicherungseinsatzes

Dominiert vom **Temperaturbeiwert des elektrischen Widerstands der Schmelzleiter** ($\alpha_{T,Cu}$ = 0,0039 K^{-1})

Lufttemperatur $\vartheta_{0,SE}$ abhängig von der Einbausituation:

- Frei in Luft → $\vartheta_{0,SE} = \vartheta_0$
- Eingeschränkte Wärmeabgabe:
  $\vartheta_{0,SE}$ ≙ Lufttemperatur in direkter Umgebung des NH-Sicherungseinsatzes im thermisch kritischsten Belastungsfall



Auswertung: Sicherungseinsatz L1

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

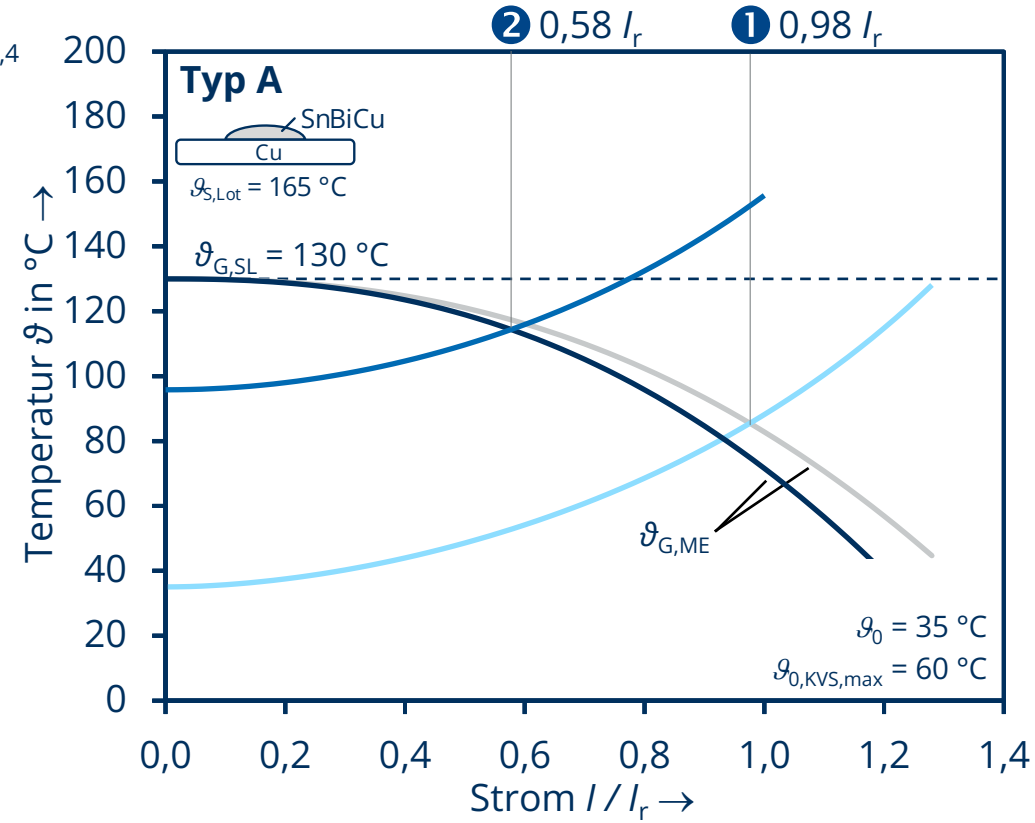
Erwärmungsverhalten
Grenztemperatur $\vartheta_{G,ME}$ des Sicherungsmessers

Dissertation Kühnel

$$\vartheta_{G,ME} = \underbrace{\vartheta_{G,SL}}_{} - \Delta\vartheta_{SE}\left(\frac{I}{I_r}\right)^{2,4}$$

Grenztemperatur $\vartheta_{G,SL}$ der Schmelzleiters

Typ	$\vartheta_{G,SL}$ in °C
A	**130**
B	200
C	160
D	170



	Typ	$\vartheta_{G,ME}$ in °C	I_{max} / I_r
❶	A	85	0,98
	B	130	1,33
	C	94	1,03
	D	102	1,08
❷	A	114	0,58
	B	158	0,98
	C	127	0,70
	D	133	0,76

Einbausituation:
- Frei in Luft (DIN EN 60269-1:2015)
- Lastschaltleiste im Kabelverteilerschrank

- Individuelle Grenzwerte für Sicherungseinsätze empfehlenswert, besonders bei hoher Beanspruchung
- Für Einbausituation mit eingeschränkter Wärmeabgabe → $\vartheta_{G,ME}$ für alle Sicherungseinsätze höher als in DIN CLC/TR 60269-5:2012

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

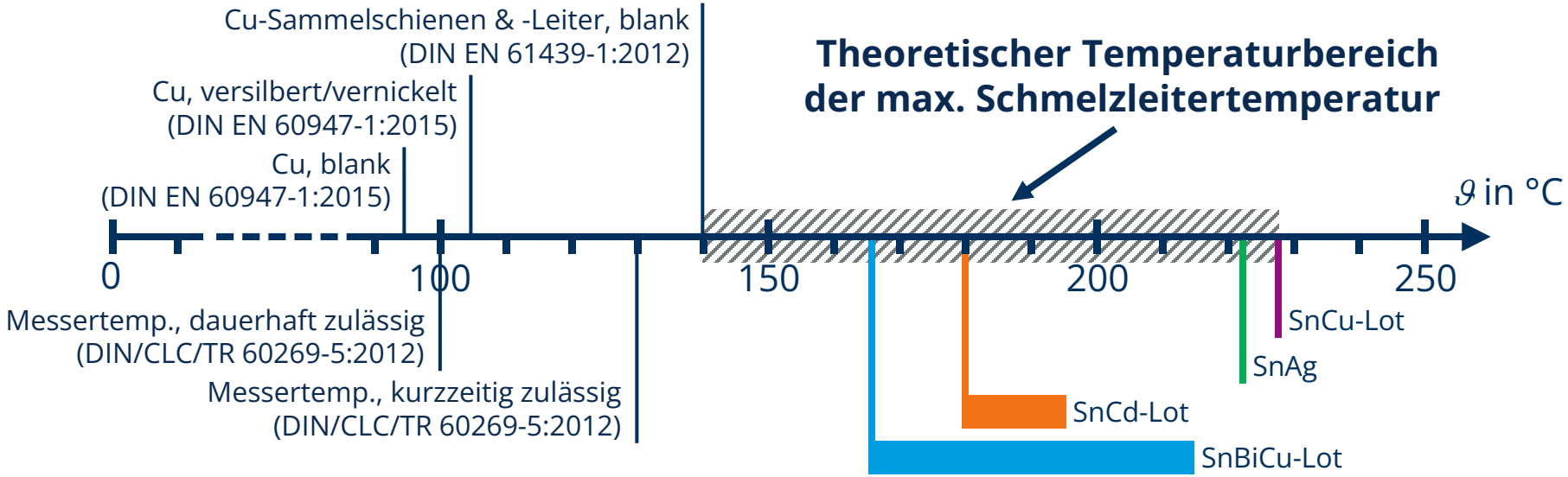
Langzeitverhalten und Alterung
Mechanismen und maximale Temperaturen am Schmelzleiter

Dissertation Kühnel

- Erwartete Mechanismen der Alterung : Interdiffusion zwischen Schmelzleiter und Lot, Oxidation des Lotdepots
- Bisherige Arbeiten zur Alterung von Schmelzleitern bei hohen Temperaturen (*Klepp*, *Hofmann*, *Beaujean*):
  → **beschleunigte Alterung** bei Beanspruchung **oberhalb der Solidustemperatur des Lotes**
  (erhöhte Temperaturen im Normalbetrieb und verkürzte Schmelzzeiten im Bereich kleiner Überströme)
  → **Keine Alterung unterhalb der Solidustemperatur des Lotes festgestellt**

  Aber: betrachteter Zeitbereich von Stunden … Wochen << geplante Lebensdauer der NH-Sicherungseinsätze

→ **Langzeitverhalten bei dauerhaft hoher thermischer Beanspruchung im Normalbetrieb ungeklärt**

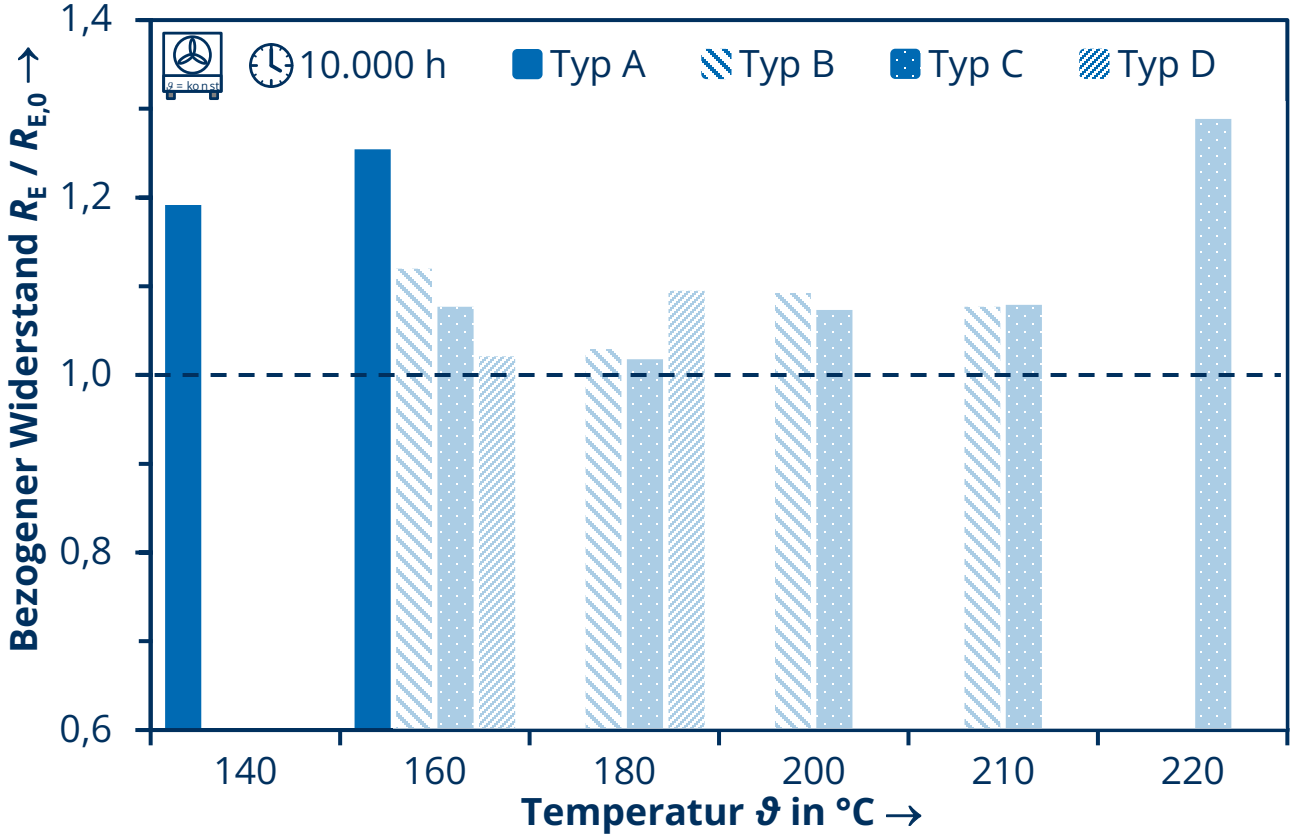


Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

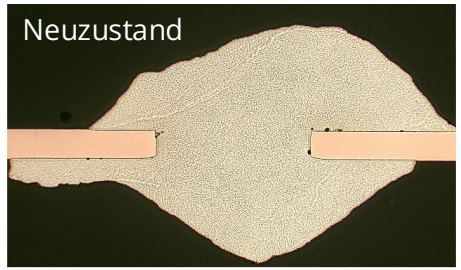
Langzeitverhalten und Alterung

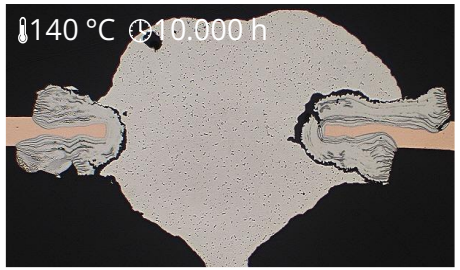
Thermische Beanspruchung im Wärmeschrank

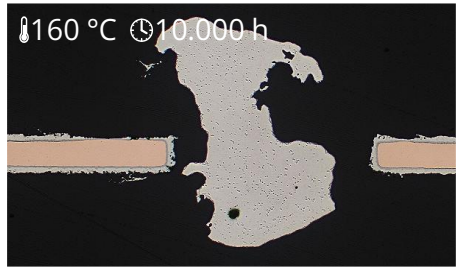
Dissertation Kühnel

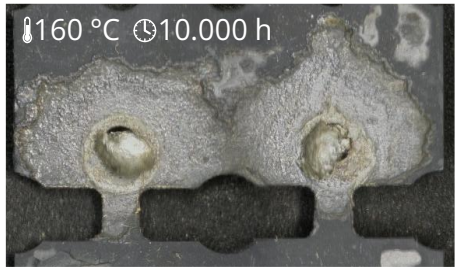


- Erhöhte R_E im gesamten Temperaturbereich → Wachstum intermetallischer Phasen
- Verringerter Stoffschlusses an der Grenzfläche Lotdepot / intermetallische Phase
- Ausgeprägte Oxidation des Lotdepots bei thermischer Belastung von 160 °C → Verlust Stoffschluss









Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

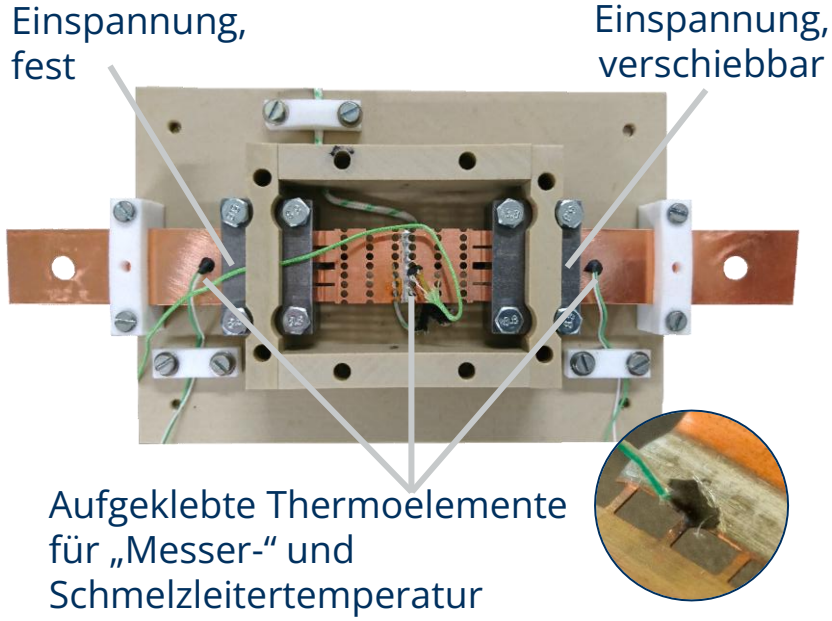
Unterbrechungsverhalten bei Überströmen
Versuchsaufbau der modellhaften Sicherungseinsätze

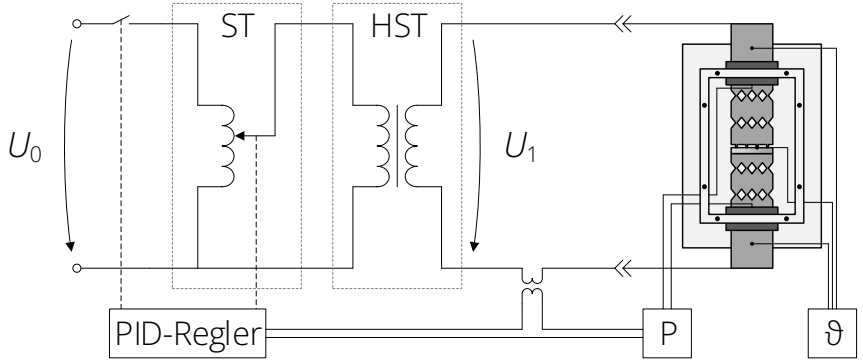
Dissertation Kühnel

Vergleichbare Randbedingungen zum Betrieb im realen Sicherungseinsatz:

- Axiale und radiale Wärmeübertragung an die Umgebung
- Modelleinsatz mit Quarzsand des jeweiligen Typs gefüllt
- Thermisch äquivalenter Bemessungsstrom $I_{r,m}$

→ **Thermische Beanspruchung im Modell ≈ reale Einsatzbedingungen**





Stromregelung:

- Erreichen des Prüfstromes nach Einschalten in t ≤ 10 s
- Regelgenauigkeit ± 1 % des Prüfstromes

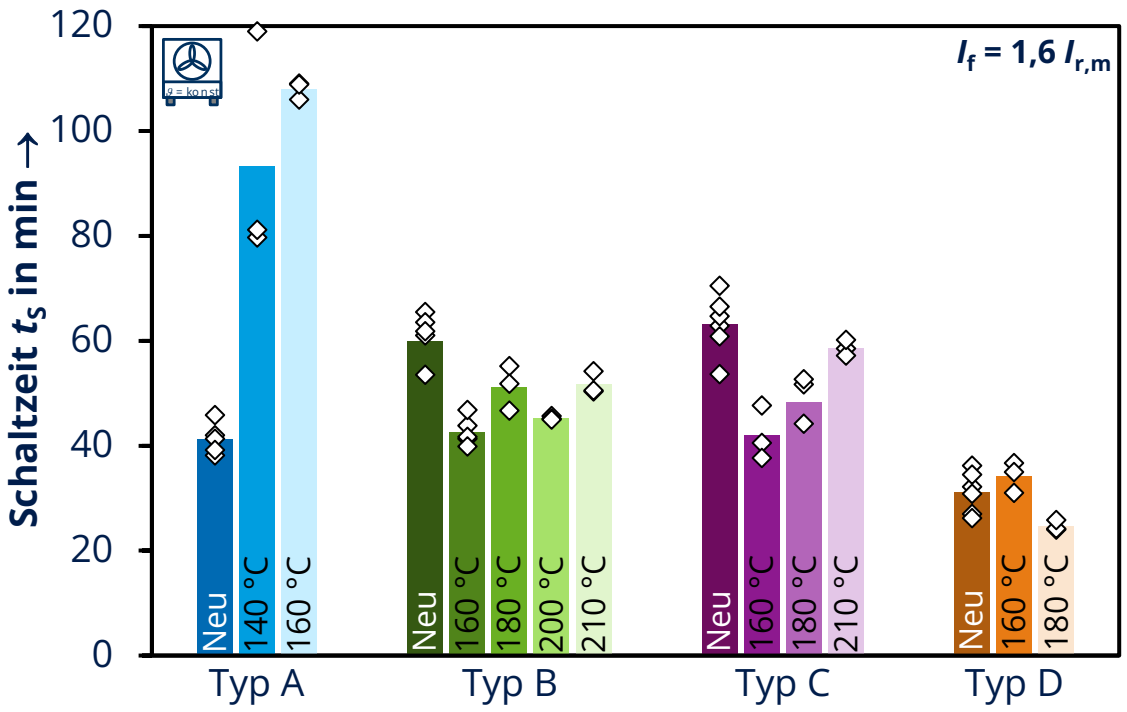
U_0	Eingangsspannung U_0 = 230 V (AC)	HST	Hochstromtransformator
U_1	Ausgangsspannung $U_{1,max}$ = 4,5 V	P	Leistungsmessgerät
ST	Stelltransformator	ϑ	Temperaturmessgerät

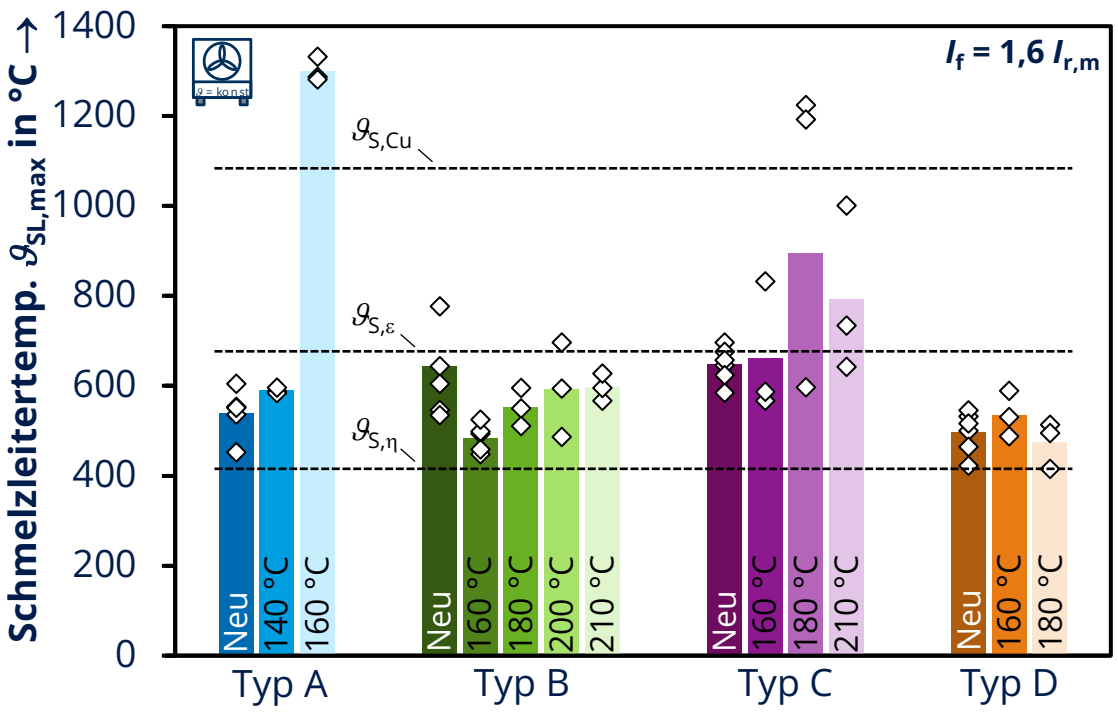
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Versuchsaufbau der modellhaften Sicherungseinsätze

Dissertation Kühnel





Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen
Alterung durch Oxidation und Interdiffusion

Dissertation Kühnel

Oxidation des Lotdepots:

- Zusätzliche Legierungsbestandteile des Sn-reichen Lotes können Langzeitverhalten signifikant beeinflussen
- Einfluss der Oxidation des Lotdepots abhängig von der Lage auf dem Schmelzleiter → Vermeiden von Bereichen mit inhomogener Temperaturverteilung und damit erhöhten thermisch induzierten mechanischen Spannungen

Interdiffusion zwischen Schmelzleiter und Lot im Temperaturbereich < $\vartheta_{S,Lot}$:

Wachstum von IMP an der Grenzfläche bewirkt zwei **gegensätzliche**, sich **überlagernde** Effekte:

Wachstum IMP $d = f(\vartheta, t, c)$

d_{SL} ↓

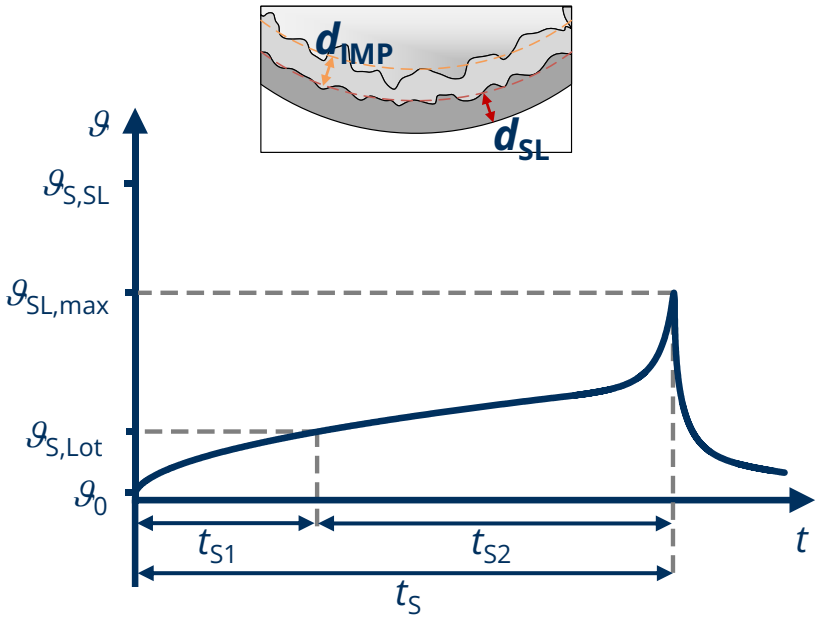
R_{SL} ↑

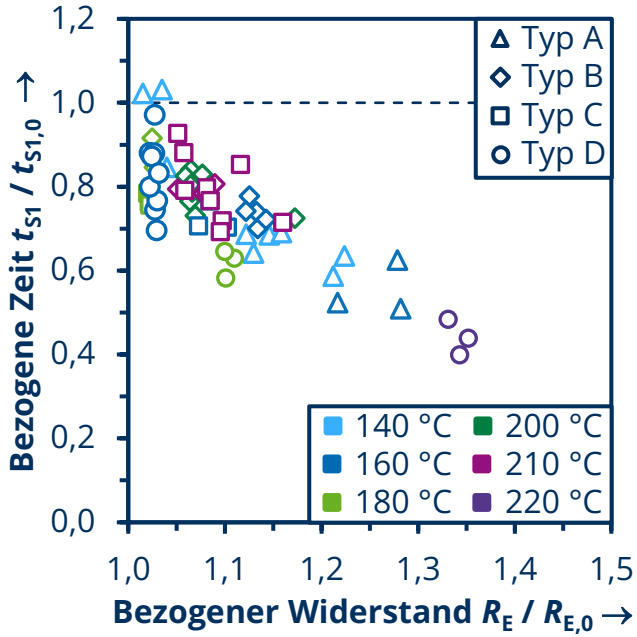
P_V ↑ ϑ_{SL} ↑

Diffusionsgeschwindigkeit ↑

t_{S1} ↓↓ t_{S2} ↓

Verkürzte Schaltzeiten t_S
Frühzeitiger Schaltvorgang möglich (t_S ⇩ bzw. I_{min} ⇩)





Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen
Alterung durch Oxidation und Interdiffusion

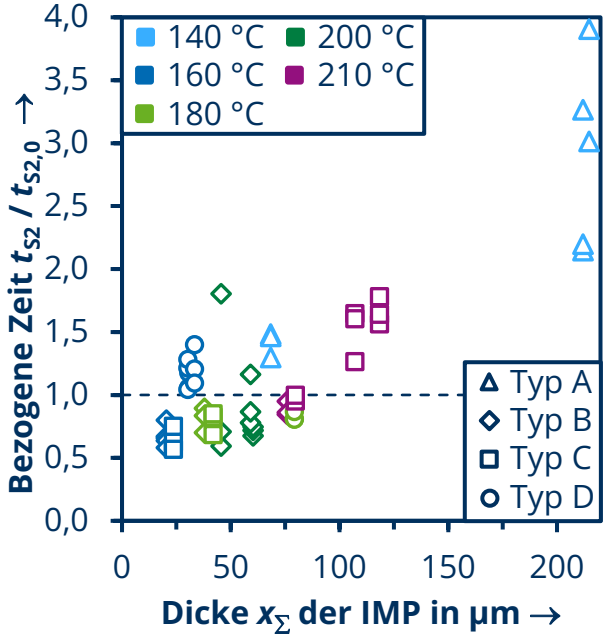
Dissertation Kühnel

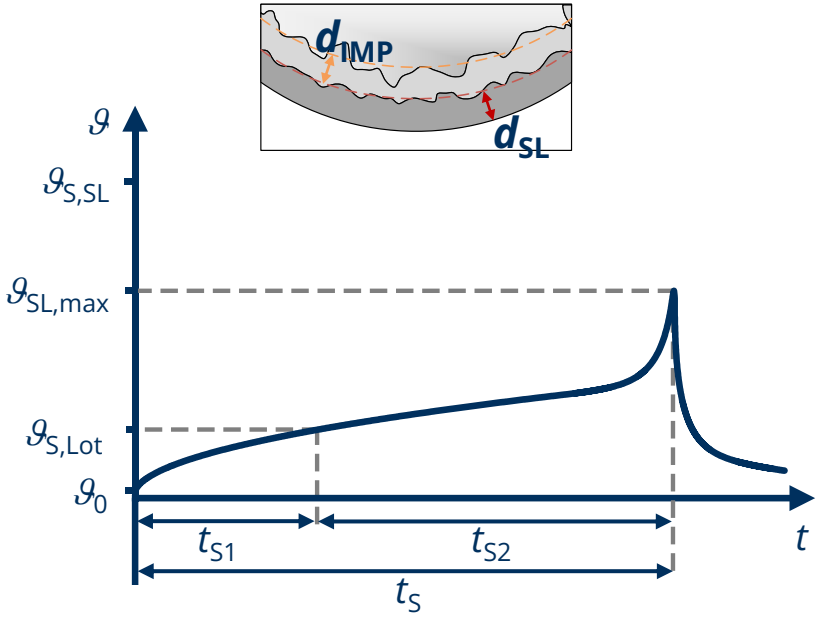
Oxidation des Lotdepots:

- Zusätzliche Legierungsbestandteile des Sn-reichen Lotes können Langzeitverhalten signifikant beeinflussen
- Einfluss der Oxidation des Lotdepots abhängig von der Lage auf dem Schmelzleiter → Vermeiden von Bereichen mit inhomogener Temperaturverteilung und damit erhöhten thermisch induzierten mechanischen Spannungen

Interdiffusion zwischen Schmelzleiter und Lot im Temperaturbereich < $\vartheta_{S,Lot}$:

Wachstum von IMP an der Grenzfläche bewirkt zwei **gegensätzliche**, sich **überlagernde** Effekte:





Wachstum IMP $d = f(\vartheta, t, c)$

d_{IMP} ↑ ↑

$\vartheta_{S,IMP} > \vartheta_{S,Lot}$

Konzentrationsgradient ↓

Diffusionsgeschwindigkeit ↓

t_{S2} ↑ ↑

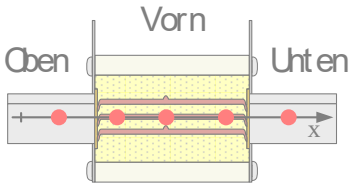
Barrierewirkung der IMP
Schaltzeit t_S verlängert
Verzögerter Schaltvorgang

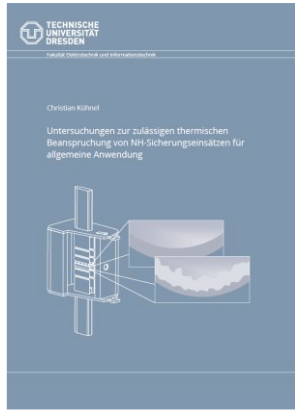
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten

gegensätzliche, sich **überlagernde** Effekte?

Funktion von Schmelz-sicherungen bei erhöhter Erwärmung (**NH-HH-Recycling**)
01.04.2011 bis 13.08.2013



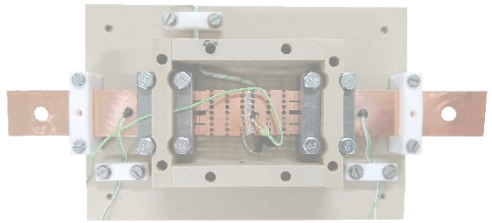


Dissertation
C. Kühnel
27.09.2019
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-705441

Dissertation
L. Büttner
03.12.2024
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-949835

2011

BestTemp - Bestimmen der Grenztemperatur des Sicherungs-messers für einen langzeitstabilen Betrieb von gG NH-Sicherungen (**NH-HH-Recycling**)
01.01.2015 bis 31.12.2017



BestDesign - Entwicklung eines Ganzbereichs-Sicherungseinsatzes mit erhöhter Zuverlässigkeit für den Einsatz im Energieversorgungsnetz der Zukunft (ZIM-Vorhaben)
01.03.2020 bis 31.7.2023

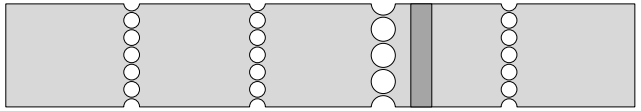
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Einflussgrößen auf das Unterbrechungsverhalten

Dissertation Büttner

Praxisnahe **Geometrien von Schmelzleitern**



Berechnen der Temperaturverteilung mit der **Finite-Elemente-Methode (FEM)** und ermitteln optimierter Geometrien

$\vartheta_{Lot,W}$.... Temperatur Lot warme Seite
$\vartheta_{Lot,k}$...Temperatur Kontakt kalte Seite

$\Delta\vartheta_{Lot} = \vartheta_{Lot,W} - \vartheta_{Lot,k}$

Experimentelles Untersuchungen zum Unterbrechungsverhalten

- Unterbrechungsversuche bei Strombelastung
- Rein thermische Unterbrechungsversuche
- Metallographische Analysen

Untersuchungen zum Langzeitverhalten

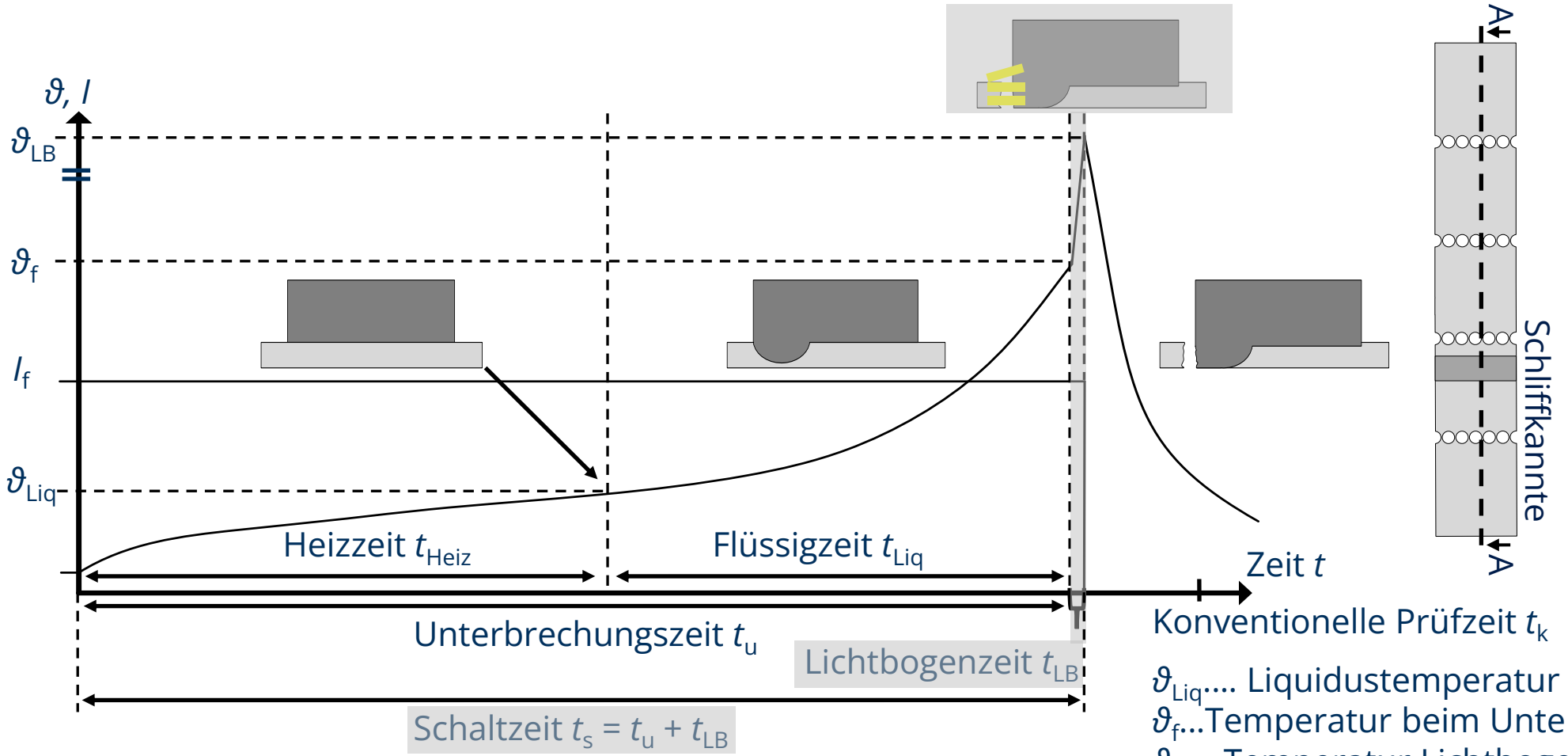
- Dauer- und Wechsellast bei Gleichstrombelastung
- Dauer- und Wechsellast im Ofen
- Unterbrechungsversuche gealterter Schmelzleiter

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Verlauf der Temperatur

Dissertation Büttner

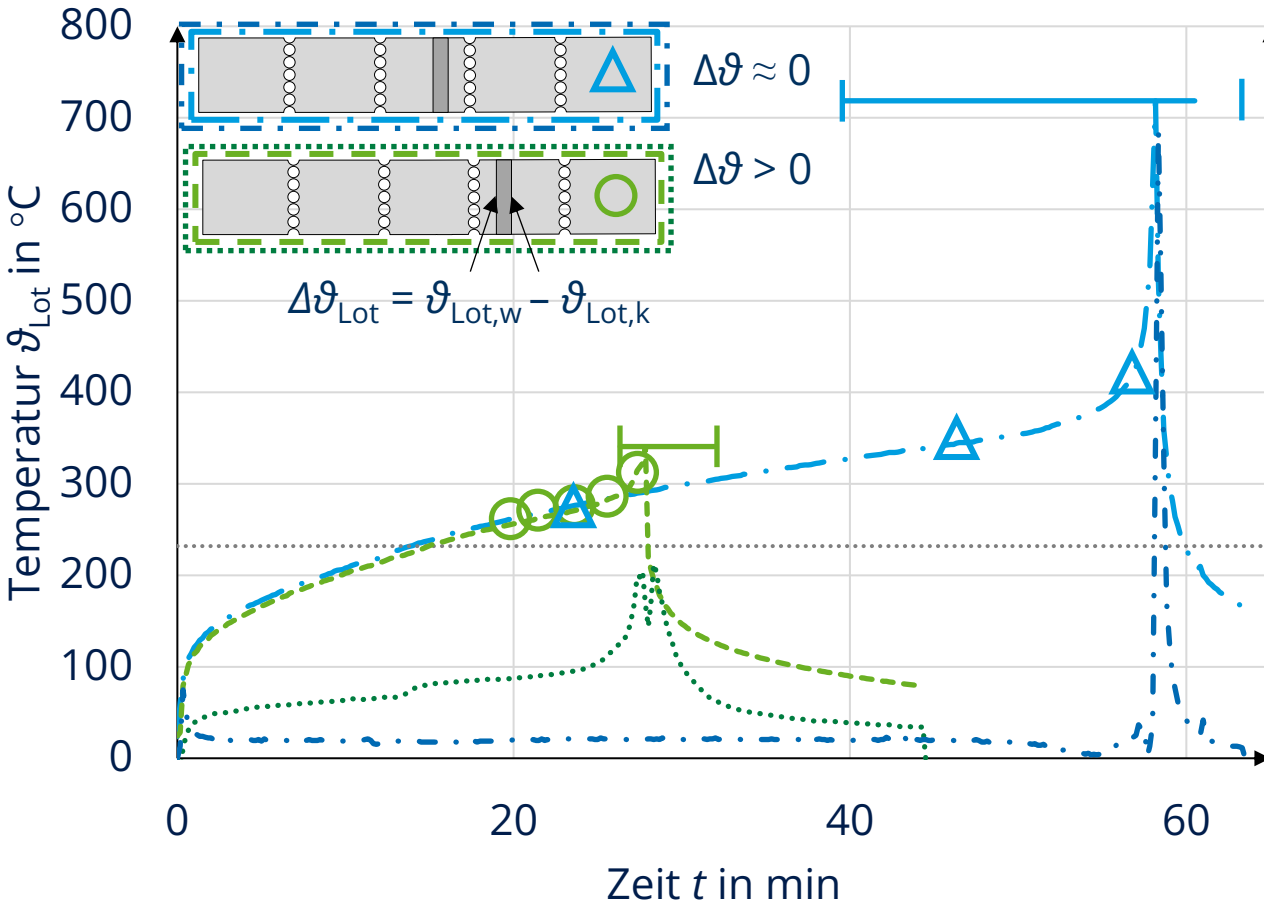


ϑ_{Liq}.... Liquidustemperatur des Lots
ϑ_f...Temperatur beim Unterbrechen
ϑ_{LB}...Temperatur Lichtbogen
I_f...Großer Prüfstrom

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Temperaturverteilung entlang des Lots



Dissertation Büttner

Geometrie:

Unterbrechungszeit t_u: Δ > ○

Maximale Temperatur ϑ_{max}: Δ > ○

ϑ_{Lot} = 345 °C ϑ_k = 345 °C

ϑ_{Lot} = 300 °C ϑ_k = 280 °C

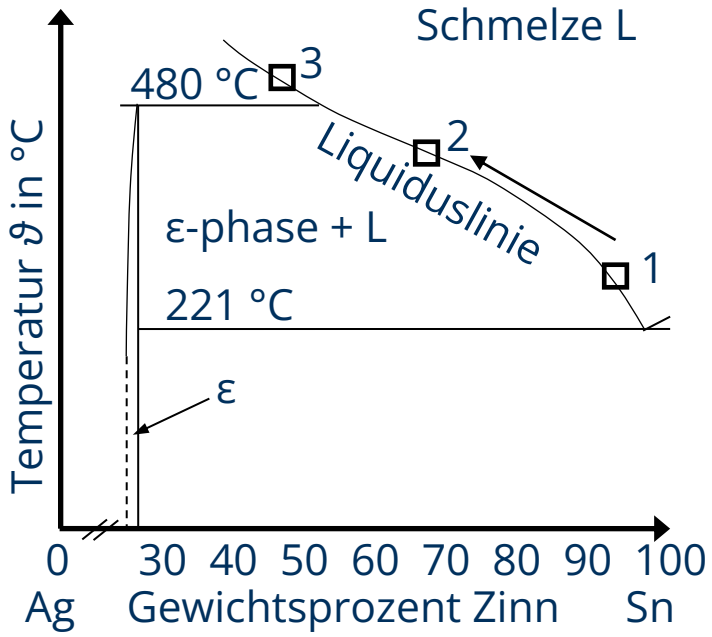
Wirkender physikalischer Prozess ist abhängig vom Temperaturgradienten über dem Lot

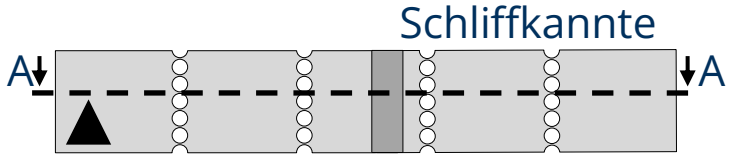
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

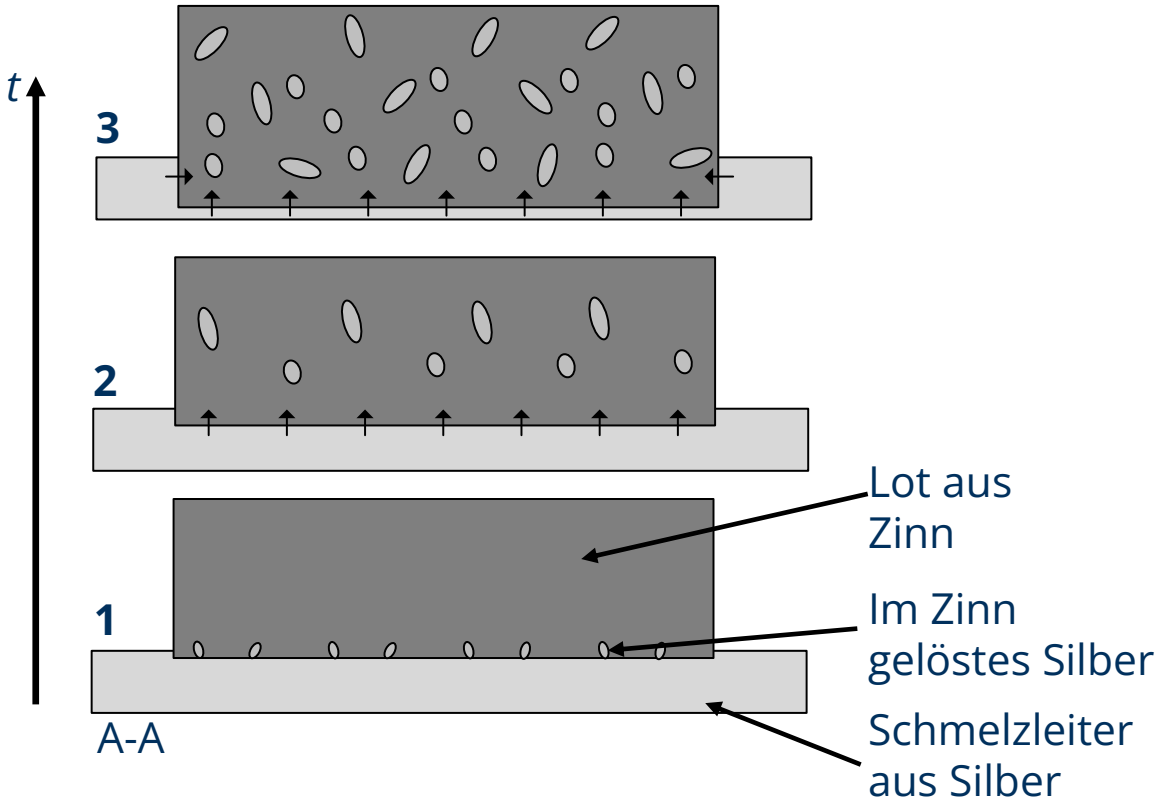
Schmelzleitern aus Silber mit Zinnlot

Dissertation Büttner





Homogene Temperaturverteilung am Lot Δϑ ≈ 0 K

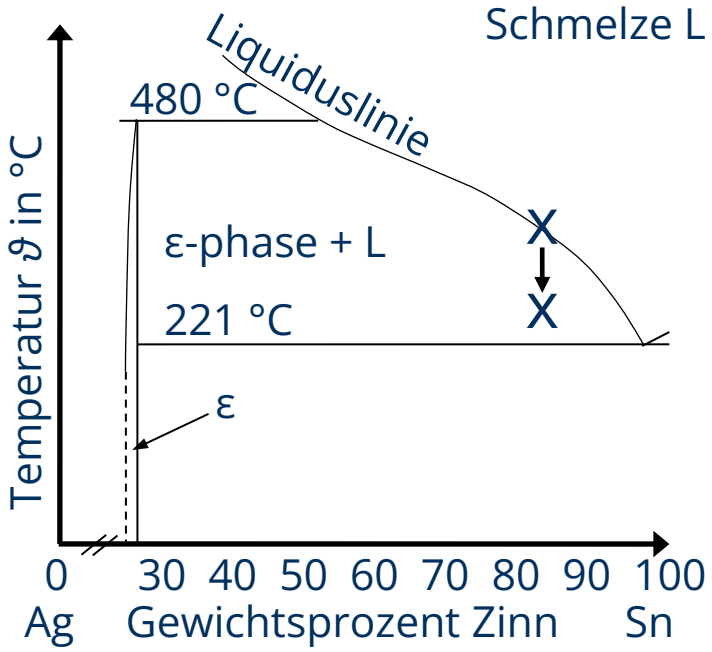


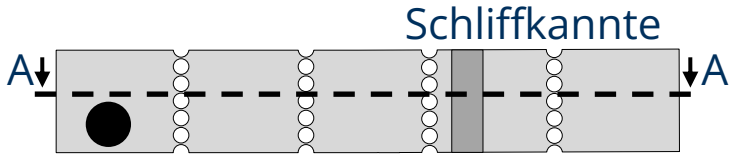
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Schmelzleitern aus Silber mit Zinnlot

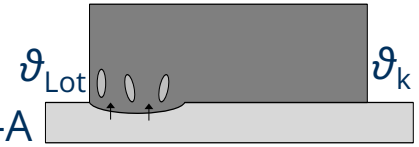
Dissertation Büttner



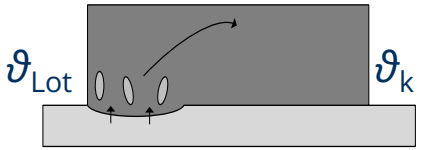


Temperaturgradient entlang des Lots $\Delta\vartheta > 0$ K: $\vartheta_{Lot} > \vartheta_k$

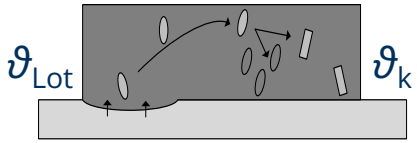
Silber diffundiert an warmer Seite in die Schmelze



Schmelze bewegt sich zu kalter Seite $\vartheta_{Lot} > \vartheta_k$

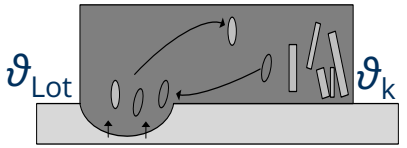


An der kalten Seite fällt Silber in Form der ε-Phase aus der Schmelze



Konzentrationsgradient hoch an warmer Seite

- Silber wird lokal gelöst



Welche Ursache hat die Bewegung der Schmelze bei vorhandenem Temperaturgradient über dem Lot ?

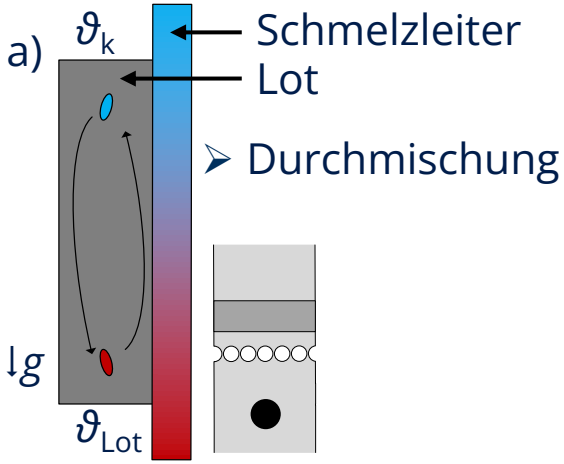
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

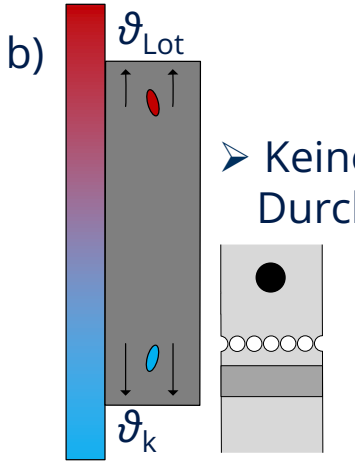
Mögliche konvektive Strömungen im Lot

Dissertation Büttner

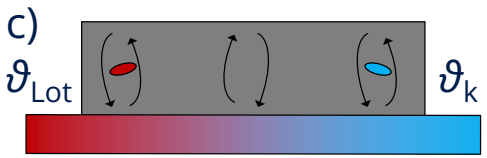
Auftriebsgetriebene Konvektion ➢ Abhängig von Einbaulage



➢ Durchmischung

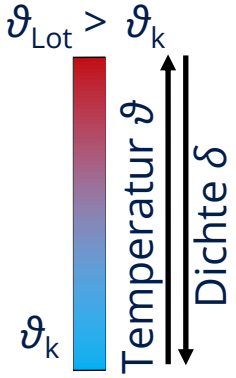


➢ Keine Durchmischung

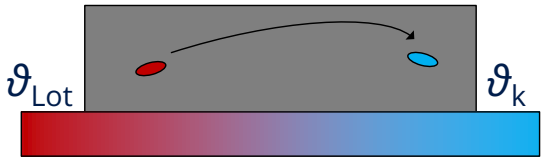


➢ Geringe Durchmischung

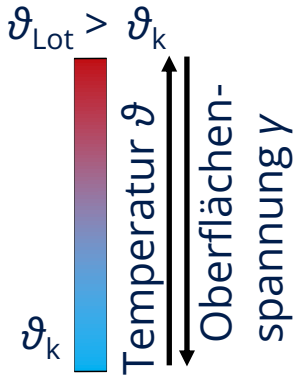
- Warme Schmelze
- Kalte Schmelze



Thermokapillare Konvektion (Marangoni Konvektion) ➢ Unabhängig von Einbaulage



- Gradient der Oberflächenspannung
- Ausgleich Spannungsgradient durch Materialbewegung



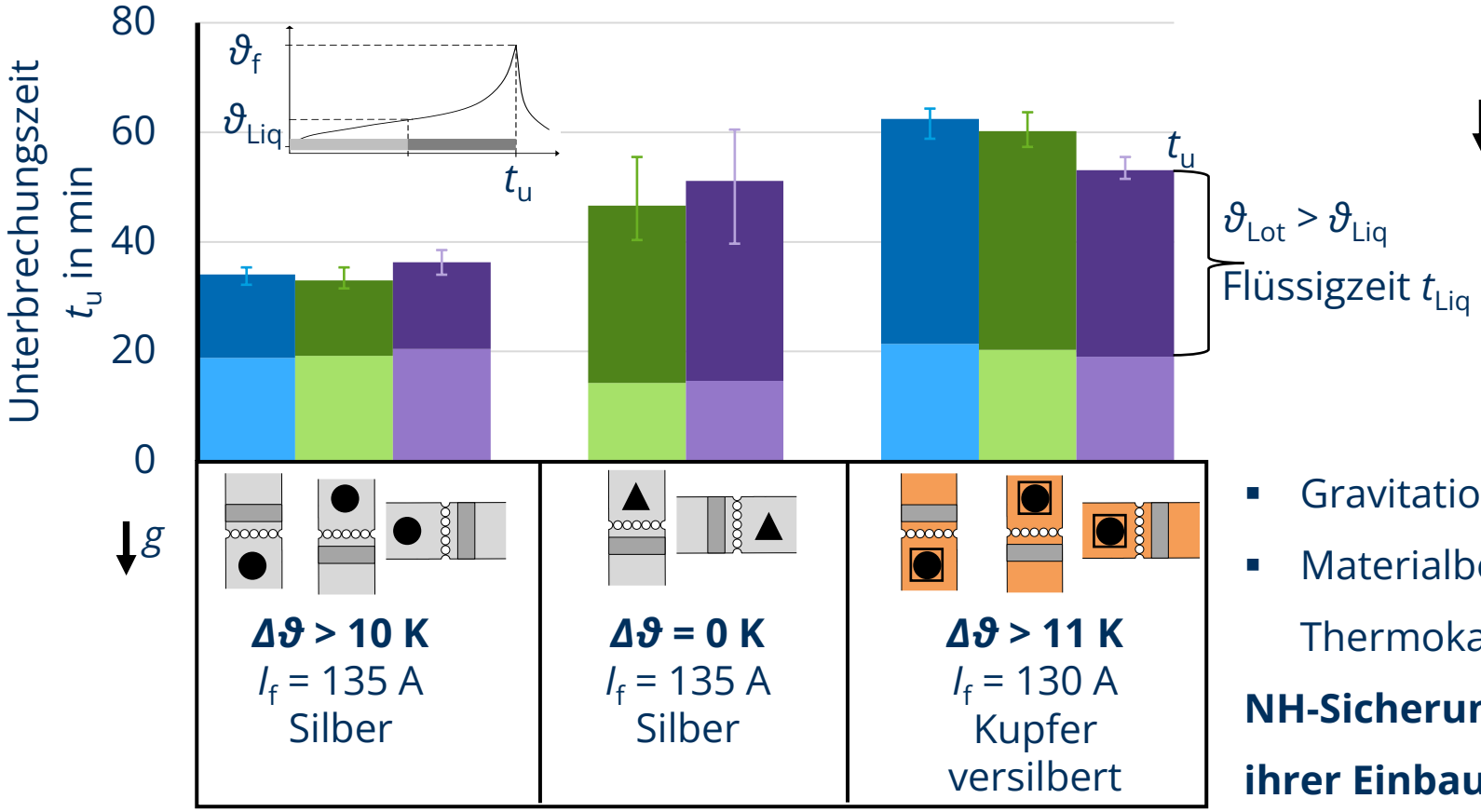
➡ Zu klärende Fragen:

- Bewegung der Schmelze abhängig von der Einbaulage
- Dominierende Strömungsart

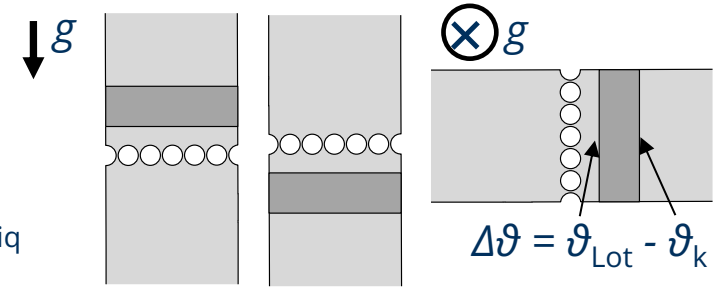
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen
Einfluss der Einbaulage

Dissertation Büttner



Untersuchte Einbaulage:



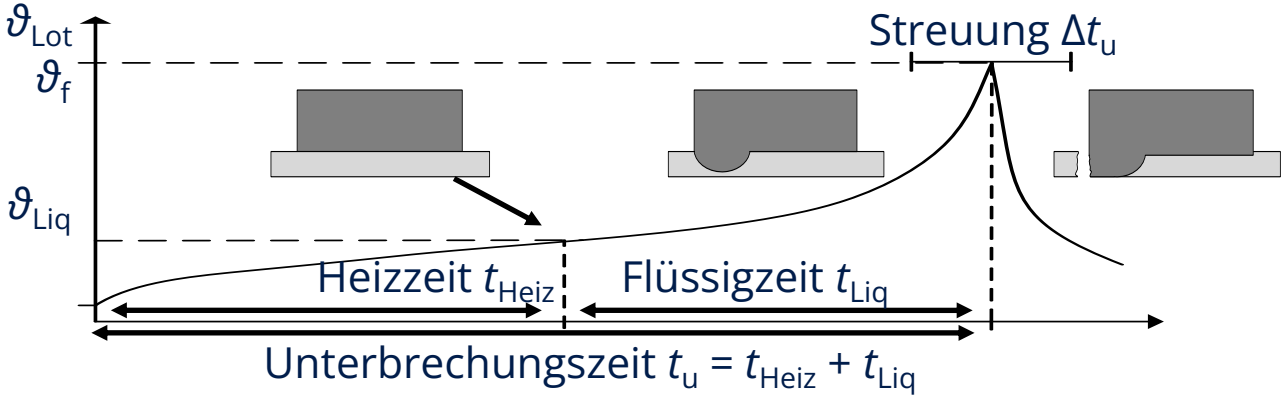
- Gravitation nicht Ursache für Materialbewegung
- Materialbewegung im Lot durch Thermokapillare Konvektion

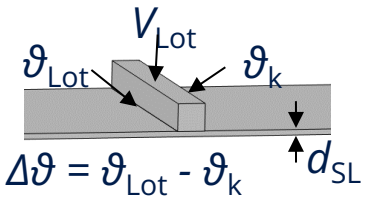
NH-Sicherungen Schalten unabhängig von ihrer Einbaulage!

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Unterbrechungsverhalten bei Überströmen

Einflussgrößen für die Auslegung





↗ erhöht sich
↘ verringert sich

Dissertation Büttner

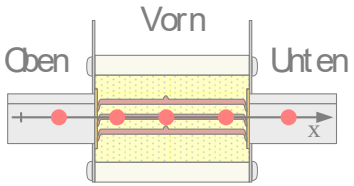
Heizzeit t_{Heiz} ↗ ($\vartheta_{Lot} < \vartheta_{Liq}$)	Flüssigzeit t_{Liq} ↘ ($\vartheta_{Lot} > \vartheta_{Liq}$)	Zuverlässiges Unterbrechen:
• Stationär berechnete Temperatur Lot ϑ_{Lot} ↘ • Keine Engstellen neben Lot	• Temperaturgradient $\Delta\vartheta$ ↗ • Volumen des Lots V_{Lot} ↗ ($V_{Lot} < V_{max}$) • Dicke Schmelzleiter d_{SL} ↘	Temperatur beim Unterbrechen ϑ_f ↘: • $\Delta\vartheta$ ↗ • V_{Lot} ↘ • Keine Engstellen neben Lot
➢ Robuster bei Belastung mit volatilen Strömen	➢ Zügiges Unterbrechen bei andauerndem Überstrom	Streuung Δt_u ↘ Unterbrechungszeit: • $\Delta\vartheta$ ↗ • V_{Lot} ↗

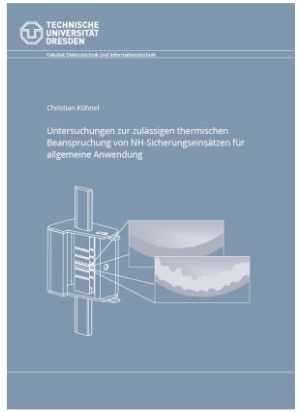
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Wechsellast

Einfluss **thermo-mechanischer** Beanspruchung?

Funktion von Schmelz-sicherungen bei erhöhter Erwärmung (**NH-HH-Recycling**)
01.04.2011 bis 13.08.2013



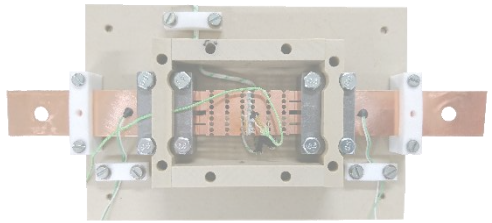


Dissertation
C. Kühnel
27.09.2019
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-705441

Dissertation
L. Büttner
03.12.2024
https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-949835

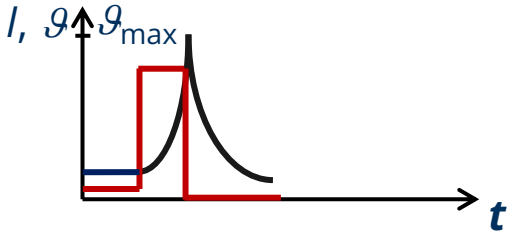
2011

BestTemp - Bestimmen der Grenztemperatur des Sicherungs-messers für einen langzeitstabilen Betrieb von gG NH-Sicherungen (**NH-HH-Recycling**)
01.01.2015 bis 31.12.2017



BestDesign - Entwicklung eines Ganzbereichs-Sicherungseinsatzes mit erhöhter Zuverlässigkeit für den Einsatz im Energieversorgungsnetz der Zukunft (ZIM-Vorhaben)
01.03.2020 bis 31.7.2023

CycleFuse - Zuverlässigkeit von Schmelzsicherungen bei hohen dynamischen Wechselbelastungen in Batteriespeichersystemen (ZIM-Vorhaben)
01.01.2025 bis **31.12.2026**



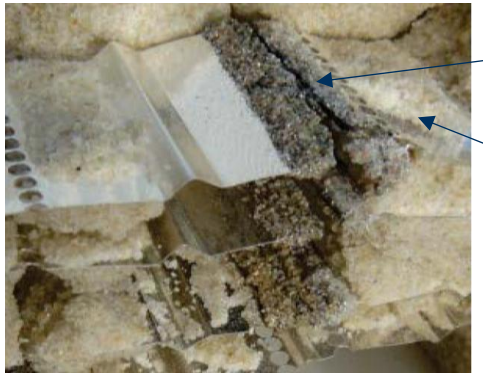
Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Ausblick

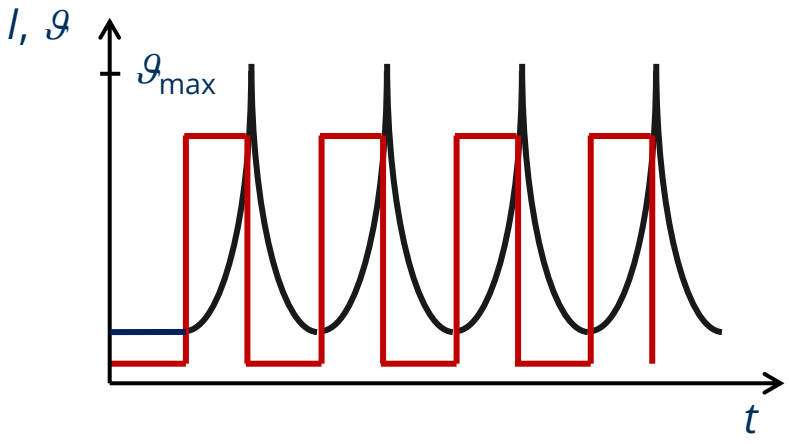
CycleFuse (ZIM Projekt TUD & Fa. SIBA - 01.01.2025 bis 31.12.2026)

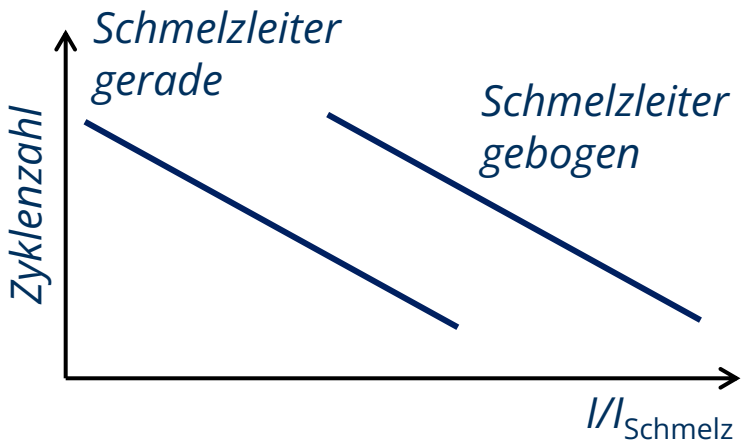
Anwendung:

- **Batteriespeichersysteme**
  Rice, C. ; Nurse, N. ; Cheong, S.: A Study of Challenges for Fuse Link Protection in the New Generations of Environmentally Friendly Vehicles. In: ICEFA Electric Fuses and their Applications. Maribor, 2011
- **PV-Anlagen**
  Lehmann, R.: Mission Profile of NH – Fuses for PV Inverter Applications. In: ICEFA tenth international conference on electric fuses and their applications. Dresden, 2015



[Lehmann2015]





Arai, S.: Deteriorations and cycles to failure pf H.V. current-limiting fuses subjected to cyclic loading. *Proceedings ICEFA*, 1984, pp. 252-261.

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

PD Dr.-Ing. habil. Stephan Schlegel

stephan.schlegel@tu-dresden.de

+49 351 463-32746

Hochspannungslabor der Technischen Universität Dresden

Dieses Dokument ist urheberechtlich geschützt. Eine Weiterverbreitung bedarf der Zustimmung der Autoren.