



Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen

Bewertung und Vermeidung

Jan Steinweg



- Träger: Land Niedersachsen
- An-Institut der Universität Hannover
- Leitung Prof. Dr.-Ing. R. Brendel
- Ca. 160 Mitarbeiter, gegründet 1987
- Forschung und Entwicklung zu Photovoltaik und Solarthermie
- Fokus auf neue Komponenten und Verfahren
- Im Allg. mit Industriekooperation

Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal
bei Hameln, direkt an der Weser
ca. 55 km von Hannover

Übersicht Abteilung Solarthermie



Gruppe Kollektoren

- Kollektorentwicklung
- Solarkreis: Komponenten und Verhalten (Stagnation)

Prüfzentrum Solarthermie

- Wärmetechnisches Labor
- Prüfzentrum (akkreditiert)

Gruppe Materialien in der Solarthermie

- Optische Messtechnik und Oberflächenanalysen
- Funktionale Beschichtungen

Gruppe Thermische Systeme

- Funktions- und Ertragsüberwachung von Solaranlagen

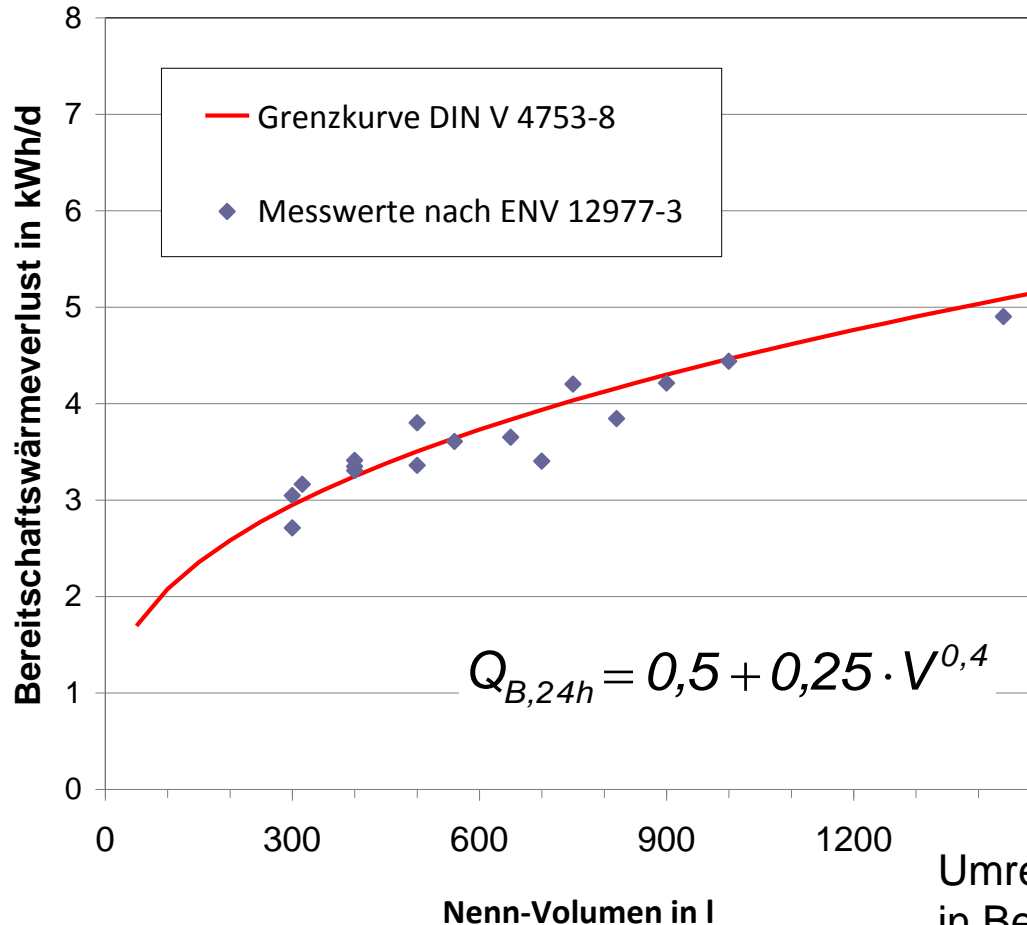
Gruppe Speicher

- Kopplung Solarwärme mit Wärmepumpen
- (Erdvergrabene) Wärmespeicher



Gesamt: ca. 22 Mitarbeiter zzgl. etwa 8 Studenten

Verluste an Wärmespeichern Prüfstandsdaten



- Prüfstandswerte Solar- TWW-Speicher
- DIN V 4753-8: für reine Wassererwärmer
- Mit minimaler Anschlussbelegung
- Installiert: deutlich höhere Verluste

Typisch für 300 l-Speicher: 3 W/K

Umrechnung Wärmeverlustkoeffizient (U·A) in Bereitschaftswärmeverluste $Q_{B,24h}$

$$Q_{B,24h} [kWh] = \left[U \cdot A \left[\frac{W}{K} \right] \right] \cdot \frac{45K \cdot 24h}{1000 \frac{Wh}{kWh}} = \left[U \cdot A \left[\frac{W}{K} \right] \right] \cdot 1,08$$

Quellen: DIN V 4753-8:1996-12 (gilt nicht mehr; jetzt DIN EN 12897 & 15332)

Prüfberichte Universität Stuttgart, ITW

Speicheranschlüsse I



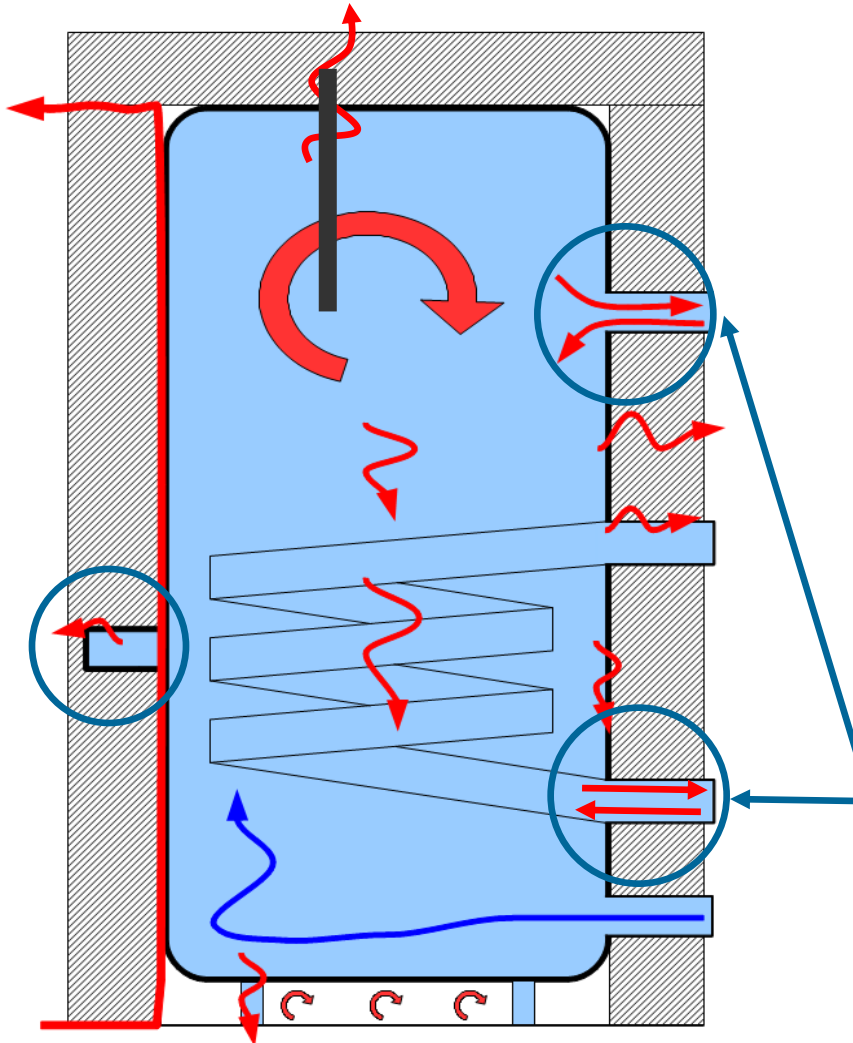
Speicheranschlüsse II



Quelle: Rummel, Janßen, Tepe; TESA Studie, proKlima; 2004

Verluste an Wärmespeichern

Verlustpfade

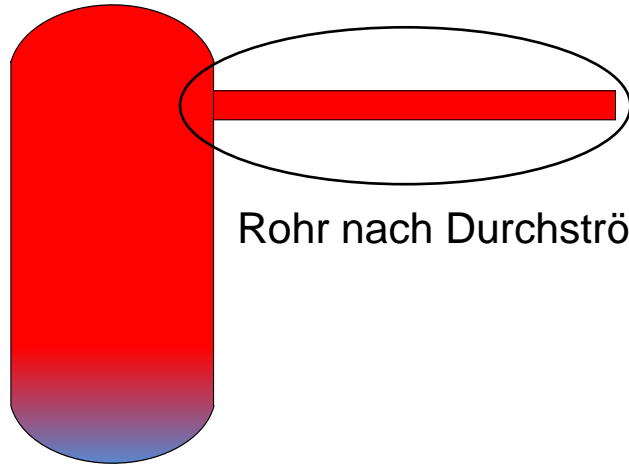


Verluste durch

- Mantel- und Deckeldämmung
- Ungenutzte Anschlüsse, Tauchhülsen
- Anschluss Anode und Elektro- Heizstab
- Anschluss interner Wärmeübertrager
- Füße und reduzierte Dämmung im Bodenbereich
- Nicht ausreichend anliegende Dämmung
- **Einrohrzirkulation in angeschlossenen Rohrleitungen**
- (Temperatur- "Verluste" durch interne Zirkulation, Leitung, Einströmung)



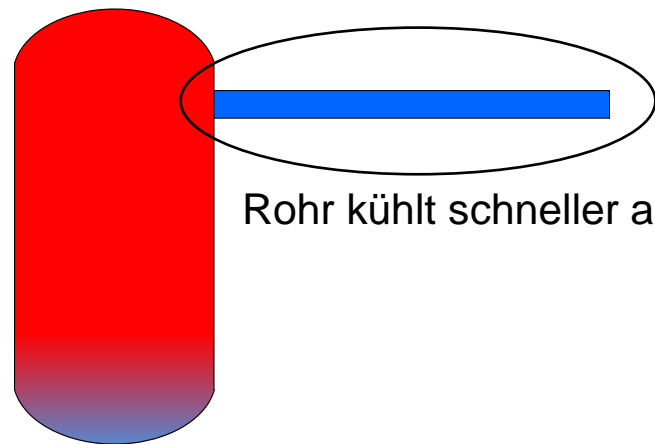
nicht oder nur teilweise auf dem Prüfstand erfasst



Rohr nach Durchströmung



- Kaltes Wasser „fällt“ in den Speicher.
- Warmes Wasser strömt aus dem Speicher nach
- und breitet sich im Rohr aus.
- Einrohrzirkulation bildet sich.

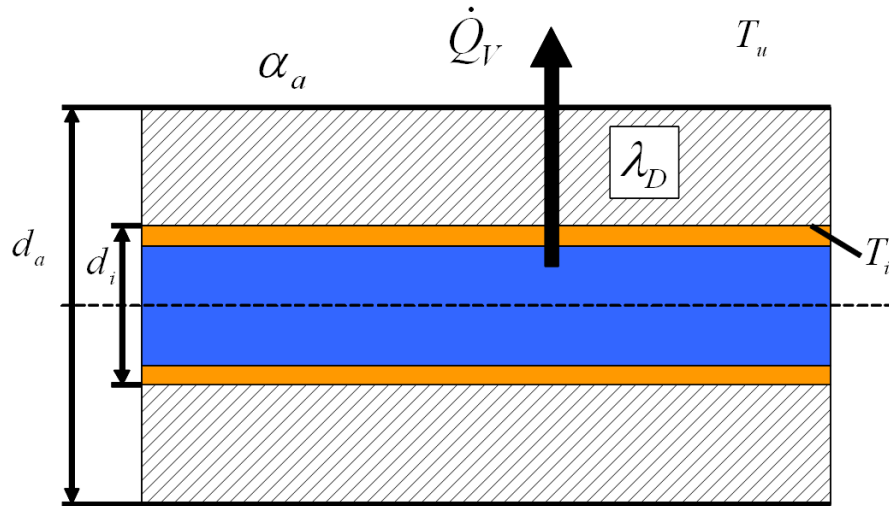


Rohr kühlt schneller ab

- Überlagerter Rippeneffekt (Leitung in Rohrwand)
 - Wovon hängt ERZ ab, wie weit breitet sie sich aus?
 - Welche Wärmeverluste entstehen (stationär)?
 - Wie kann man sie reduzieren / vermeiden?
- Untersuchung im Auftrag von von proKlima Hannover

Messverfahren via Temperaturprofil

Bilanz am Messrohr und Element



- Keine Bilanz am Speicher
- Temperaturprofil am Prüfling
- Robust und ca. 10 Mal genauer
- Zusatzinformationen:
Reichweite und Dynamik

- Verlustleistung in W

T_i längengewichtete Rohroberflächentemperatur
gemessen über bis zu 50 Sensoren

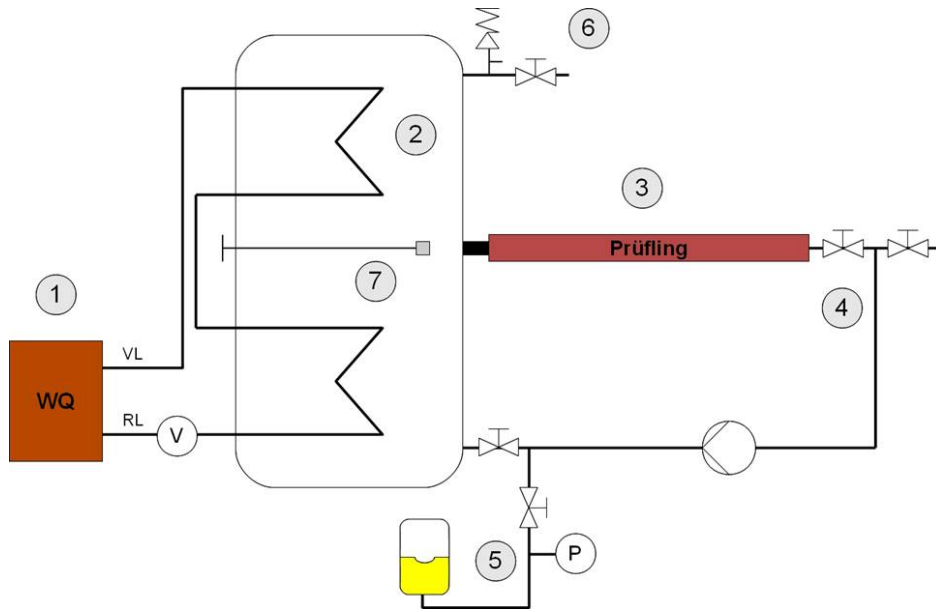
U_R Rohrleitungsverlustkoeffizient in W/mK
messen oder rechnen

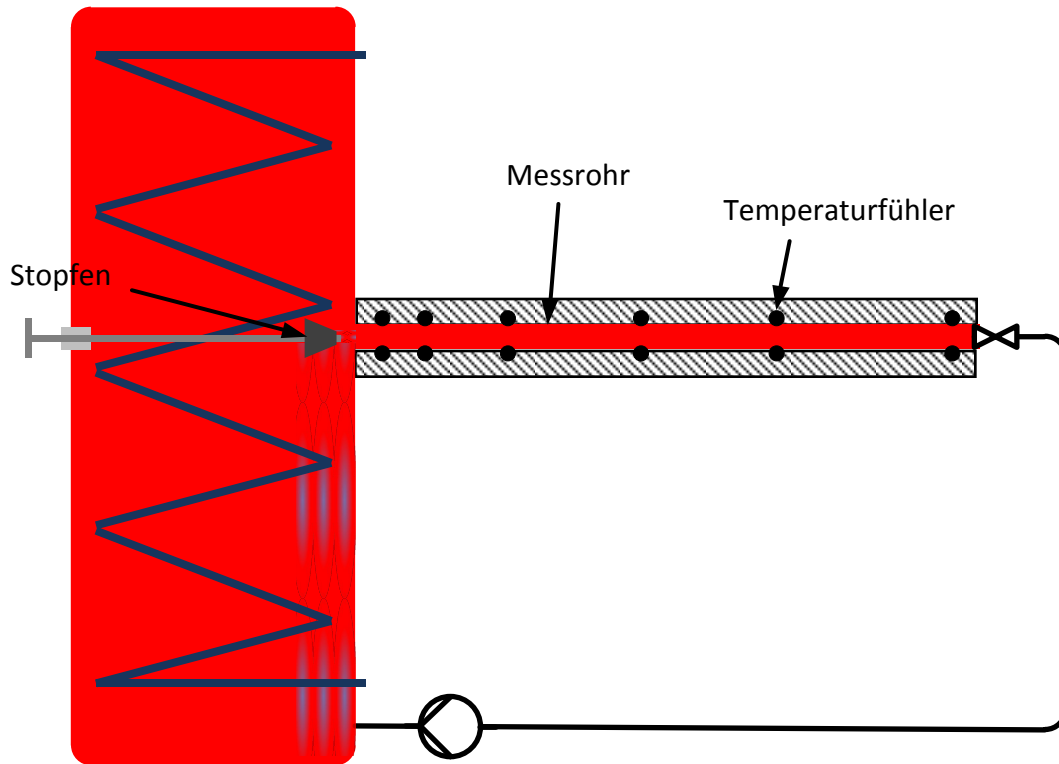
- Verlustkoeffizient der Anschluss-Konfiguration

$$\dot{Q}_V = U_R \cdot l \cdot (T_i - T_u)$$

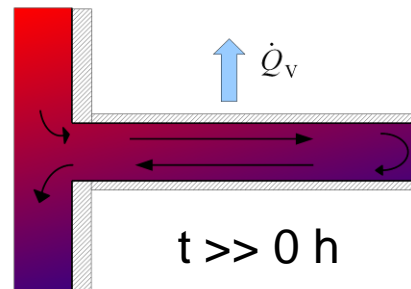
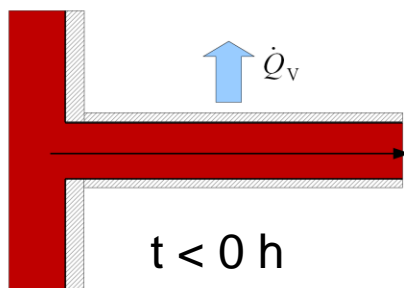
$$(UA) = \frac{\dot{Q}_V}{(T_{Sp} - T_u)}$$

Prüfstands Aufbau





- Installation und Nullversuch
- Konditionierung auf Prüftemperatur
- Pumpe aus und Ventil zu
- Start Messung der Messrohrtemperaturen, Ausbildung der ERZ
- Darstellung und Plausibilität
- Bestimmung T_i
- Bestimmung Q_v und (UA)



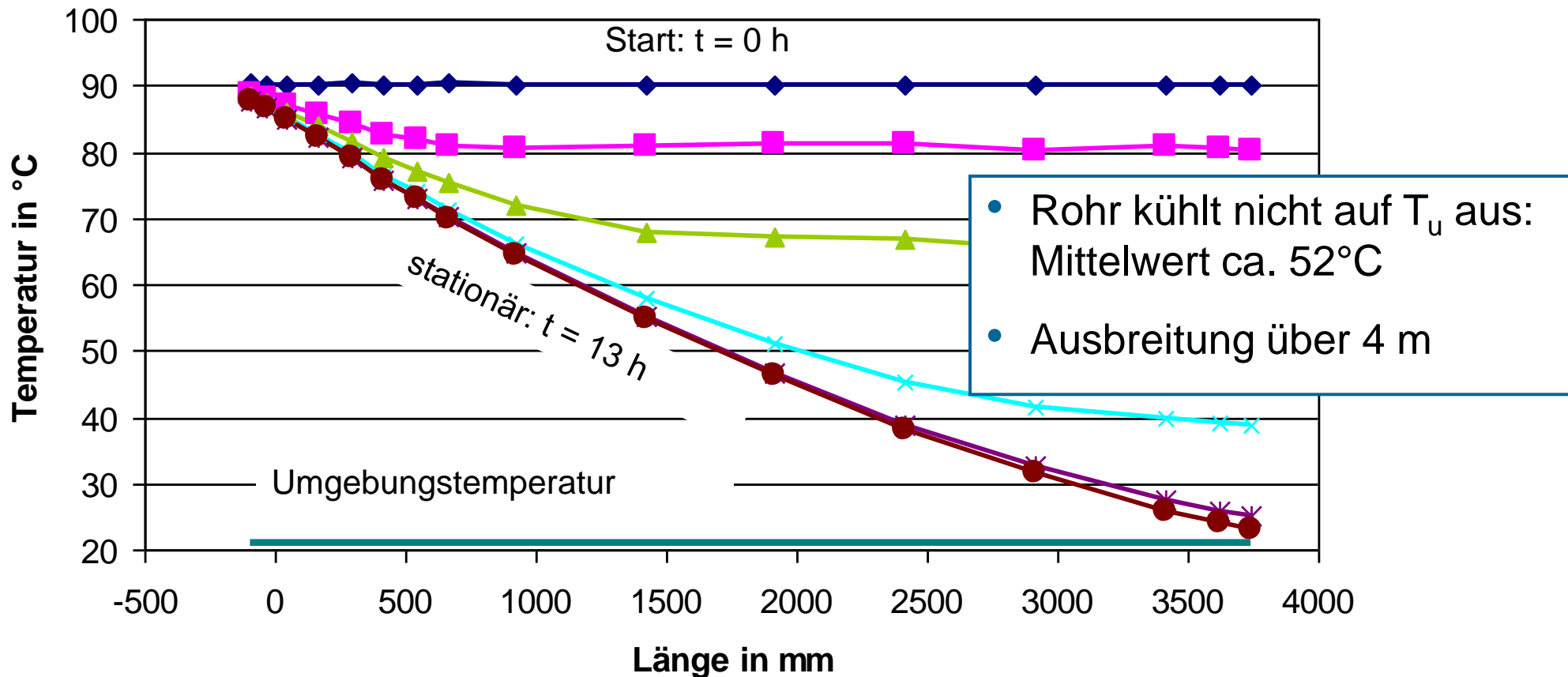
Beispiel: Kupferrohr 22x1

Messdaten



- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

Messrohrtemperatur vs. Ort auf Messrohr, Parameter: Zeit in Stunden

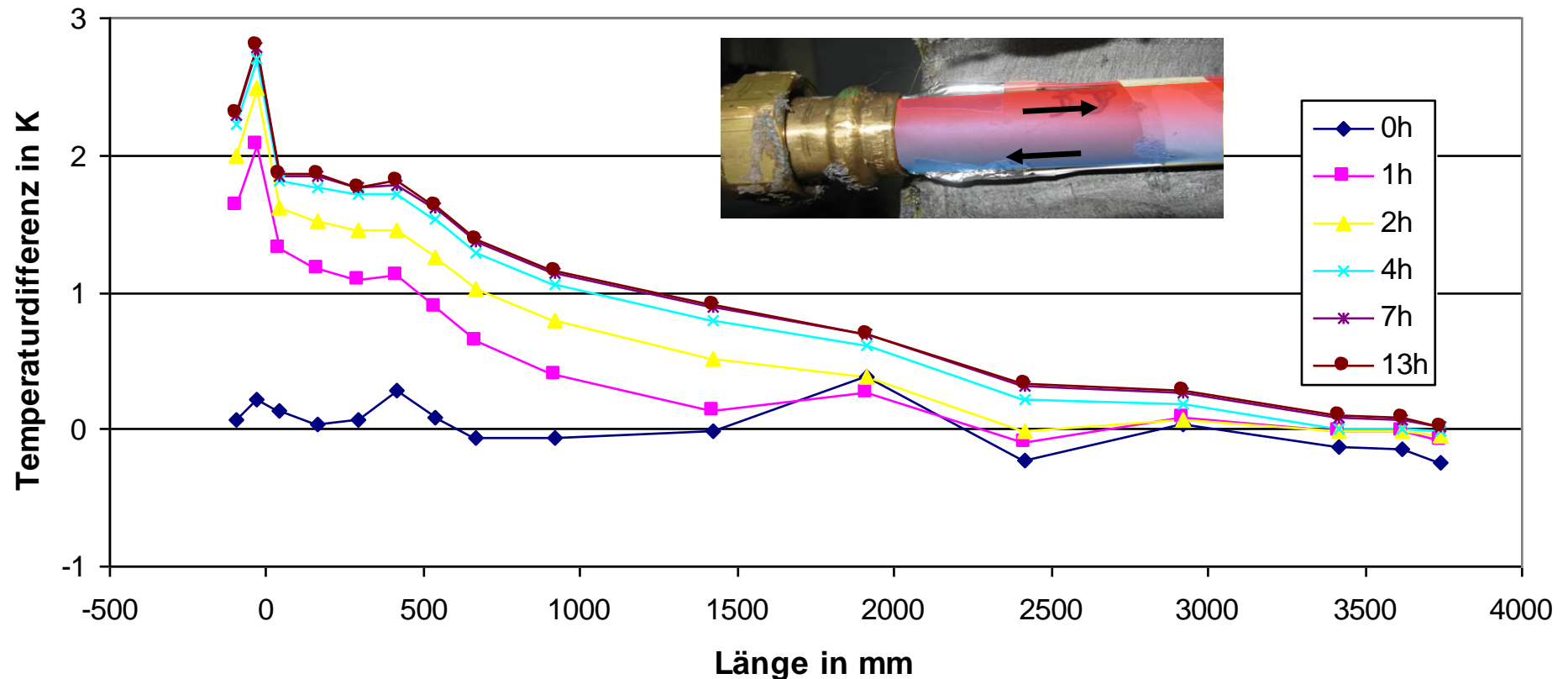


Beispiel: Kupferrohr 22x1

Nachweis der geschichteten Strömung

- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^{\circ}\text{C}$, 100% Dämmung

Temperaturdifferenz zwischen Rohr-oben und Rohr-unten vs. Ort auf Messrohr, Parameter: Zeit in Stunden



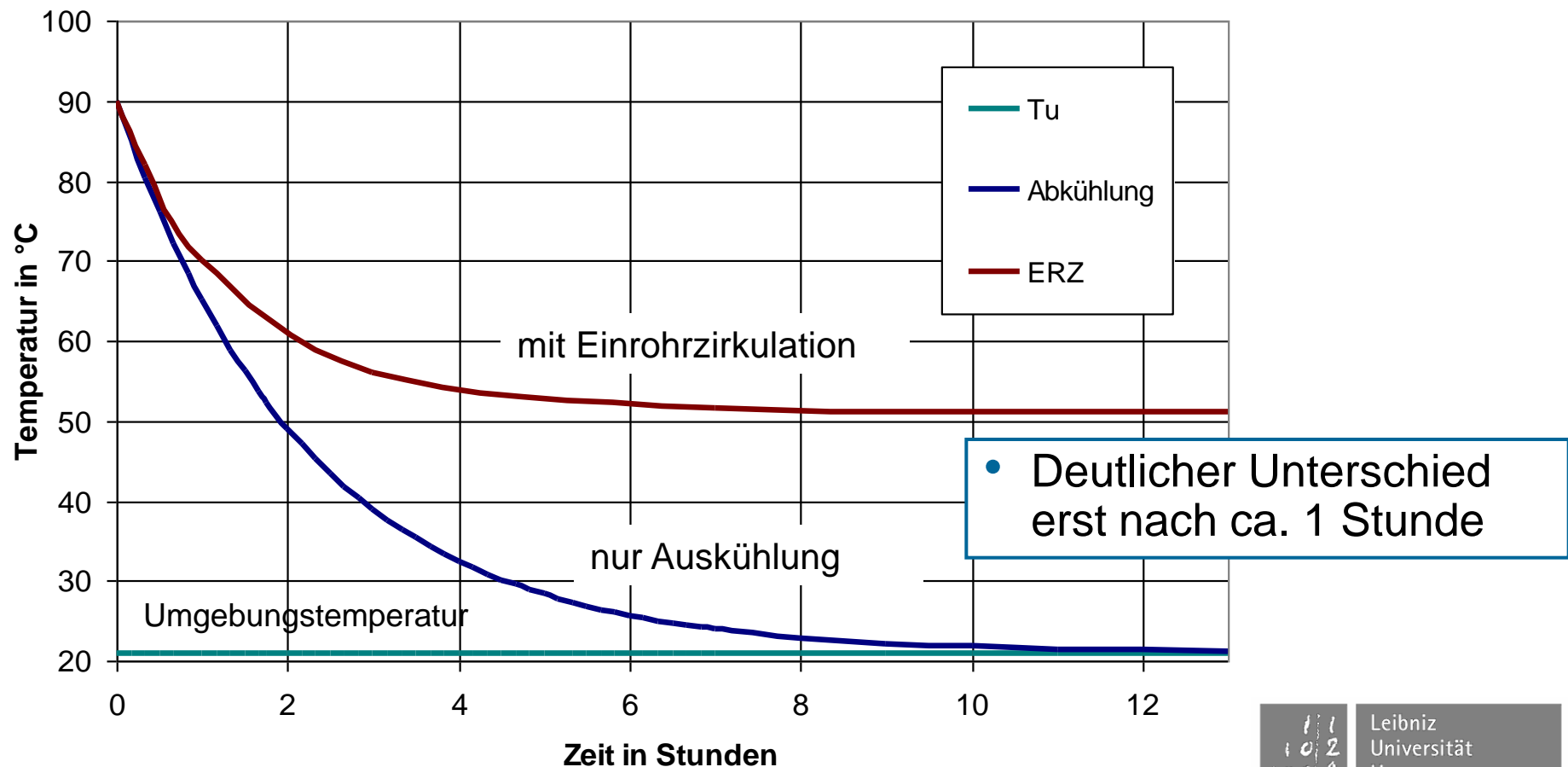
Beispiel: Kupferrohr 22x1

Einrohrzirkulation und Abkühlung



- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

Mittlere Messrohrtemperatur vs. Zeit und berechnete Abkühlkurve



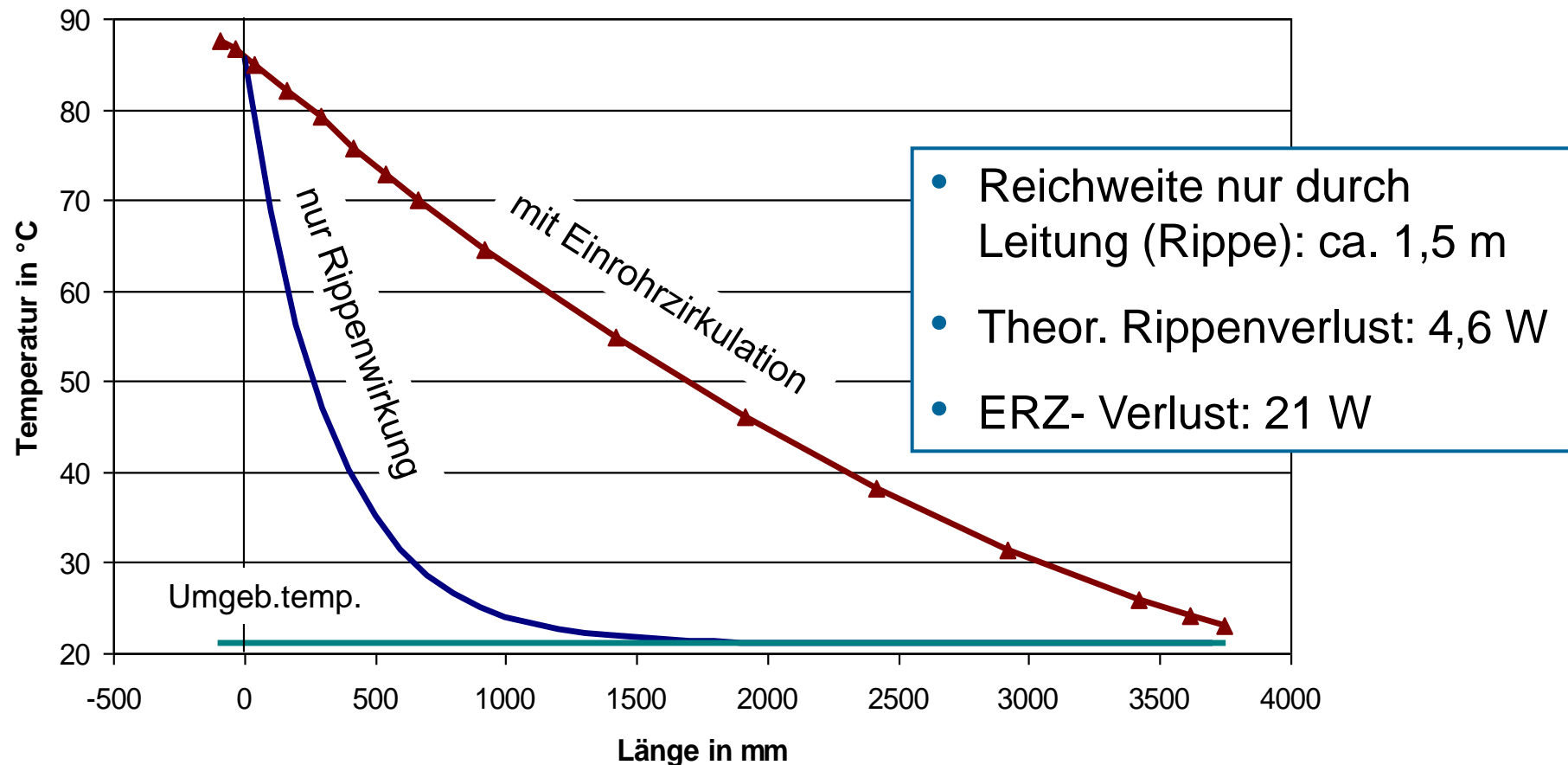
Beispiel: Kupferrohr 22x1

Einrohrzirkulation u. Leitung im Rohr



- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

Stationäre Messrohrtemperatur vs. Ort und berechnete Rippenwirkung



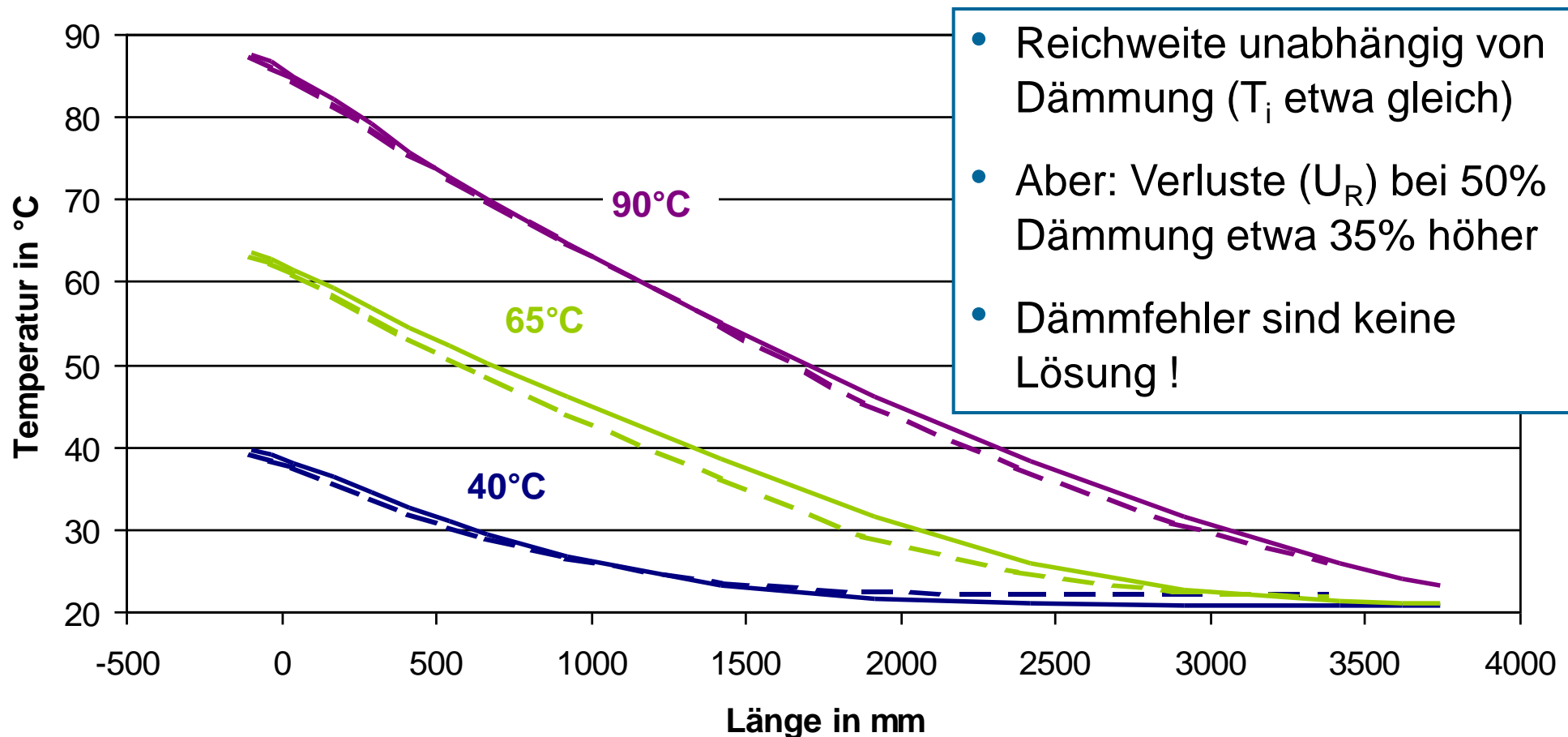
Beispiel: Kupferrohr 22x1

Dämmstärke u. Speichertemperatur

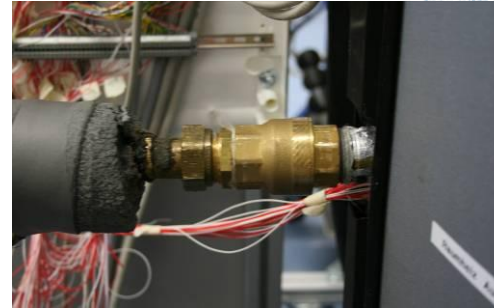


- direkt, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90 / 65 / 40^\circ\text{C}$, 50% u. 100% Dämmung

Stationäre Messrohrtemperatur vs. Ort, Parameter Dämmung u. T_{Speicher}



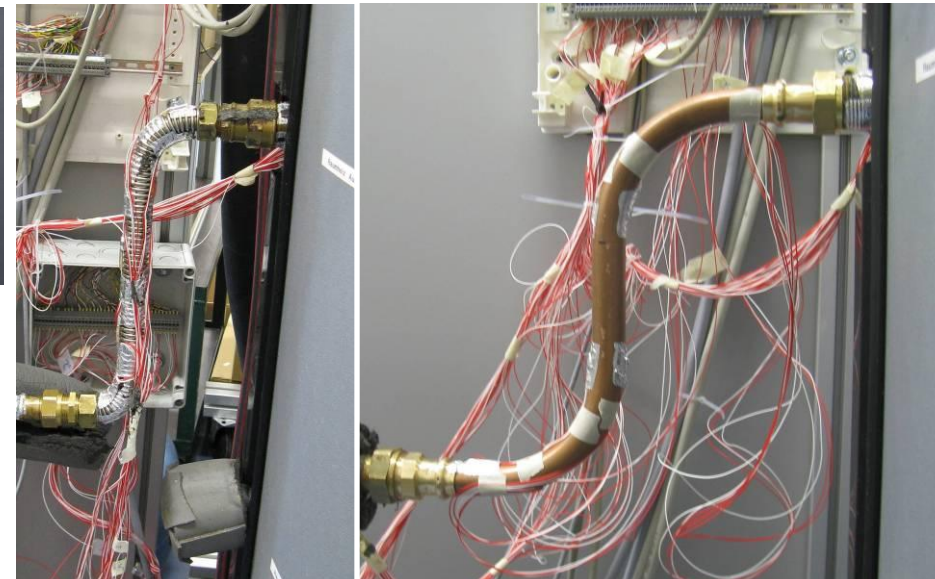
- Rückflussverhinderer (RFV), mit und ohne Defekt
- Stopfen (für Anschluss von innen), nur als Vergleichsmaßnahme



- CONVECTROL®



- Siphons (Stufenprofile) aus Kupfer u. Edelstahl



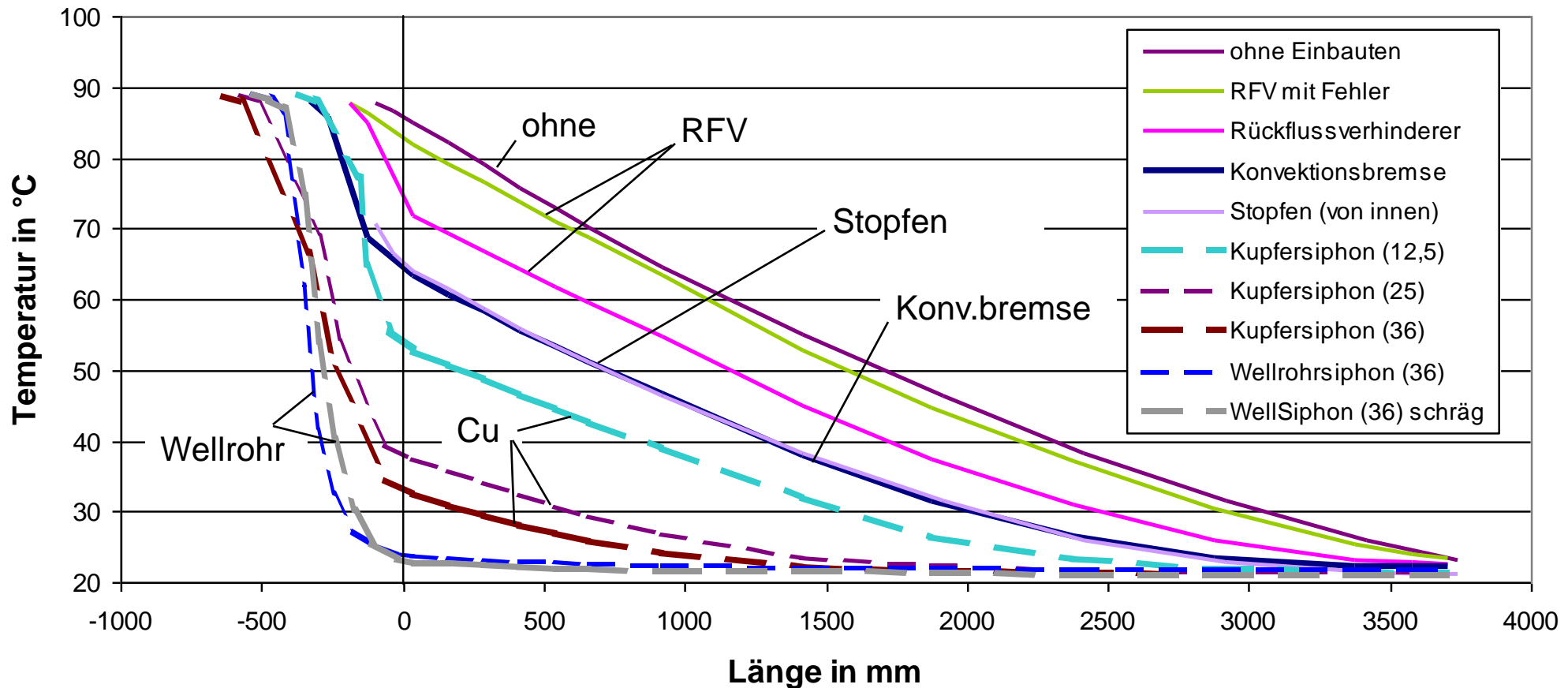
Kupferrohr 22x1 waagrecht

Zusammenfassung der Varianten



- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

Stationäre Messrohrtemperatur vs. Ort

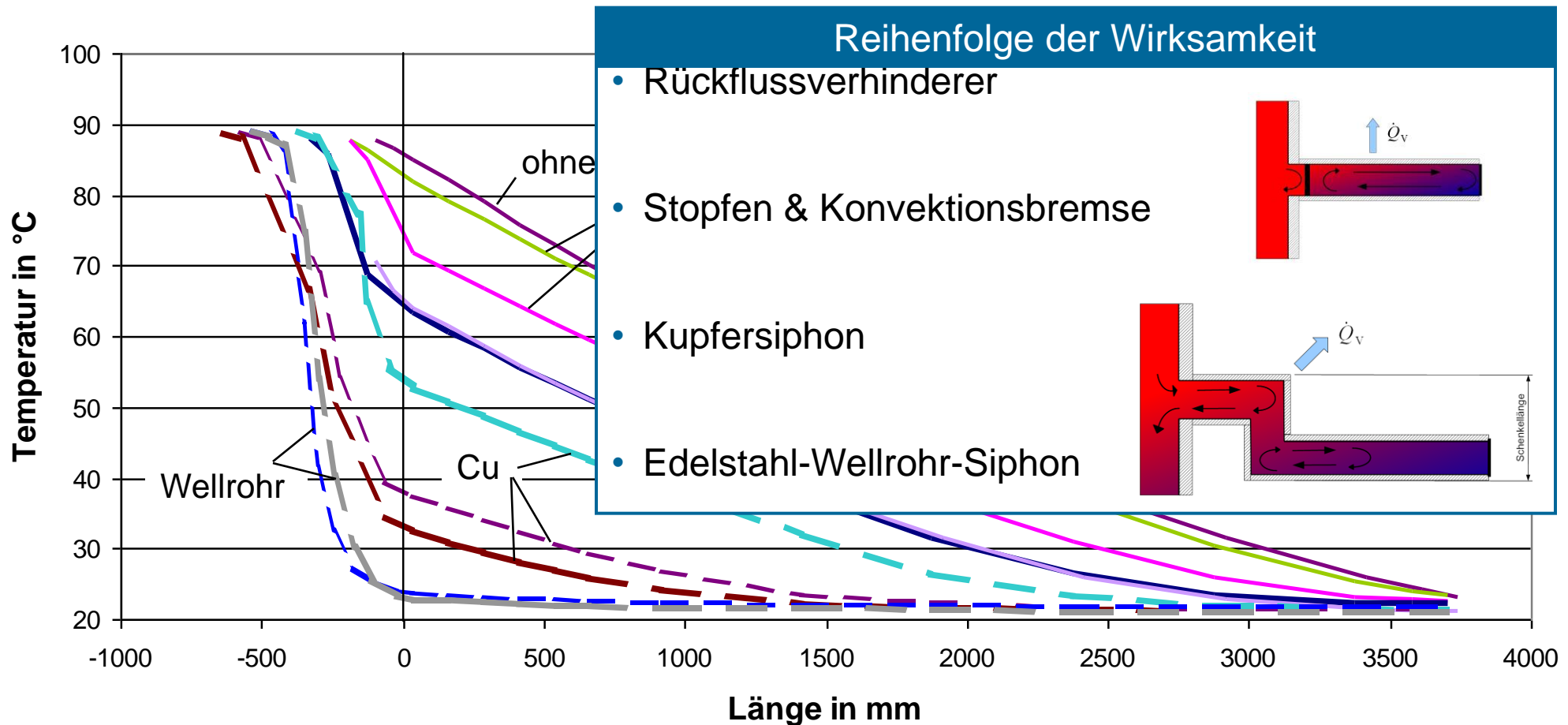


Kupferrohr 22x1 waagrecht

Zusammenfassung der Varianten

- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

Wirksamkeit der Maßnahmen, erkennbar am Temperaturverlauf



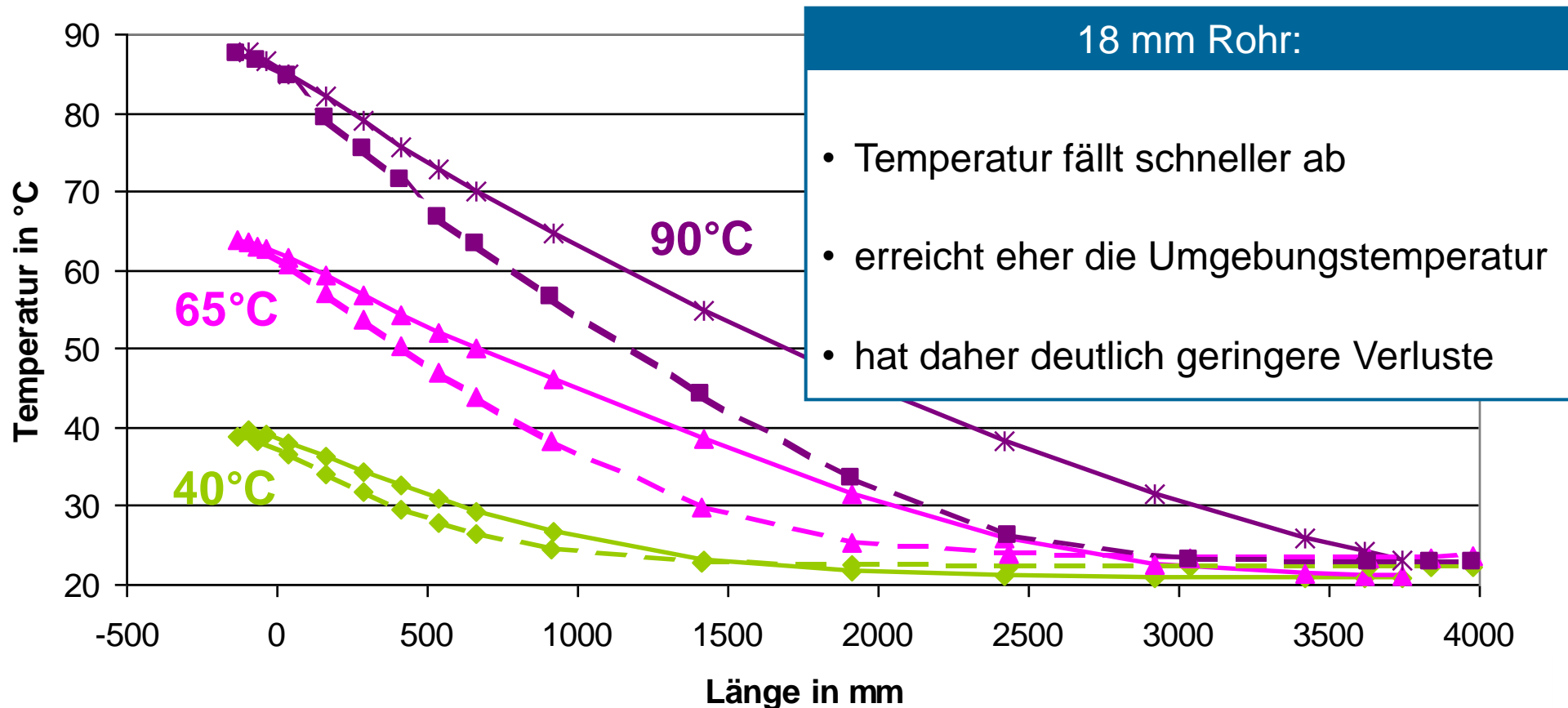
Kupferrohr waagrecht

Vergleich 22x1 und 18x1



- direkt angeschlossen, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90 / 65 / 40^\circ\text{C}$, 100% Dämmung

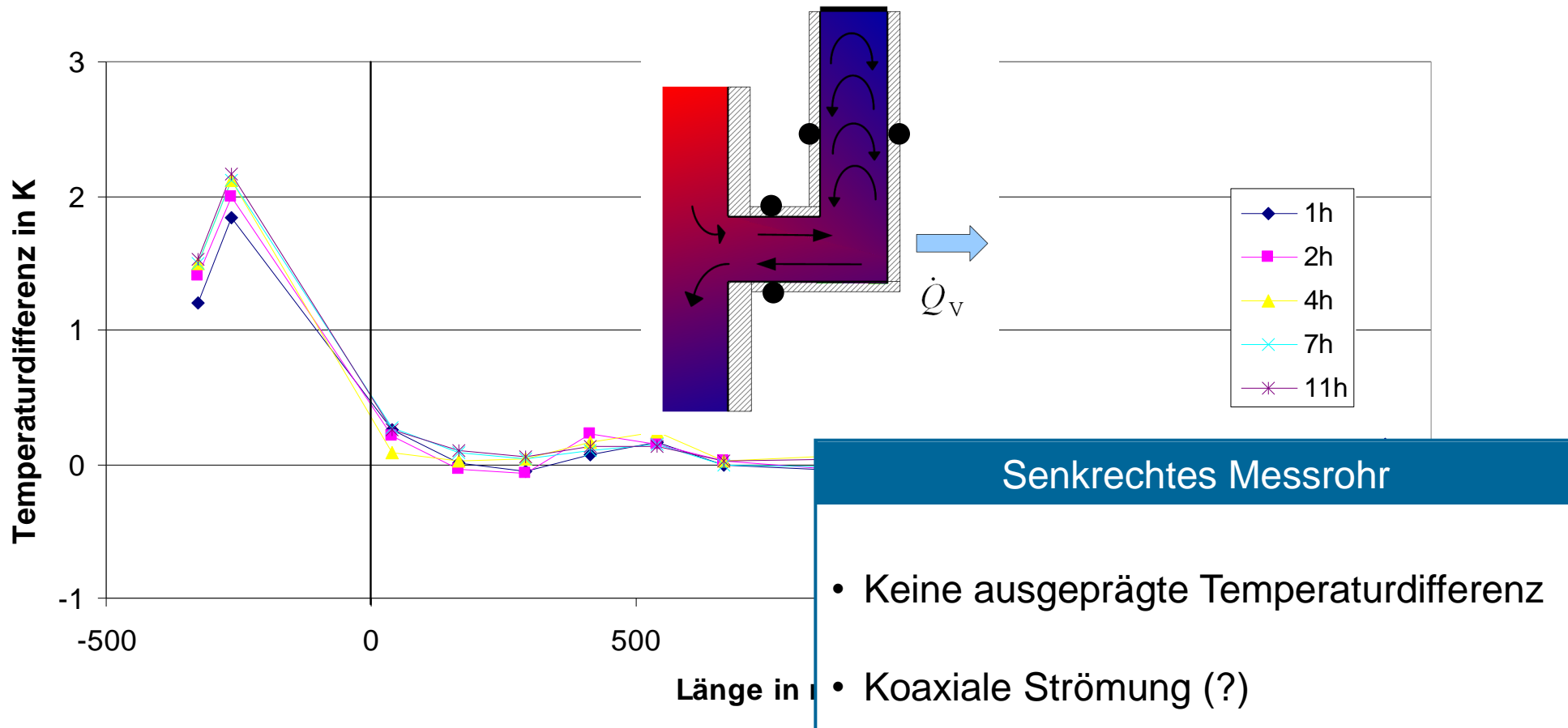
Stationäre Messrohrtemperatur vs. Ort



ERZ im senkrechten Rohr

- seitlich angeschlossen, senkrecht, $T_{\text{Speicher}} = 90^\circ\text{C}$, 22x1, 100% Dämmung

Temperaturdifferenz zwischen Rohr-links und Rohr-rechts vs. Ort auf Messrohr, Parameter: Zeit in Stunden



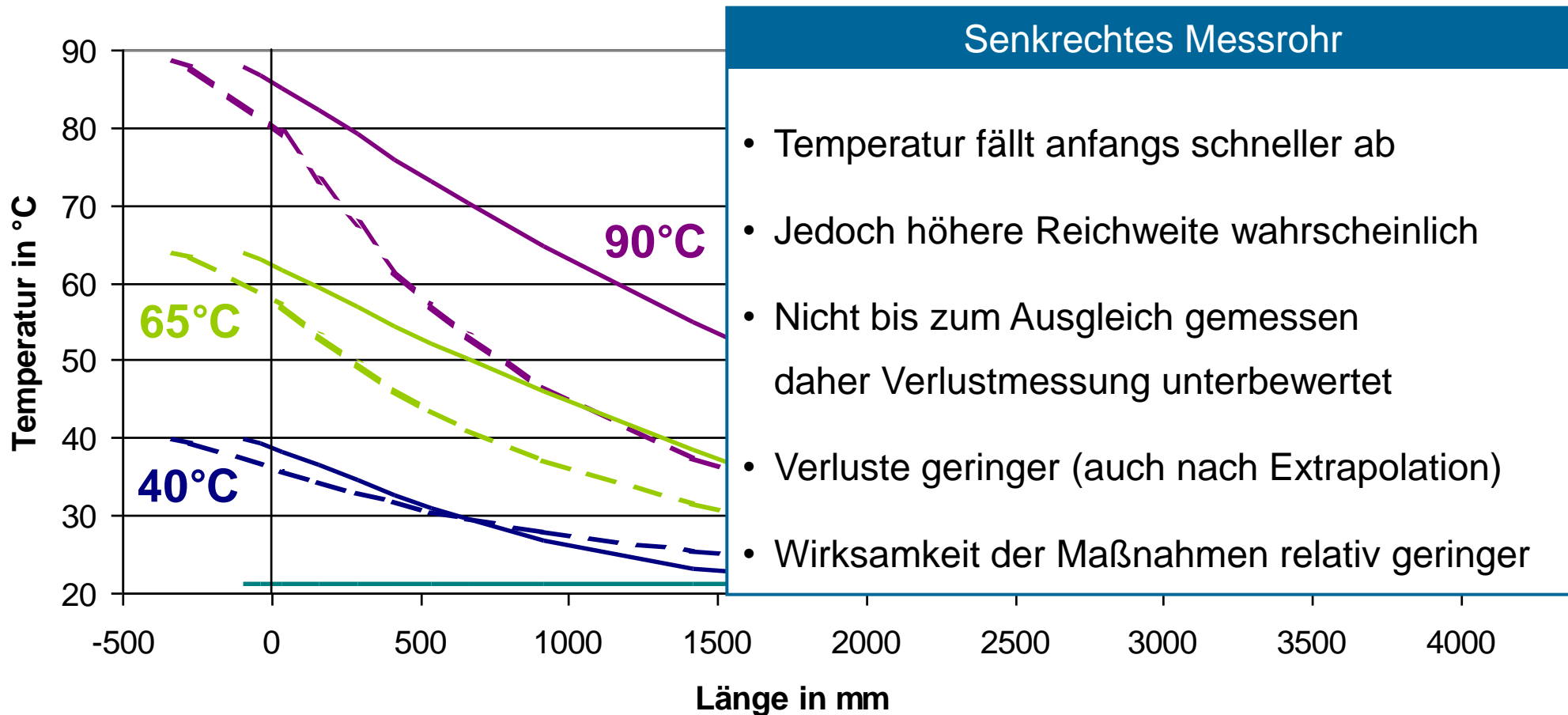
Kupferrohr 22x1

Vergleich senkrecht und waagrecht



- seitlich angeschlossen, $T_{\text{Speicher}} = 90 / 65 / 40^\circ\text{C}$, 22x1, 100% Dämmung

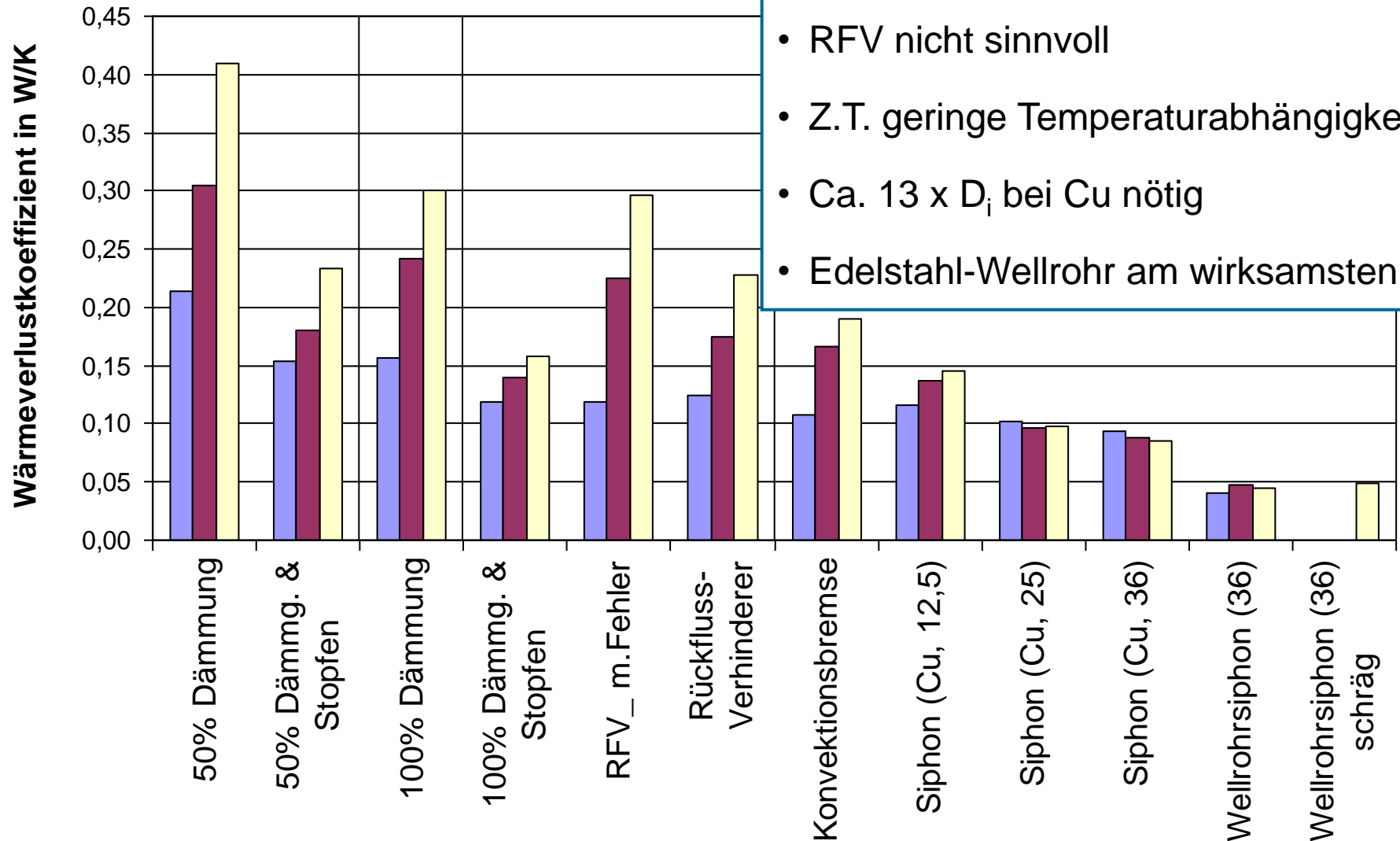
Stationäre Messrohrtemperatur vs. Ort



Wärmeverlustkoeffizient in W/K als Funktion der Anschlussart



- Cu, 22x1, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 40 / 65$

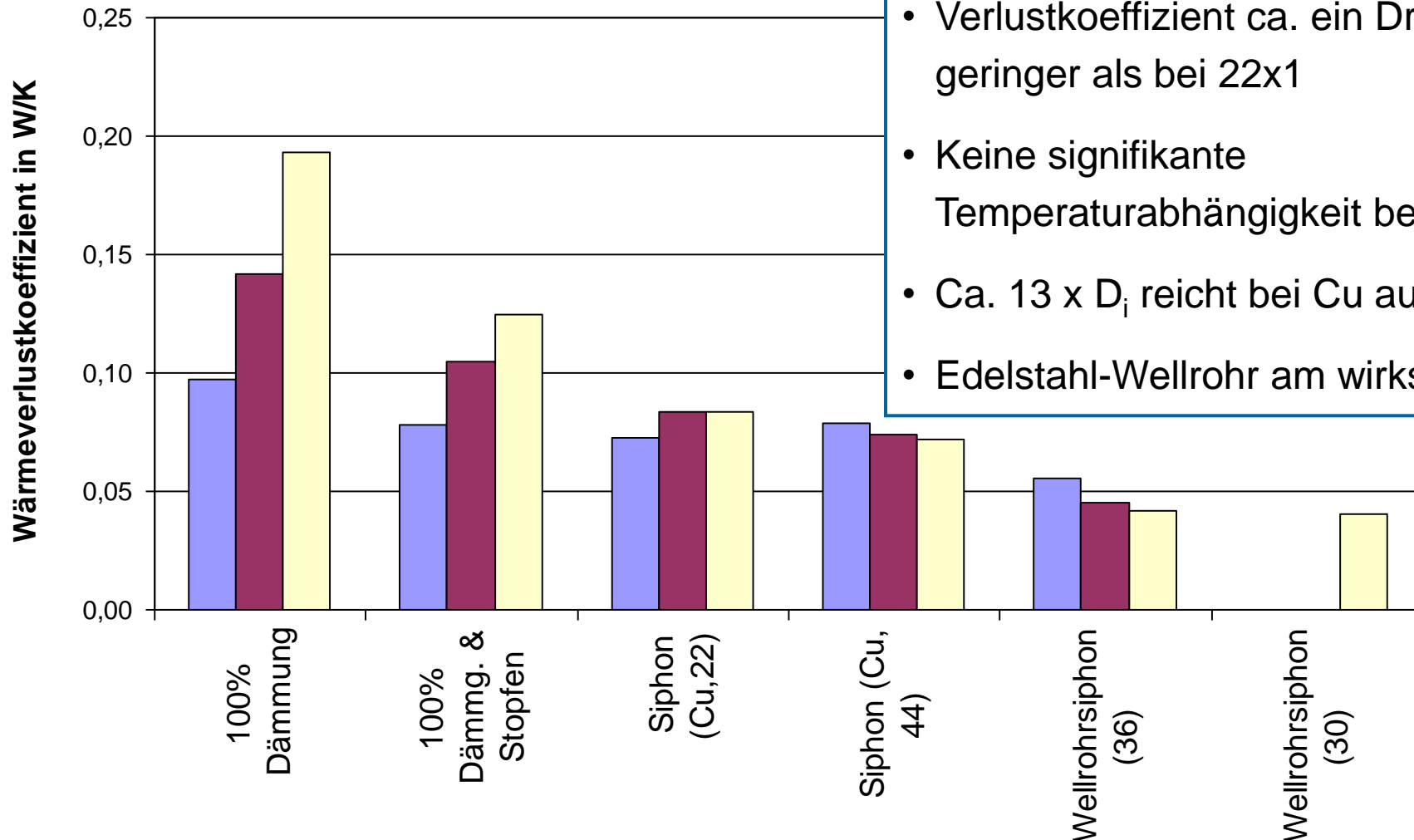


- Gute Dämmung ist wesentlich
- RFV nicht sinnvoll
- Z.T. geringe Temperaturabhängigkeit
- Ca. $13 \times D_i$ bei Cu nötig
- Edelstahl-Wellrohr am wirksamsten

Wärmeverlustkoeffizient in W/K als Funktion der Anschlussart



- Cu, 18x1, waagrecht, $T_{\text{Speicher}} = 40 / 65 / 90^\circ\text{C}$

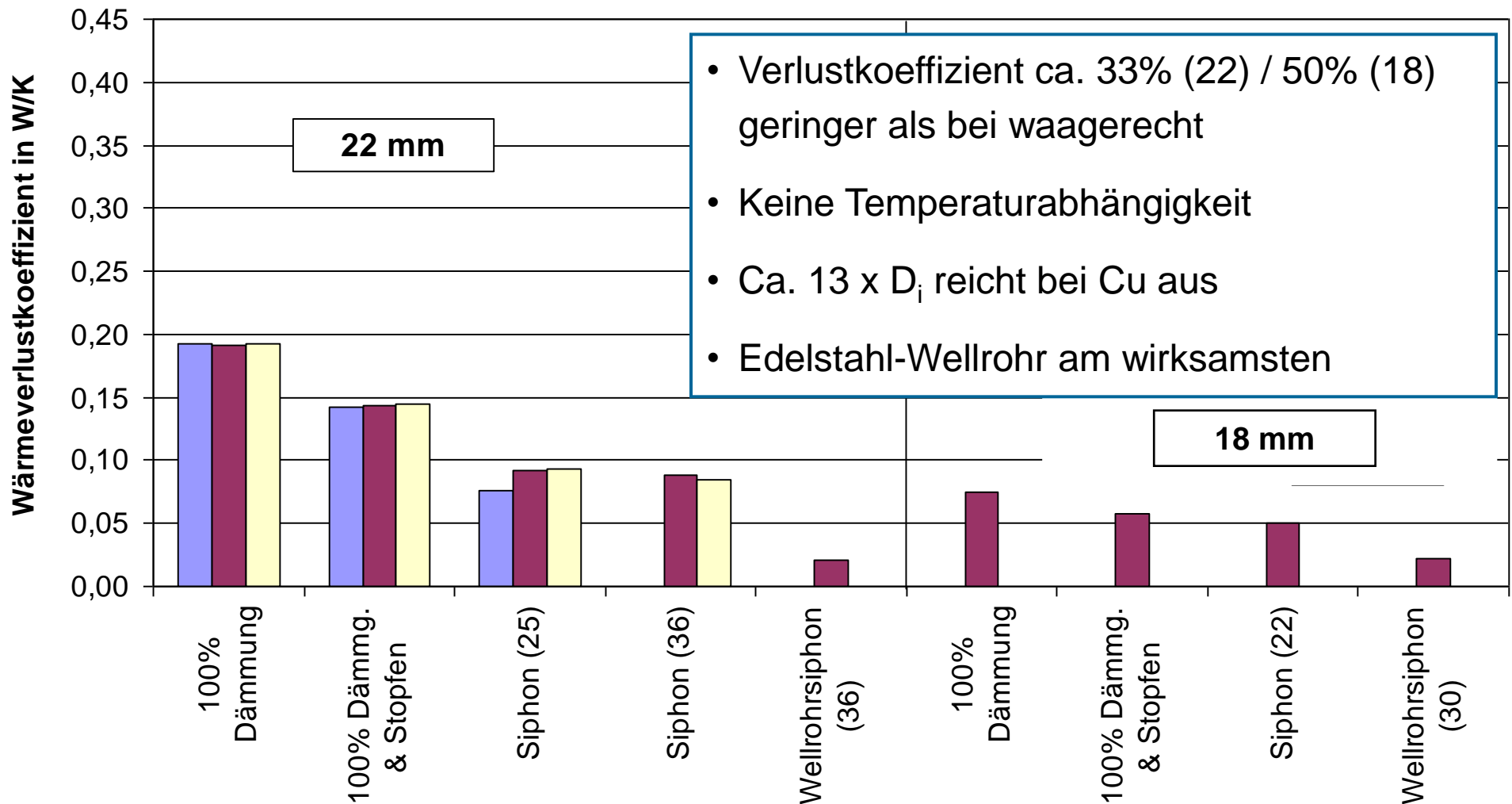


- Verlustkoeffizient ca. ein Drittel geringer als bei 22x1
- Keine signifikante Temperaturabhängigkeit bei Siphon
- Ca. $13 \times D_i$ reicht bei Cu aus
- Edelstahl-Wellrohr am wirksamsten

Wärmeverlustkoeffizient in W/K als Funktion der Anschlussart



- Cu, 22x1 und 18x1, senkrecht, $T_{\text{Speicher}} = 40 / 65 / 90^{\circ}\text{C}$



Zusammenfassung der bisherigen experimentellen Untersuchungen



- Reichweite bei Normalanschluss in Cu 22x1 bis ca. 4 m
- Verlustkoeffizient bis 0,3 W/K bei 100% Dämmung
- „Waagrecht schlechter als senkrecht“
- Große Rohrdurchmesser ungünstiger
- Siphons sind am effizientesten
 - Cu-Siphons können eingesetzt werden (Stufe von ca. $13 \times D_i$)
 - Edelstahl-Wellrohr wesentlich wirksamer
- Konvektionsbremse wirkt wie kurzer Siphon (gut bei 40°C)
- Rückflussverhinderer: wenig Wirkung

- Wegen Dynamik (noch) kein Berechnungsverfahren verfügbar
- Bei geringen Betriebszeiten: ca. 100 kWh/a pro Anschluss (8000 h/a; 0,24 W/K; 50 K)
- Umwandlungsverluste Erzeuger hinzuzählen (auf hohem Temperaturniveau)
- Verluste durch Siphonoberfläche erst bei hohen Betriebszeiten größer als ERZ-Verluste (>6000 h/a; kurze Siphons!)
- ERZ kann umlaufende Thermosiphonströmung hervorrufen,
 - wenn diese nicht z.B. durch Absperreinrichtungen unterdrückt werden.
 - Beispiele: Beladeleitung von Kessel, Solarkreis mit defektem RFV etc.
 - Verluste 1 bis 2 Größenordnungen höher

ERZ-Maßnahmen: Leider kein Stand der Praxis



70 Solar-Combi-Anlagen untersucht:

Wurden Speicheranschlüsse als Siphon
ausgeführt? Ja bei 23%

Siehe auch Speicherliste der Sonne Wind & Wärme 12/2010:
Bessere Unterstützung der Industrie wäre hilfreich!

ERZ nicht nur an Speicheranschlüssen ...



- Kesselanschlüsse wie Kesselkaskaden, Ladeleitungen zwischen Kessel und Speicher
- Verteilerleitungen (Vor- und Rücklauf) und Abzweige, hydraulische Weichen
- Externe Wärmeübertrager

... dort, wo Anschlüsse an permanent (oft) beheizten Elementen vorliegen.

Reduktion der ERZ

Hinweise für die Installation



- Voraussetzung: Lückenlose 100%-Dämmung der Leitungen
- Möglichst geringeren inneren Rohrquerschnitt verwenden
- Siphons oder Stufenprofile am wirksamsten u. sichersten
 - Hierbei optimal: Edelstahl (Wellrohr), wobei Schenkellänge gering gehalten werden kann (Betriebsverluste)
 - Bei Cu-Siphons: Schenkellänge bzw. Stufenhöhe $13 \times D_i$
- Ungenutzte Speicheranschlüsse und Tauchhülsen gut überdämmen

Ausblick: Neues Projekt am ISFH



Titel: „Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen – Bewertung und Vermeidung“

Projektlaufzeit: 01.11.2011 – 31.10.2013 (Az. 29647 – 24/2)

Wesentliche Ziele:

- Messung von Wärmeverlusten an weiteren Speicheranschlussvarianten aber auch herstellerseitige Maßnahmen, wie schräge Anschlussstutzen u.ä.
- Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Abschätzung der durch ERZ entstehenden jährlichen Verluste in unterschiedlichen Speicherinstallationen
- Entwicklung von praxistauglichen Lösungen
- Wissenstransfer der Ergebnisse an die installierenden Gewerke und die Industrie

Projektpartner:

VIESMANN



SolarZentrum Hamburg



Gefördert durch:



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

... in Kooperation mit proKlima Hannover



Die vorgestellten Arbeiten wurden mit anteiliger Förderung von proKlima –
Der enercity Fonds durchgeführt.

Danke für die Förderung und den inhaltlichen Austausch ...



... und für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt:

Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal

Dipl.-Ing.(FH) Jan Steinweg

05151/999-645

steinweg@isfh.de