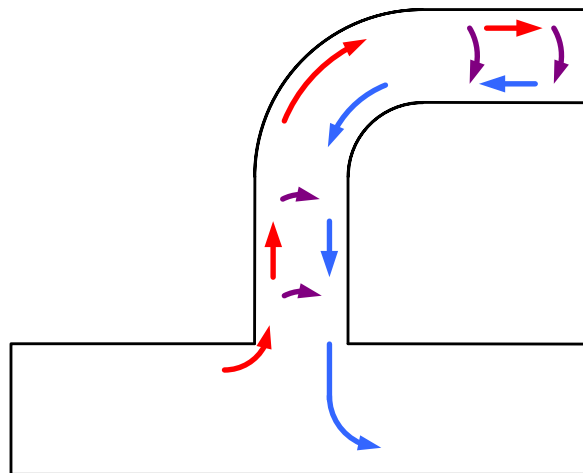


**Adrian Lauber**

**Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation in  
Speicheranschlussleitungen, und deren Verminderung  
mittels Konvektionsbremsen, Konvektionssperren und  
Wärmesiphons**

**Quantifizierung der Effekte mittels Messung**



Datum:15.02.2007

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	3
2	Abstract.....	4
3	Verzeichnisse.....	6
3.1	Bilderverzeichnis.....	6
3.2	Tabellenverzeichnis .....	7
3.3	Verwendete Formelzeichen .....	7
3.4	Indizes .....	8
3.5	Begriffe und Abkürzungen.....	8
4	Einleitung .....	9
4.1	Stand der Technik.....	9
4.2	Beschreibung der untersuchten Verluste .....	9
4.3	Hintergrund .....	9
4.4	Ziele.....	10
5	Berechnungsgrundlagen .....	11
6	Erhebung von bestehenden Speicherinstallationen .....	12
7	Messung von Rohrkonfigurationen .....	14
7.1	Messkonzept.....	14
7.2	Blockschemas.....	15
7.3	Aufbau und Auslegung.....	16
7.3.1	Speicher.....	16
7.3.2	Messrohre.....	18
7.3.3	Arbeitsmessung/Wärmeverlustleistung $Q^*$ .....	22
7.3.4	Regler .....	22
7.3.5	Datenerfassung/Temperatur .....	23
7.3.6	Rohrabschlussblock .....	23
7.3.7	Ventilatoren.....	23
7.3.8	Isolationswände .....	24
7.4	Unsicherheit der Messresultate.....	24
7.5	Durchführung der Messungen und Resultate .....	25
7.5.1	Wärmeverlustleistung Speicher $Q^*_{Sp}$ .....	25
7.5.2	Referenz-Wärmeverlustleistung $Q^*_{ref}$ .....	26
7.5.3	Wärmeverlustleistung $Q^*$ .....	27
8	Potentialabschätzung der möglichen Energieeinsparung .....	36
9	Empfehlung für die systematische Prüfung von Siphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen.....	39
10	Empfehlung zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen .....	40
11	Literaturverzeichnis .....	41

# 1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Anschlussleitungsverluste eines Wärmespeichers im Ruhezustand quantifiziert. Diese Verluste treten dann auf, wenn das ruhende Wasser in den Anschlussleitungen mit der Zeit abkühlt. Konzeptionsbedingt betreffen die Verluste hauptsächlich Installationen von Einfamilienhäusern (EFH).

## Hintergrund

Die Resultate dieser Arbeit dienen als Grundlage für Empfehlungen zur Reduktion von Wärmeverlusten an Wärmespeichern. Diese Empfehlungen sollen in die ‚Warmwassernorm‘ SIA 385 einfließen, die sich in Überarbeitung befindet. Diese Studie basiert auf einer gleichnamigen Diplomarbeit. Sie ist gegenüber der Diplomarbeit leicht ergänzt.

## Kernziele

- Erstellen einer bleibenden Messeinrichtung zur Quantifizierung von Anschlussrohrverlusten
- Katalog von gemessenen Wärmeverlusten

## Nebenziele

- Erhebung von installierten Konfigurationen in EFH
- Abschätzung von Wärmeverlusten durch Gegenstromzirkulation in der Schweiz
- Potentialabschätzung von erzielbarer Energieeinsparung in der Schweiz
- Empfehlung für systematische Prüfung von Siphons
- Empfehlung zur Gestaltung von Siphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen

## Erhebung von bestehenden Speicherinstallationen

Es sollten Rohrkonfigurationen untersucht werden, wie sie tatsächlich in EFH vorhanden sind. Zu diesem Zweck wurde eine Erhebung an Speichersystemen in EFH durchgeführt.

## Messung von Rohrkonfigurationen

In dieser Arbeit wurde eine Reihe von Rohrkonfigurationen an einen Versuchsspeicher angeschlossen und die Wärmeverlustleistung dieser Rohre gemessen. Es wurde ein Messkatalog mit unterschiedlichen Rohrmaterialien, Rohrformen und Rohrpositionen erstellt.

Die Messungen dienen drei Zielen:

- Datengrundlage für Empfehlungen zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen
- Validierung von CFD-Simulationen
- Potentialabschätzung von erzielbarer Energieeinsparung in der Schweiz

## Messresultate

Abhängig von der Rohrform veränderten sich die Wärmeverlusten deutlich. Bei Rohren mit grosser Materialwärmeleitfähigkeit lagen die Wärmeverlusten näher beieinander als bei Rohren mit tiefer Materialwärmeleitfähigkeit.

Gemessene Wärmeverlusten:

- |                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| - zwei Meter 1“-Chromstahlrohr | 0.43 – 0.75 |
| - zwei Meter 1¼“ Stahlrohr     | 0.55 – 0.72 |
| - ein Meter 12mm-PE-X-Rohr     | 0.10 – 0.73 |

Der Vergleich von drei Rohren, einem geraden Chromstahlrohr, einem geraden Chromstahlrohr mit Rückschlagsperre und einem geraden Chromstahlrohr mit Siphon, zeigten deutliche Unterschiede bei den Wärmeverlusten.

---

Gemessene Wärmeverluststraten:	horizontal	vertikal
- Gerades Rohr	0.61	0.43
- Rückschlagsperre	0.46	0.27
- Siphon	0.11	

### **Potentialabschätzung der möglichen Energieeinsparungen**

Basierend auf einer durchgeführten Erhebung und den Messergebnissen, wurde ein Energiespar-potential von rund 270GWh abgeschätzt. Dies entspricht 4‰ des Energieverbrauchs in Schweizer Haushalten.

### **Empfehlungen zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen**

Aus der vorliegenden Arbeit können zusammenfassend folgende Empfehlungen zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen gemacht werden:

- Anschlussrohre bewusst nach energetischen Gesichtspunkten gestalten
- Lange Verbindungsrohre vermeiden
- Die gesamten Anschlussrohre isolieren (inklusive Bögen, Übergänge und Armaturen)
- Wärmeverluste mittels Siphons, Konvektionsbremsen und Konvektionssperren vermindern
- Nur geprüfte Konvektionssperren einsetzen

## **2 Abstract**

This work quantifies the heat loss of connecting pipes on hot water tanks in standby mode. These losses occur while the standing water in the connecting pipes is cooling down. Bas on the installation concept, these losses are primarily restricted to one-family houses.

### **Background**

The results of this work provide a database to develop guidelines and recommendations to reduce heat losses at hot water tanks. These recommendations shall be integrated in the revision of the SIA 385 norm.

### **Main goals**

- Construction of a test equipment to quantify heat losses of connecting pipes
- Catalogue of measured heat loss rates

### **Side goals**

- Survey on installed hot water tanks in one-family houses
- Estimate of the total heat losses at connecting pipes in Switzerland
- Estimate of the energy saving potential in Switzerland
- Recommendations for systematic tests on siphons
- Recommendations for the design of siphons and convection brakes

### **Survey on installed hot water tanks**

A survey was made with actually installed configurations only, in different types of one-family houses.

### **Measuring of different pipe configurations**

In the measuring phase, several pipe configurations were connected to a heat store, to measure their heat loss. A catalogue with pipes of different materials, forms and in different positions was created.

The results shall serve three goals:

- Database to create guidelines
- Validation of CFD-simulations
- Estimate of the energy saving potential in Switzerland

### Measuring results

The heat loss rate varies a lot depending on the form of the pipe. Heat losses of pipes made of a material with high heat conduction vary only little.

Measured heat loss rates:

- |                           |             |
|---------------------------|-------------|
| - 2m 1"-chrome Steel pipe | 0.43 – 0.75 |
| - 2m 1¼" Steel pipe       | 0.55 – 0.72 |
| - 1m 12mm-PE-X pipe       | 0.10 – 0.73 |

Comparison of three chrome Steel pipes (straight, with convection brake and with a siphon) showed big differences in their heat loss rates.

Measured heat loss rates:	horizontal	vertical
- straight pipe	0.61	0.43
- convection brake	0.46	0.27
- siphon	0.11	

### Energy saving potential in Switzerland

Based on the survey and the measuring results, an energy saving estimate was made. The energy saving potential could amount about 270GWh. This represents 4‰ of the total energy use in Swiss households.

### Recommendations on the design of heat store connection pipes

Summarising this work, the following recommendations can be made:

- Smarter design of connecting pipes
- Avoid long connecting pipes
- Isolate the complete connecting pipe
- Reduce the heat losses by using siphons or convection brakes
- Use of tested convection brakes only

## 3 Verzeichnisse

### 3.1 Bilderverzeichnis

Abbildung 6.1: Schweizer EFH nach Bauperioden [4 und 5].....	13
Abbildung 7.1: Blockschema des Messaufbaus für die Referenz Wärmeverlustleistung $Q^*_{ref}$ ...	15
Abbildung 7.2: Blockschema des Messaufbaus für die Wärmeverlustleistung $Q^*$ .....	15
Abbildung 7.3: Rohranordnungsmöglichkeiten .....	16
Abbildung 7.4: Anordnung Temperatursensoren .....	16
Abbildung 7.5: Speicher ohne Isolation, vorne.....	17
Abbildung 7.6: Speicher ohne Isolation, hinten.....	17
Abbildung 7.7: Speicher isoliert .....	17
Abbildung 7.8: Handloch, abgekelbt .....	17
Abbildung 7.9: Druckausgleich/Entlüftung (Speicherunterseite).....	17
Abbildung 7.10: Rohrende mit Flansch.....	19
Abbildung 7.11: Rohrübergang-Speicher.....	19
Abbildung 7.12: Rohrübergang-Speicher offen.....	19
Abbildung 7.13: Stopfen als Rohrverschluss .....	19
Abbildung 7.14: L-Rohr isoliert .....	19
Abbildung 7.15: 90°-Bogen VSH-Pressfitting.....	19
Abbildung 7.16: Rückschlagsperre .....	20
Abbildung 7.17: Siphon ohne Isolation .....	20
Abbildung 7.18: Gemessene Anordnungen .....	20
Abbildung 7.19: Raumtemperatursensor TR1 mit Stahlhülse .....	23
Abbildung 7.20: Rohrabschlussblock.....	23
Abbildung 7.21: Ventilatoren.....	24
Abbildung 7.22: Mehrmalige Messung der Wärmeverlustleistung $Q^*_{sp}$ des Speichers.....	25
Abbildung 7.23: Rohranfang in der Speicherisolationshülle .....	26
Abbildung 7.24: Temperaturverläufe in den Messrohren .....	27
Abbildung 7.25: relative Wärmeverlustraten $\theta$ für das Messrohr 1 und 2 .....	30
Abbildung 7.26: Temperaturverläufe für Position 1 und Position 5 .....	30
Abbildung 7.27: Einfluss der Ventilatoren am Messrohr 2.....	31
Abbildung 7.28: Längenabhängige Wärmeverlustleistung $Q^*$ für Position 7 .....	31
Abbildung 7.29: Längenabhängige relative Wärmeverlustrate $\theta$ für Position 7.....	32
Abbildung 7.30: Temperaturverläufe $T_{sp}$ für die Messrohre 3 und 5 in Position 7 .....	32
Abbildung 7.31: Längenabhängige Wärmeverlustleistung $Q^*$ für Position 8.....	33
Abbildung 7.32: Längenabhängige relative Wärmeverlustrate $\theta$ für Position 8.....	33
Abbildung 7.33: Strahlungseinfluss auf die Speichertemperatur $T_{sp}$ .....	34
Abbildung 7.34: relative Wärmeverlustrate $\theta$ für das Messrohr 5.....	34
Abbildung 7.35: Vergleiche der relativen Wärmeverlustraten $\theta$ mit Rückschlagsperre und Siphon.....	35
Abbildung 8.1: Untersuchte Anschlussleitungen.....	36
Abbildung 9.1: Prinzipskizze für den angepassten Messaufbau .....	39

## 3.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1: Erhebungsergebnisse im Durchschnitt.....	12
Tabelle 6.2: Erhebungsergebnisse nach Installation.....	12
Tabelle 7.1: Gemessene Rohrkonfigurationen.....	21
Tabelle 7.2: Gemessene Wärmeverlustleistungen Speicher $Q^*_{Sp}$ .....	26
Tabelle 7.3: Gewählte Wärmeverlustleistungen Speicher $Q^*_{Sp}$ .....	26
Tabelle 7.4: Referenz-Wärmeverlustleistungen $Q^*_{ref}$ und Zeitkonstanten $\tau$ .....	27
Tabelle 7.5: Messrohr 1 / Gasrohr 1 1/4" gerade 2m .....	28
Tabelle 7.6: Messrohr 2 / Chromstahl 1" gerade 2m .....	28
Tabelle 7.7: Messrohr 3 / Chromstahl 1" L-Rohr 0.5m x L .....	28
Tabelle 7.8: Messrohr 4 / Chromstahl 1" L-Rohr 0.25m x L .....	28
Tabelle 7.9: Messrohr 5 / PE-X 12mm gerade und gebogen 1m (ohne Ventilatoren) .....	29
Tabelle 7.10: Messrohr 6 / Chromstahl 1" mit Rückschlagsperre gerade 2m .....	29
Tabelle 7.11: Messrohr 7 / Chromstahl 1" Siphon 2m .....	29
Tabelle 8.1: Zur Installation zugeordneter Wärmeverlust.....	37
Tabelle 8.2: Potential möglicher Energieeinsparung.....	38

## 3.3 Verwendete Formelzeichen

$Q^*$	W	Wärmeverlustleistung
$q^*$	W/K	Wärmeverlustrate
$q^{*'} $	W/(m·K)	Längenbezogene Wärmeverlustrate
$q^{*''}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Flächenbezogene Wärmeverlustrate
$Q$	J / Wh	Wärmeenergie / Wärmeverlust
$C$	J/K	Absolute Wärmekapazität
$c_p$	J/(kg·K)	Wärmekapazität
$W$	Wh, J	Arbeit, Energie
$P$	W	Leistung
$\theta$	-	Relative Wärmeverlustrate
$k$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wärmedurchgangskoeffizient
$\alpha$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wärmeübergangskoeffizient
$\lambda$	W/(m·K)	Wärmeleitfähigkeit
$T$	°C, K	Temperatur
$\Delta T$	K	Temperaturdifferenz
$\tau$	s	Zeitkonstante
$t$	s	Zeit
$\Delta t$	s	Zeitdifferenz
$m$	kg	Masse
$A$	m <sup>2</sup>	Fläche
$s$	m	Wandstärke / Plattendicke
$L$	m	Rohrlänge
$r$	m	Radius

### 3.4 Indizes

Kein Index	Bezieht sich auf das Messrohr
i	Innen
a	Aussen
B	Bezug
0	Zeitpunkt Null
1	Zeitpunkt Eins
el	Elektrisch
Sp	Speicher
ref	Referenz
U	Umgebung
W	Wasser

### 3.5 Begriffe und Abkürzungen

Aerotape	Isoliertape aus EPDM der Firma Aeroflex AG
Aeroflex	Isolierschläuche aus EPDM der Firma Aeroflex AG
CFD	Computational fluid dynamics, Numerische Strömungssimulation
EFH	Einfamilienhäuser
Gegenstromzirkulation	Strömung die gegen die eigentliche Strömungsrichtung auftritt (Mikrozirkulation)
Mapress	Rohrleitungssystem der Firma Geberit AG
Messrohr	Eine bestimmte Rohrkonfiguration (Rohrtyp, Form und Grösse)
Mikrozirkulation	Rohrinterne Gegenstromzirkulation in einem Bereich ohne erzwungene Strömung
Optiflex	Trinkwasserinstallationssystem der Firma Nussbaum, Rohrmaterial PE-X
POM	Polyoxymethylen
PUR	Polyurethan-Hartschaum
Sanipex (MT)	Trinkwasserinstallationssystem der Firma JRG, Rohrmaterial PE-X
SIA385	Norm: Warmwasserversorgungen für Trinkwasser in Gebäuden
Speicheranschlussrohren	Rohre, welche an den Warmwasserspeicher angeschlossen sind (Zu-, Abfluss und Wassererwärmer)
T	Temperatursensor
TR	Temperatursensor mit Aufzeichnungsfunktion
Verlustwärmerate	Verhältnis von gemessenem Wärmeverlustrate zum maximalen Wärmestrom bei Nenntemperatur
VSH	Rohrleitungssystem der Firma Tobler

## 4 Einleitung

### 4.1 Stand der Technik

Warmwasserspeicher weisen an den Anschlussleitungen besonders hohe Wärmeverluste auf. Die Anschlussrohre sind als Wärmebrücken zu betrachten, an denen die Verluste auf Grund von Konvektion und Wärmeleitung auftreten. Obwohl die Problematik der hohen Speicheranschlussverluste unter Experten seit den 80-er Jahren bekannt ist, wird die Thematik, zumindest in Europa, von den Herstellern und Installateuren weitgehend ignoriert.

Bisher gibt es weder systematische Untersuchungen, noch fundierte Empfehlungen zur Gestaltung von Speicherstutzen und Anschlussleitungen. Zum Einsatz von Siphons, Konvektionsbremsen und Konvektionssperren sind nur Erfahrungswerte und Faustregeln verfügbar. Für die Faustregeln sind keine Grundlagen bekannt.

### 4.2 Beschreibung der untersuchten Verluste

In dieser Arbeit werden die Anschlussleitungsverluste von Speichern im Ruhezustand quantifiziert. Diese Verluste treten dann auf, wenn das ruhende Wasser in den Anschlussrohren mit der Zeit abkühlt. Konzeptionsbedingt betreffen die Verluste hauptsächlich Installationen von Einfamilienhäusern (EFH). Mehrfamilienhäuser sind kaum betroffen, da dort die Anschlussleitungen durch technische Einrichtungen warm gehalten werden.

Das im Rohr ruhende Wasser kühlt durch die hohe spezifische Oberfläche, im Vergleich zum Speicherinhalt, viel schneller ab. Mit sinkender Temperatur steigt die Dichte des Wassers. Der entstehende Dichtegradient erzeugt im Rohr eine Mikrozirkulation. Liegt das angeschlossene Rohr auf gleicher Höhe oder oberhalb des Speicherstutzens, dehnt sich die Mikrozirkulation auf den Speicher aus. Das Wasser mit höherer Dichte fließt nach unten in den Speicher, Wasser mit niedriger Dichte und höherer Temperatur strömt ins Rohr. Durch die Mikrozirkulation wird der Speicher fortwährend entladen.

Die Wärmeleitung wird dann bedeutend, wenn sie in ungünstiger Kombination mit der Mikrozirkulation steht. Dieser Effekt tritt in einem ungeeigneten Siphon, einer Rückschlagsperre aus gut wärmeleitendem Material oder ähnlichen Einrichtungen auf. In diesen Fällen stellt sich eine Mikrozirkulation vor und nach der entsprechenden Einrichtung ein.

### 4.3 Hintergrund

Die Resultate dieser Arbeit sollen als Grundlage für Empfehlungen zur Reduktion von Wärmeverlusten an Wärmespeichern dienen. Diese Empfehlungen sollen in die ‚Warmwassernorm‘ SIA 385 einfließen, die sich in Überarbeitung befindet.

## 4.4 Ziele

Für diese Arbeit wurden die nachfolgenden Ziele festgelegt, wobei die Nebenziele lediglich als Ergänzung zur Hauptaufgabe angesehen wurden.

### Kernziele

- Erstellen einer bleibenden Messeinrichtung zur Quantifizierung von Anschlussrohrverlusten
- Katalog von gemessenen Wärmeverlusten

### Nebenziele

- Erhebung von installierten Konfigurationen in EFH
- Abschätzung von Wärmeverlusten durch Gegenstromzirkulation in der Schweiz
- Potentialabschätzung von erzielbarer Energieeinsparung in der Schweiz
- Empfehlung für systematische Prüfung von Siphons
- Empfehlung zur Gestaltung von Siphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen

## 5 Berechnungsgrundlagen

Wärmeenergie  $Q$  im statischen Zustand:

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Formel 1}$$

Wärmeverlustrleistung  $Q^*$  im statischen Zustand:

$$Q^* = k \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Formel 2}$$

Referenz Wärmeverlustrleistung  $Q^*_{ref}$  im dynamischen Zustand:

$$Q^*_{ref} = \frac{C \cdot \Delta T}{\tau} \quad \text{Formel 3}$$

Zeitkonstante  $\tau$  im dynamischen Zustand:

$$\tau = \frac{(t_1 - t_0)}{\ln\left(\frac{T_1 - T_U}{T_0 - T_U}\right)} \quad \text{Formel 4}$$

Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  für ebene Flächen:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad \text{Formel 5}$$

Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  für zylindrische Flächen:

$$\frac{1}{k_B} = \frac{A_B}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i \cdot r_i} + \sum \frac{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a \cdot r_a} \right) \quad \text{Formel 6}$$

Relative Wärmeverlustrate  $\theta$  nach R. Huhn Gleichung 50 [1]. Verhältnis der gemessenen Wärmeverlustrleistung  $Q^*$  einer bestimmten Rohrkonfiguration zur gemessenen Referenz Wärmeverlustrleistung  $Q^*_{ref}$  derselben Rohrkonfiguration bei Nenntemperatur im gesamten Rohr:

$$\theta = \frac{T_{Rohrwand} - T_U}{T_{Sp}(h_{Rohr}) - T_U} = \frac{Q^*}{Q^*_{ref}} \quad \text{Formel 7}$$

Wärmeverlustrate  $q^*$ ,  $q^{*'}$  und  $q^{*''}$ :

$$q^* = \frac{Q^*}{T_{Sp} - T_U} \quad q^{*'} = \frac{Q^*}{(T_{Sp} - T_U) \cdot L_{Rohr}} \quad q^{*''} = \frac{Q^*}{(T_{Sp} - T_U) \cdot A_{Rohr}} \quad \text{Formel 8}$$

Für die Übersichtsrechnungen wurden die untenstehenden Wärmeübergangskoeffizienten verwendet. Mangels Materialkennwerten der Hersteller wurden die nachfolgenden Wärmeleitfähigkeiten aus Tabellen entnommen [2]:

Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  [W/(m<sup>2</sup>K)] [2]

Wasser ruhend im Rohr	150
Luft strömend	50
Luft stehend	15

Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [W/(mK)] [2]

Stahl 37	70
Chromstahl	14
PE-X	0.43

## 6 Erhebung von bestehenden Speicherinstallationen

### Vorgehen

Es sollten Rohrkonfigurationen untersucht werden, wie sie tatsächlich in EFH vorhanden sind. Zu diesem Zweck wurde eine Erhebung an Speichersystemen in EFH durchgeführt. Auf die Erhebung von dezentralen Speicher/Wassererwärmer-Systemen in Mehrfamilienhäusern wurde trotz ihrer weiten Verbreitung verzichtet. Diese Systeme haben die Wasseranschlüsse überwiegend auf der Speicherunterseite, was einem Siphon entspricht. Dadurch sind deren Anschlussverluste bereits stark begrenzt.

Für die Auswertung waren die Installationsdetails entscheidend. Deshalb war eine Begehung aller Anlagen notwendig. Aufgrund des beschränkten Zeitrahmens dieser Arbeit wurde die Erhebung auf zehn EFH beschränkt. Die Auswahl wurde so getroffen, dass das Alter der Anlage einen Querschnitt über einen Zeitrahmen von 25 Jahren gibt, und alle Anlagen von einem anderen Handwerker installiert wurden.

### Erhebungsergebnisse

Durchschnittliches Baujahr	1995
Speichergösse	303 l
Autonom/Elektrisch	30 %
Standort Waschküche	50 %
Separater Heizungsraum	20 %
Heizband auf Verteilerrrohr	10 %
Leitungsabgänge nach oben	90 %
Leitungslänge zum Verteiler	2.9 m
Leitungslänge zum Kessel	3.3 m

Verbindungsleitung	Speicher-Kessel H1	Speicher-Verteiler	Speicher-Kessel H2	Speicher-Verteiler
Installationsjahr	1979		1985	
Rohranschluss Speicher		oben	Kombigerät in einem Gehäuse.	
Rohrform		gerade	Kein Rohranschluss und kein Verteiler sichtbar.	
Länge oberhalb des Anschlusses [m]		0.05		
Gesamtlänge [m]		0.05		
Isolation		nein		
	<b>H3</b>		<b>H4</b>	
Installationsjahr	1987		1995	
Rohranschluss Speicher	seitlich nach unten	unten	seitlich	oben
Rohrform	Z-Rohr	U-Rohr	Z-Rohr	L-Rohr
Länge oberhalb des Anschlusses [m]	0.1x(-1)x0.5	(-0.1)x0.5x2.2	0.5x1.5x12	0.6x0.4
Gesamtlänge [m]	1.6	9.6	17.3	1
Isolation	ja	ja	ja	ja
	<b>H5</b>		<b>H6</b>	
Installationsjahr	1996		1997	
Rohranschluss Speicher	seitlich	seitlich		oben
Rohrform	C-Rohr	Z-Rohr		L-Rohr
Länge oberhalb des Anschlusses [m]	0.05x0.5x0.05	0.05x1.5x2		0.5x0.4
Gesamtlänge [m]	0.6	3.5		0.9
Isolation	ja	nein		ja

Verbindungsleitung	Speicher-Kessel	Speicher-Verteiler	Speicher-Kessel	Speicher-Verteiler
	<b>H7</b>		<b>H8</b>	
Installationsjahr	1998		2003	
Rohranschluss Speicher	unten	oben		oben
Rohrform	U-Rohr	L-Rohr		L-Rohr
Länge oberhalb des Anschlusses [m]	(-0.3)x7.5x0.3	0.15x3.3		0.25x0.9
Gesamtlänge [m]	9.8	3.45		1.15
Isolation	ja	nein		ja
	<b>H9</b>		<b>H10</b>	
Installationsjahr	2005		2006	
Rohranschluss Speicher	seitlich	oben	seitlich	oben
Rohrform	Z-Rohr	L-Rohr	Z-Rohr	L-Rohr
Länge oberhalb des Anschlusses [m]	0.1x1x2	0.2x2	0.6x(-0.2)x0.3	0.1x0.3
Gesamtlänge [m]	3.9	12	1.1	0.4
Isolation	ja	ja	ja	nein

### Statistische Daten

Das Bundesamt für Statistik weist basierend auf der Volkszählung vom Jahr 2000 und der Baustatistik von 2005 einen Bestand von rund 880'000 EFH auf. Die Aufteilung nach Bauperioden ist in Abbildung 6.1 dargestellt.

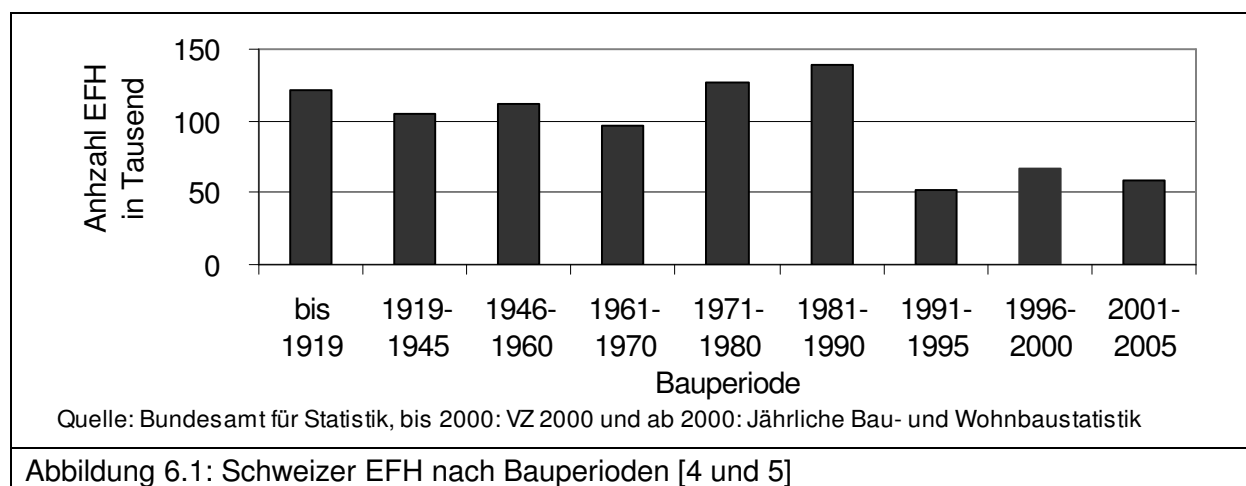


Abbildung 6.1: Schweizer EFH nach Bauperioden [4 und 5]

### Interpretation

Bei der Erhebung sind folgende Punkte an den Speichersystemen aufgefallen:

- Nur das Erfüllen des Installationszwecks ist wichtig, das ‚wie‘ ist nebensächlich
- Der Speicher, der Kessel und der Verteiler werden oft konzeptionslos platziert, dabei sind lange Verbindungsleitungen nicht unüblich
- Die Installation wird nur nach montagetechnischen Gesichtspunkten ausgeführt
- Die Speicheranschlüsse sind nie isoliert (Überwurfmutter etc.)
- Ventile und Verteiler werden nur selten isoliert
- Heizbänder und Zirkulationsleitungen an den Anschlussrohren sind nicht verbreitet

## 7 Messung von Rohrkonfigurationen

In dieser Arbeit wurde eine Reihe von Rohrkonfigurationen an einen Versuchsspeicher angeschlossen, und die Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}$  dieser Rohre gemessen. Es wurde ein Messkatalog mit unterschiedlichen Rohrmaterialien, Rohrformen und Rohrpositionen erstellt.

Die Messungen dienen drei Zielen:

- Datengrundlage für Empfehlungen zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen
- Validierung von CFD-Simulationen
- Potentialabschätzung der erzielbaren Energieeinsparungen in der Schweiz

### 7.1 Messkonzept

Für die Datengrundlage ist eine einfache Vergleichbarkeit der Messdaten wichtig. Als Darstellungs- und Vergleichsgrößen wurden die Wärmeverlustraten  $\dot{q}$ ,  $\dot{q}'$  und  $\dot{q}'''$  bezogen auf die Temperatur, die Rohrlänge oder Rohrinnenfläche und die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  gewählt. Die Darstellungsgrößen wurden mit der Formel 7 und der Formel 8 berechnet.

$$\theta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{ref}} \quad \text{Formel 7}$$

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{T_{Sp} - T_U} \quad \dot{q}' = \frac{\dot{Q}}{(T_{Sp} - T_U) \cdot L_{Rohr}} \quad \dot{q}''' = \frac{\dot{Q}}{(T_{Sp} - T_U) \cdot A_{Rohr}} \quad \text{Formel 8}$$

Zur Berechnung der Darstellungsgrößen musste die Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}$  der Rohrkonfigurationen gemessen werden. Für die Berechnung der relativen Wärmeverlustrate  $\theta$  musste zusätzlich die Referenz-Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}_{ref}$  gemessen werden. Dies ist die Wärmeverlustleistung, die auftritt, wenn das Wasser im gesamten Messrohr Speichertemperatur hat.

Entsprechend der vorwiegend gewählten Brauchwassertemperatur in Wohnhäusern wurde für die Messungen eine Speichertemperatur  $T_{Sp}$  von 60°C gewählt.

#### Referenz-Wärmeverlustleistung $\dot{Q}_{ref}$

Die Referenz-Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}_{ref}$  wurde im Bereich der Speichertemperatur  $T_{Sp}$  gemessen. Zur Bestimmung der Referenz-Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}_{ref}$  wurde ein gerades Messrohr von einem bestimmten Rohrtyp mit heissem Wasser gefüllt. Aus dem gemessenen Temperaturverlauf wurde für den Temperaturbereich  $T$  von 60°C±2.5°C die Wärmeverlustleistung  $\dot{Q}_{ref}$  (Formel 3) und die Zeitkonstante  $\tau$  (Formel 4) bestimmt. Der benutzte Messaufbau ist in Abbildung 7.1 dargestellt.

$$\dot{Q}_{ref} = \frac{C \cdot \Delta T}{\tau} \quad \text{Formel 3}$$

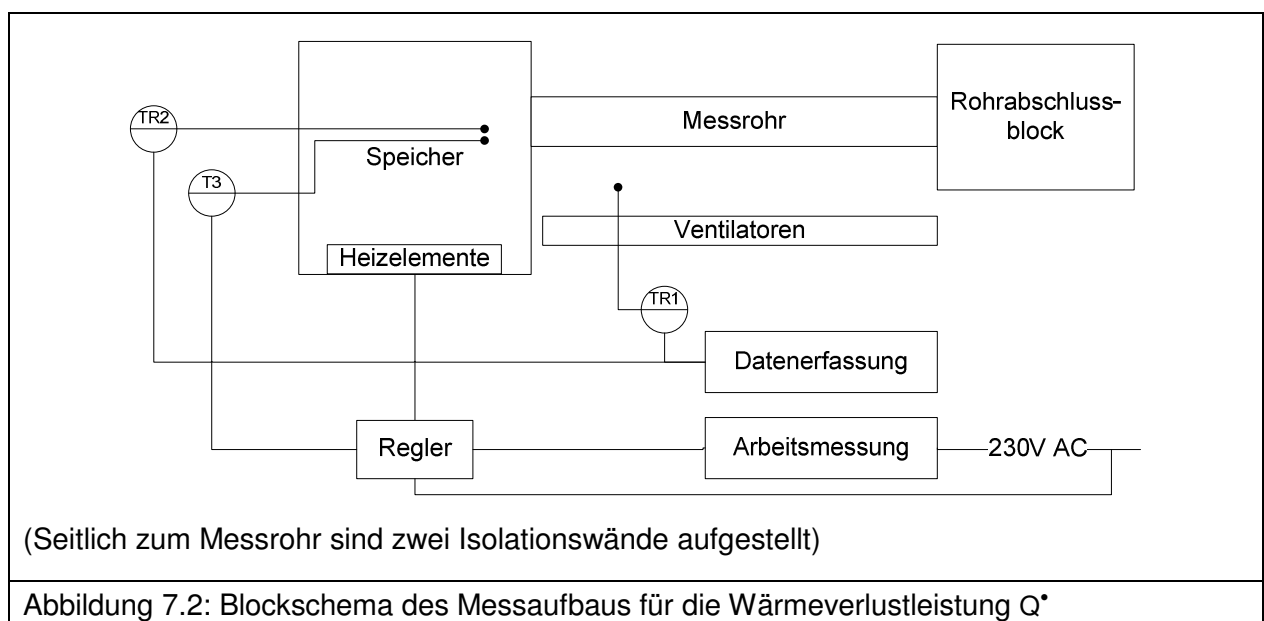
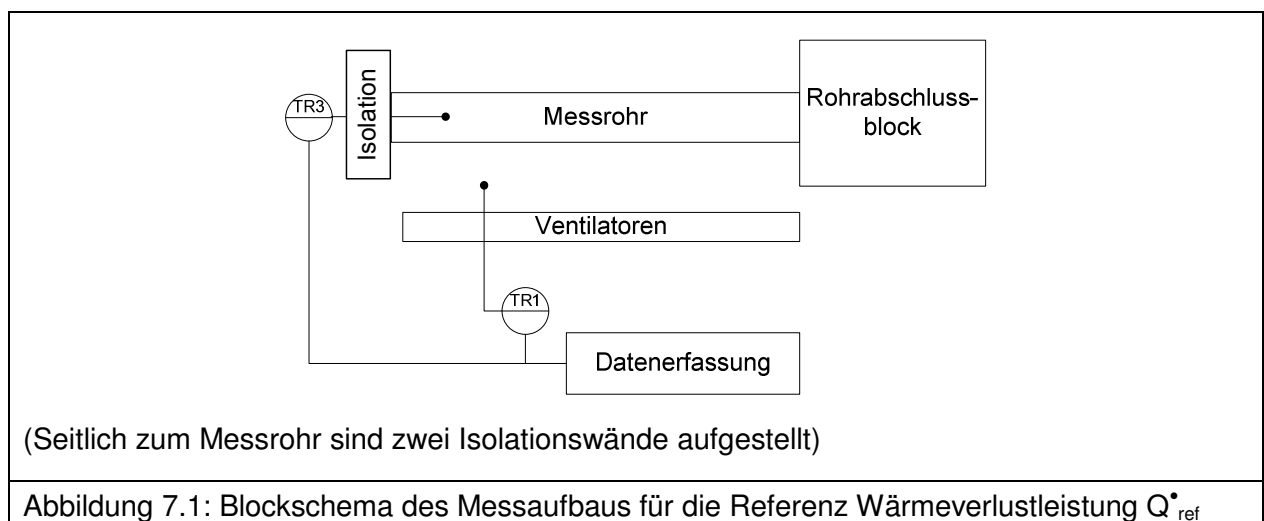
### Wärmeverlustleistung $Q^*$

Zur Bestimmung der Wärmeverlustleistung  $Q^*$  einer Konfiguration wurde das Messrohr an den Speicher angeschlossen. Der Speicher wurde als Blackbox betrachtet, von der nur die Wassertemperatur  $T_{Sp}$  und die Heizarbeit  $W_{el}$  gemessen wurden. Von der durchschnittlichen Heizleistung  $P_{el}$  wurde die Wärmeverlustleistung  $Q^*_{Sp}$  des Speichers abgezogen und daraus auf die Wärmeverlustleistung  $Q^*$  des Messrohres geschlossen (Formel 9). Der benutzte Messaufbau ist in Abbildung 7.2 dargestellt.

$$Q^* = P_{el} - Q^*_{Sp}$$

Formel 9

## 7.2 Blockschemas

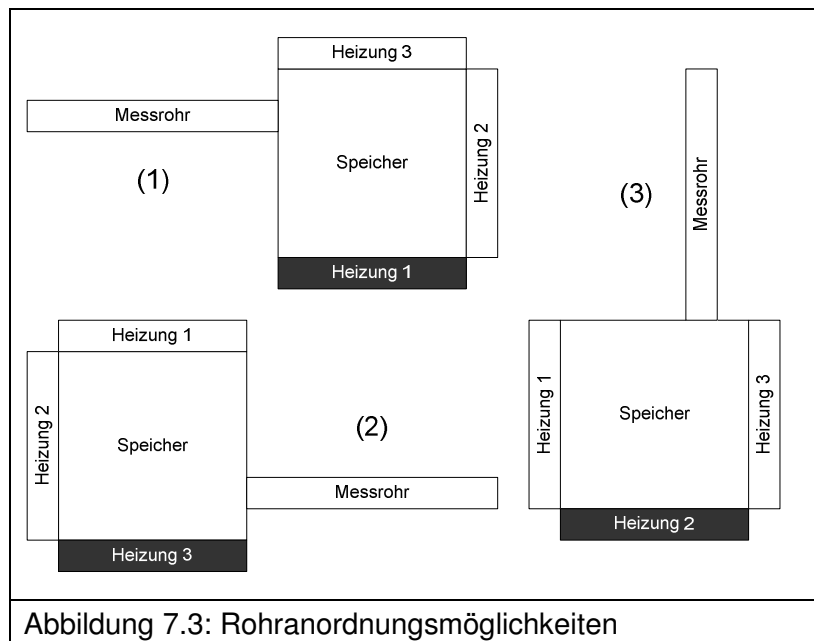


## 7.3 Aufbau und Auslegung

### 7.3.1 Speicher

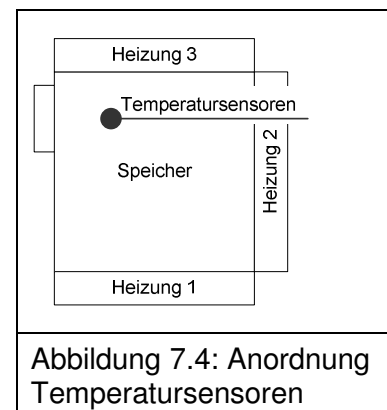
Die Messresultate sollten auch in einer CFD-Simulation nachvollziehbar sein. Da es für die CFD-Simulation vorteilhaft ist, eine einfache Geometrie zu haben, wurde ein würfelförmiger Speicher gebaut. Damit können mit einem Modell und nur wenigen Parameteranpassungen die drei Rohranordnungsmöglichkeiten in Abbildung 7.3 simuliert werden.

Der Speicher besass auf einer Seite einen exzentrischen Flanschanschluss und auf drei Seiten Heizelemente, wobei jeweils nur die nach unten liegende Heizung benutzt wurde. Durch diese Anordnung konnte ein Messrohr wahlweise horizontal oben (1), horizontal unten (2) oder vertikal (3) angebracht werden, wie dies in Abbildung 7.3 dargestellt ist. Bei den drei Lagemöglichkeiten sollten die Eigenschaften des Speichers gleich bleiben. Mit dem exzentrischen Flanschanschluss wurde diese Lageunabhängigkeit direkt überprüfbar.



Im Speicher waren zwei Temperatursensoren auf der Höhe vom Flanschanschluss montiert (Abbildung 7.4). Der Abstand zum Flansch betrug 85mm. Mit dem einen Sensor T3 wurde die Speichertemperatur geregelt (Kapitel 7.3.4). Der Sensor TR2 diente zur Aufzeichnung des Temperaturverlaufs (Kapitel 7.3.5).

Die Mikrozirkulation sollte sich möglichst unbehindert einstellen. Der Speicherinhalt durfte deshalb nur wenig eigene Turbulenz haben. Aus diesem Grund wurden für die Speicherkonstruktion 10mm Aluplatten verwendet, welche durch die hohe Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  die Heizenergie  $W_{el}$  effizient über die gesamte Speicheroberfläche verteilten. Die Plattendicke von 10mm erlaubte es auch, Anbauelemente direkt auf den Speicherkörper anzuschrauben. Für die Speicherbeheizung wurden pro Seite vier 100Ohm Präzisionswiderstände gewählt. Auf der Speicheraussenseite montiert, konnten sie die Wärmeenergie gleichmässig auf den Speicher übertragen. Die Versorgung mit 230VAC sorgte für eine schnelle Speicheraufheizung und ergab für die Regelphase ein Pulsverhältnis von maximal 1:6.



Damit mit diesem Speicher auch interne Siphons geprüft werden können, wurde eine Kantenlänge von 250mm gewählt. In der Speicherposition gemäss Abbildung 7.3-2 und mit dem Abstand der Temperatursensoren von 85mm zum Flanschanschluss besteht genügend Platz, damit ein interner Siphon eingebaut werden kann.

Um die Ungleichmässigkeit des Speichers möglichst klein zu halten, wurden Wärmebrücken jeglicher Art vermieden. Deshalb wurden der Druckausgleich und die Entlüftung einzig durch zwei Silikonschläuche mit einem Aussendurchmesser von 3mm an der Unterseite angebracht. Zur Entlüftung war ein Steigrohr bis zur Speicheroberseite eingebaut. Alle Nähte an der Isolationshülle wurden inwendig mit Isolationstape und auf der Aussenseite mit Klebeband abgedeckt.

In Abbildung 7.5 bis Abbildung 7.9 sind Details der Konstruktion dargestellt.

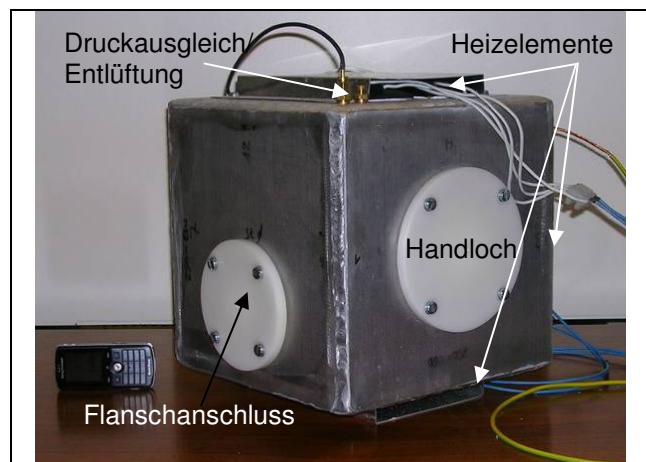


Abbildung 7.5: Speicher ohne Isolation, vorne



Abbildung 7.6: Speicher ohne Isolation, hinten

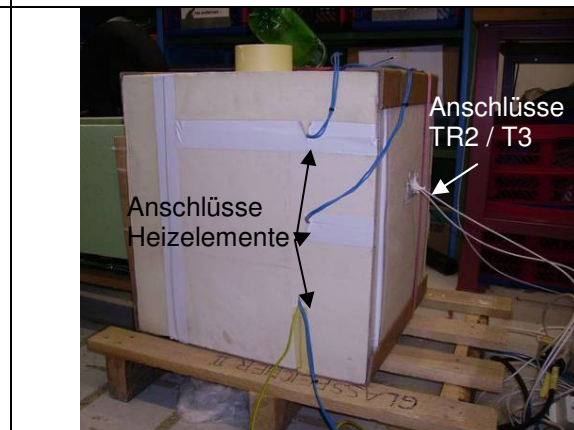


Abbildung 7.7: Speicher isoliert



Abbildung 7.8: Handloch, abgekelbt

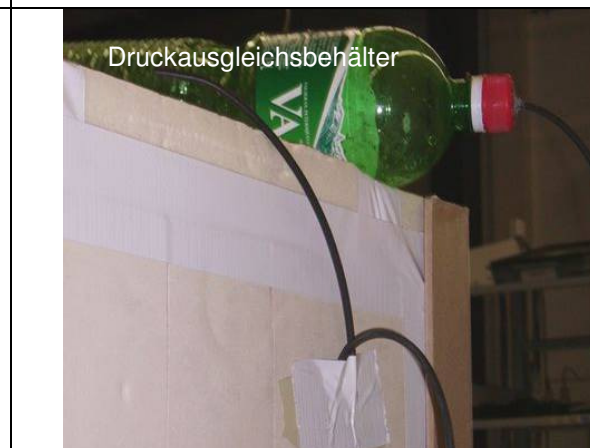


Abbildung 7.9: Druckausgleich/Entlüftung (Speicherunterseite)

Kenndaten	Wassertemperatur $T_{Sp}$	60 °C
	Speicherenergie $Q_{Sp, 60°C}$	1.1kWh (Formel 1)
	Wärmeverlustrate $\dot{Q}_{Sp, 60°C}$	4.5W (Formel 2)
	Heizleistung $P_{el}$ pro Seite	130W Regelphase (4 seriell) 545W Heizphase (2 parallel x 2 seriell)
Speicherinhalt	Medium	Teileentsalztes Wasser
	Volumen	15.6l
Heizung	Art	Leistungswiderstände für Kühlkörpermontage
	Menge	3 Seiten x 4 Widerstände
	Modell	BRQ-100R0-10.0 ( $R=100\Omega$ )
	Speisung	230VAC
Speicherbehälter	Material	Aluplatte $s=10\text{mm}$
	Form	Würfel
	Innenkante	250mm
Isolation	Material	SwissporPUR ( $\lambda=0.03\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ )
	Wandstärke	100mm
	Nahtverklebung	Sikasil-C (Silikon)
	Nahtinnenseite	Aerotape 3x50mm
Entlüftung	Nahtaussenseite	Tesa Isolierklebeband
	Art	Steigrohr bis 1mm unter den Deckel Messingrohr 3mm Aussendurchmesser
Druckausgleich	Schlauch	Silikon ( $D=3\text{mm}$ )
	Art	Schlauchanschluss im Boden
	Schlauch	Silikon ( $D=3\text{mm}$ )

### 7.3.2 Messrohre

Alle Messrohre wurden angepasst mit der Speicherinnenseite montiert. Die Wärmeleitung vom Speicherkörper auf das Messrohr wurde durch einen POM-Flansch (Abbildung 7.10) minimiert. Die geraden Rohre wurden mit Silikon an den Flansch geklebt. Das Silikon dichtete gleichzeitig die Verbindung ab. Bei den L-Rohren der Rückschlagsperre und dem Siphon wurden die Flanschanschlüsse mit einem VSH-Pressfitting hergestellt. Der Fitting wurde dabei in den Flansch geschraubt. Diese Schraubverbindung wurde mit Hanf gedichtet.

Nach dem Anschrauben des Messrohres an den Speicher wurde der Hohlraum zwischen Speicherisolation und Messrohr mit Glaswolle ausgefüllt. Der Übergang wurde mit einer Manschette aus PUR abgeschlossen und verklebt (Abbildung 7.11 und Abbildung 7.12).

Das Rohrende wurde bei den geraden Rohren zugeschweisst. Die restlichen Rohre wurden mit einem Kunststoff-Stopfen verschlossen (Abbildung 7.13). Durch den Stopfen konnte zum einen nach jeder Längenänderung das Rohr schnell verschlossen werden. Zum anderen konnte durch den abnehmbaren Verschluss die Luft aus dem Rohr abgelassen werden.

Beim L-Rohr wurde der 90°-Bogen mit einem VSH-Pressfitting gemacht (Abbildung 7.15). Die Isolation wurde, wie in Abbildung 7.14 zu sehen ist, an einem Stück angebracht. Der Siphon wurde mit zwei 90°-Bögen ausgeführt (Abbildung 7.17). Vergleichbar zum realen Speicher, wurde das Verbindungsstück vom Speicher zur Rückschlagsperre aus Stahlrohr ausgeführt (Abbildung 7.16). Die Rückschlagsperre wurde ausserhalb der Speicherisolationshülle platziert. Die Rohrisolation wurde, über die Rückschlagsperre, an einem Stück ausgeführt

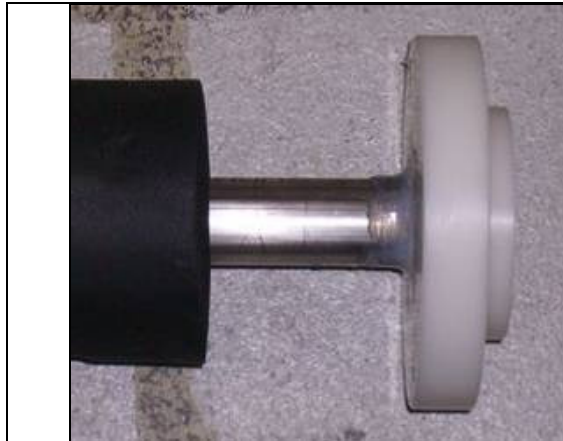


Abbildung 7.10: Rohrende mit Flansch



Abbildung 7.11: Rohrübergang-Speicher



Abbildung 7.12: Rohrübergang-Speicher  
offen

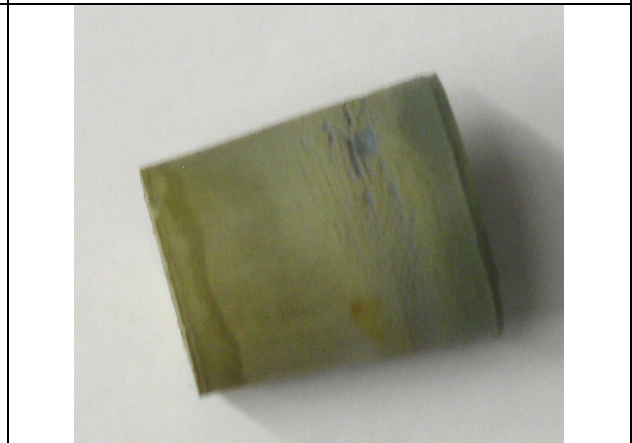


Abbildung 7.13: Stopfen als Rohrverschluss



Abbildung 7.14: L-Rohr isoliert



Abbildung 7.15: 90°-Bogen VSH-Pressfitting

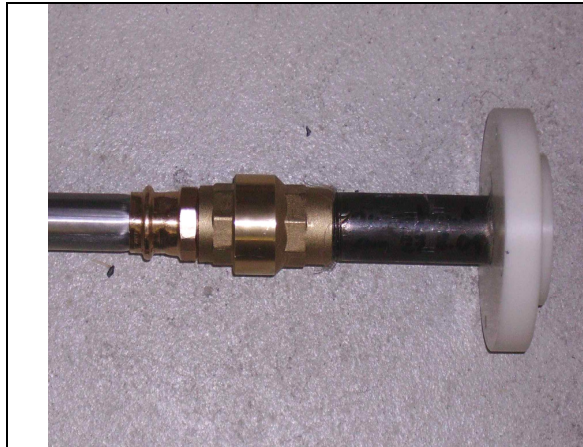


Abbildung 7.16: Rückschlagsperre



Abbildung 7.17: Siphon ohne Isolation

### 7.3.2.1 Gemessene Anordnungen

An die drei Grundpositionen des Speichers aus der Abbildung 7.3 wurden die Messrohre, wie in Abbildung 7.18 dargestellt, angeschlossen und gemessen.

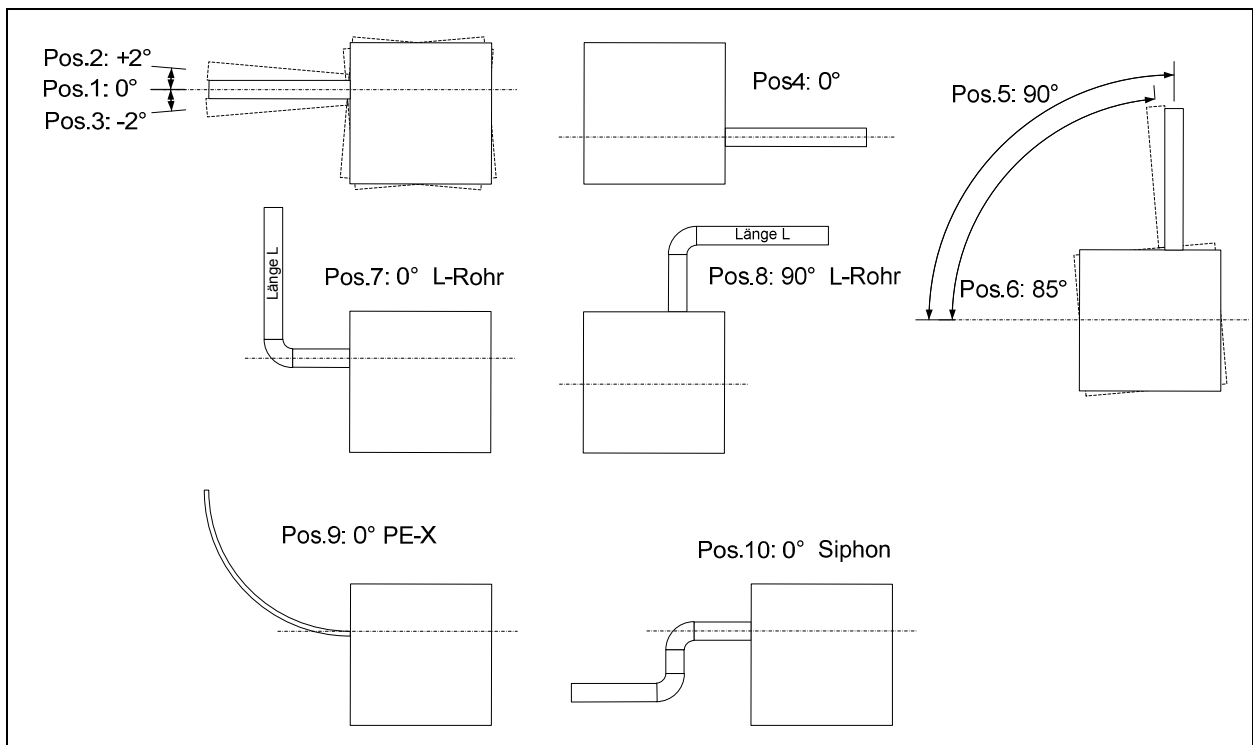


Abbildung 7.18: Gemessene Anordnungen

### 7.3.2.2 Gemessene Rohre

Tabelle 7.1: Gemessene Rohrkonfigurationen		
Messrohr 1	Typ Rohrtyp Rohrlänge Isolation Position	Gerade Gasrohr 1 1/4" (St37, d <sub>i</sub> 32mm, d <sub>a</sub> 42mm) 2m Aeroflex 38mm 1 bis 6
Messrohr 2	Typ Rohrtyp Rohrlänge Isolation Position	Gerade Chromstahlrohr 1" (d <sub>i</sub> 25mm, d <sub>a</sub> 28mm) 2m Aeroflex 32mm 1 bis 3, 5 und 6
Messrohr 3	Typ Rohrtyp Rohrlänge Bogen Radius Isolation Position Untergrössen	L-Rohr (0.5x2m) Chromstahlrohr 1" (d <sub>i</sub> 25mm, d <sub>a</sub> 28mm) 0.5+2m VSH Bogen 90° innen/innen 28mm 50mm Aeroflex 32mm 7 und 8 (0.5m) x 2 / 1 / 0.5 m
Messrohr 4	Typ Rohrtyp Rohrlänge Bogen Radius Isolation Position Untergrössen	L-Rohr (0.25x2m) Chromstahlrohr 1" (d <sub>i</sub> 25mm, d <sub>a</sub> 28mm) 0.25+2m VSH Bogen 90° innen/innen 28mm 50mm Aeroflex 32mm 7 und 8 (0.25m) x 2 / 1 / 0.5 m
Messrohr 5	Typ Rohrtyp Rohrlänge Bogenradius Position	Gerade / Bogen Optiflex PE-XC 16 (d <sub>i</sub> 12mm, d <sub>a</sub> 16mm) 1m 400mm 1, 5 und 9
Messrohr 6	Typ Rückschlagsperre Rohrtyp Rohrlänge Isolation Position Besonderes	Gerade mit Rückschlagsperre Viton Euroblock 1" Chromstahlrohr 1" (d <sub>i</sub> 25mm, d <sub>a</sub> 28mm) 2m (0.15m / Rückschlagsperre / 1.65m) Aeroflex 32mm 1 und 5 Rohrstück Flansch bis Rückschlagsperre: St37
Messrohr 7	Typ Rohrtyp Rohrlänge Bogen Radius Isolation Position	Siphon (0.25x0.25x1.65m) Chromstahlrohr 1" (d <sub>i</sub> 25mm, d <sub>a</sub> 28mm) 2m horizontal VSH Bogen 90° innen/innen 28mm 50mm Aeroflex 32mm 1

Flansch	Material	POM-H
	Verbindung zu Rohr 1/2/5	Sikasil-C (Silikon)
	Verbindung zu Rohr 3/4	Mapress Übergang mit AG 28-1“
	Aussendurchmesser	75mm
Rohrende	Rohr 1/2	Aufgeschweisste Scheibe
	Rohr 3-6	Kunststoff-Stopfen

### 7.3.3 Arbeitsmessung/Wärmeverlustrleistung $Q'$

Für jedes Messrohr wurde eine Einregelzeit festgelegt, um einen thermischen Gleichgewichtszustand im System herzustellen. Das Erreichen des Gleichgewichtszustandes wurde dadurch erkannt, dass der Temperaturverlauf  $T_{Sp}$  während mindestens einer Stunde periodisch war. Zur Kontrolle wurde nach der festgestellten Einregelzeit die Heizarbeit  $W_{el}$  gemessen. Nach weiteren zwölf Stunden wurde eine weitere Messung vorgenommen. Konnte mit der zweiten Messung dasselbe Resultat festgestellt werden, wurde diese Einregelzeit für das entsprechende Messrohr gewählt. Für diesen Vergleich gilt die in Kapitel 7.4 festgelegte Messtoleranz.

Nach Ablauf der Einregelzeit wurde bei jeder Neupositionierung des Messrohres der Temperaturverlauf  $T_{Sp}$  überprüft. War zu diesem Zeitpunkt der Temperaturverlauf  $T_{Sp}$  während mindestens einer vorhergehenden Stunde periodisch, wurde gemessen.

Während einer einstündigen Messphase wurden fünf Messwerte  $W_{el}$  des Arbeitszählers aufgenommen und in Excel übertragen. Diesen Messwerten wurde der durchschnittliche Wärmeverlust  $Q_{Sp}$  des Speichers abgezogen. Durch Einfügen einer ‚linearen Trennlinie‘ konnte die Steigung dieser Linie als Wärmeverlustrleistung  $Q'$  des Messrohres ermittelt werden.

Kenndaten	Arbeitszähler	EMU 1.24K
	Genauigkeit	Klasse II
	Serie No.	9801929
Einregelzeit	Speicher	3h
	Gerade Rohre	3h
	L-Rohre	4h
	PE-X	4h
	Rückschlagsperre	12h
	Siphon	12h

### 7.3.4 Regler

Kenndaten	Typ	Jumo dTRON16
	Regelart	PD / 2-Punkte
	Hysterese	0.05°C (max 0.2°C)
	Sensor T3	PT100, L=200mm

### 7.3.5 Datenerfassung/Temperatur

#### Wärmeverlustleistung $Q^*$ :

Für die Messkontrolle und die Berechnung der Wärmeverlustraten  $q^*$  wurden die Raumtemperatur  $T_U$  mit dem Sensor TR1 und die Speichertemperatur  $T_{Sp}$  mit dem Sensor TR2 auf Messrohrhöhe aufgezeichnet. Wie in Abbildung 7.19 dargestellt, wurde der Sensor TR1 zwischen den Ventilatoren und dem Messrohr angebracht.

#### Referenz-Wärmeverlustleistung $Q^*_{ref}$ :

Für die Berechnung der Referenz-Wärmeverlustleistung  $Q^*_{ref}$  wurde die Raumtemperatur  $T_U$  mit dem Sensor TR1 und die Messrohrtemperatur  $T$  mit dem Sensor TR3 aufgezeichnet.

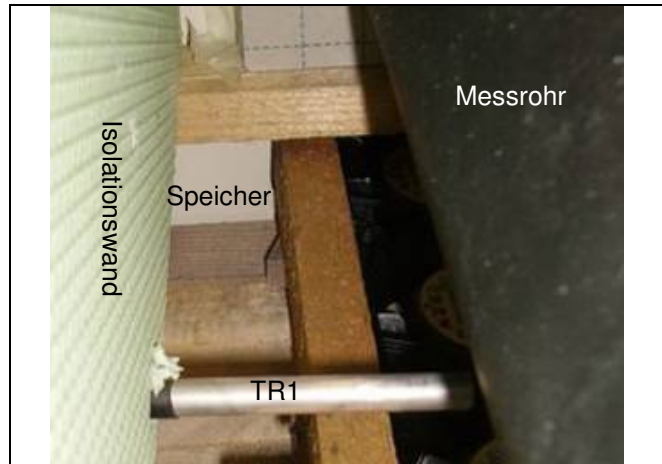


Abbildung 7.19: Raumtemperatursensor TR1 mit Stahlhülse

Kenndaten

Logger-Typ  
Serie No.  
Datenspeicherung  
Sensor TR1  
Sensor TR2  
Sensor TR3

Agilent 34970  
34970A MY41018266  
Direkt auf PC  
PT100,  $L=200\text{mm}$  mit Stahlhülse  
PT100,  $L=200\text{mm}$   
PT100,  $L=200\text{mm}$

### 7.3.6 Rohrabschlussblock

In den Messungen sollte nur die Wärmeverlustleistung  $Q^*$  am Rohrmantel gemessen werden, um damit auf beliebige Rohrlängen zu schliessen. Deshalb wurde am Rohrende ein PUR-Block, wie in Abbildung 7.20 dargestellt, aufgesetzt. In diesen Block reichte das Rohr zwei bis fünf Zentimeter hinein. Die Verbindung wurde mit Klebeband abgedichtet.

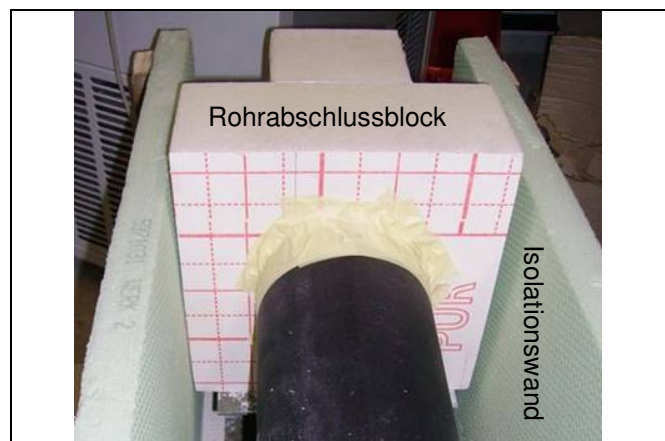


Abbildung 7.20: Rohrabschlussblock

Isolation

Material  
Wandstärke

SwissporPUR ( $\lambda=0.03\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ )  
Minimal 100mm

### 7.3.7 Ventilatoren

Am Messrohr musste für die ganze Messreihe immer der gleiche Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  vorhanden sein. Der Einfluss von anderen Testeinrichtungen und Strahlung im Labor musste minimiert werden. Für die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wurde das Messrohr deshalb mit einer Reihe von Ventilatoren angeblasen. Mit einer definierten Luftgeschwindigkeit von

1.6m/s wurde der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$  stark vergrößert. Für diese Luftgeschwindigkeit wurde ein Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$  von 50 angenommen. Variiert der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$  zwischen 50 und unendlich, ändert dies den Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  weniger als 1.5%.



Abbildung 7.21: Ventilatoren

Kenndaten	Typ	NMB 3610PS-23T-B30
	Volumenstrom	48m <sup>3</sup> /h
	Luftgeschwindigkeit	1.6m/s
	Leistung	11W
	Fläche	92mm x 92mm
	Anzahl	19

### 7.3.8 Isolationswände

Um die Einflüsse von Testeinrichtungen und Strahlung weiter zu minimieren, wurden seitlich zum Messrohr Isolationswände aufgestellt (Abbildung 7.21).

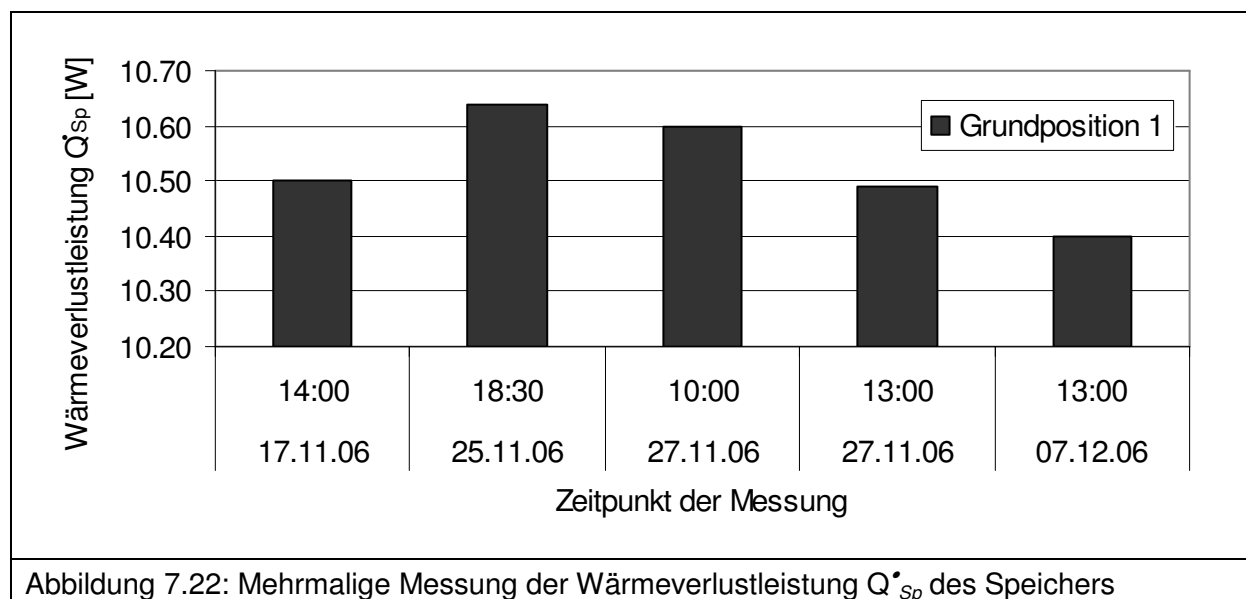
Isolation	Material	Synthetische Hartschaumplatten, Alporit ( $\lambda=0.03\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ )
	Wandstärke	Minimal 30mm
	Höhe	300mm
	Abstand zueinander	250mm

### 7.4 Unsicherheit der Messresultate

Die Unsicherheit in den Messresultaten beruht im Wesentlichen auf folgenden Punkten:

- Wärmedämmung des Speichers
- Ablese-Unsicherheit/Unsicherheit der Messgeräte
- Nicht Abwarten des perfekt stationären Zustandes
- Luftblasen im Messrohr
- Isolationsübergänge am Rohranfang und Rohrende
- Lage-Ungenauigkeit vom Messrohr

Die Wärmeverlustleistung  $Q_{sp}^*$  des Speichers wurde mehrmals über die Messphase verteilt gemessen. Damit wurde die Messsicherheit erhöht und die Reproduzierbarkeit der gesamten Messphase bestimmt. In Abbildung 7.22 sind die Resultate für die Messposition 1 zu sehen. Über die gesamte Messperiode pendelten die Messresultate im Bereich von  $10.5 \pm 0.15\text{W}$ . Die maximale Abweichung der Messergebnisse vom Mittelwert beträgt somit  $\pm 1.5\%$ .



In den Ergebnissen aus Abbildung 7.22 ist die Unsicherheit vom Flanschanschluss und von den Klebestellen enthalten. Mit angeschlossenem Messrohr vergrößert sich die Messunsicherheit noch weiter, hauptsächlich durch das Rohrende. Aus diesen Gründen wird für die Messresultate eine Unsicherheit von  $\pm 3\%$  festgelegt.

Der Einfluss der Messunsicherheit wird nach Messzweck unterschieden:

- Datengrundlage für Empfehlungen zur Anschlussrohrgestaltung  
Bei Speicheranschlussleitungen haben sehr viele Faktoren, wie zum Beispiel Rohrübergänge, einen grossen Einfluss. Mit den Messergebnissen sollen Grössenordnungen aufgezeigt werden. Für diesen Zweck ist die Unsicherheit sehr klein.
- Validierung von CFD-Simulationen  
Die Überprüfung der Ergebnisse erfolgt in beide Richtungen. Die Unsicherheit der Messergebnisse ist für diesen Zweck hoch bis sehr hoch.
- Potentialabschätzung der möglichen Energieeinsparungen  
Die Unsicherheiten bei den getroffenen Annahmen für die Abschätzung waren sehr viel grösser als die Messunsicherheit. Die Unsicherheit ist für diesen Zweck deshalb nicht relevant.

## 7.5 Durchführung der Messungen und Resultate

### 7.5.1 Wärmeverlustleistung Speicher $Q'_{sp}$

#### Vorgehen

Während der gesamten Messperiode wurde die Wärmeverlustleistung  $Q'_{sp}$  des Speichers mehrmals gemessen. Damit konnte überprüft werden, dass die Eigenschaften des Speichers während der gesamten Messperiode gleich blieben.

Für diese Messungen wurde der Speicher in den drei Grundpositionen, beschrieben in Abbildung 7.3, aufgestellt. Der Flanschanschluss wurde mit einem PUR-Block, analog zum Handloch, verschlossen (Abbildung 7.8). Danach wurde die Heizarbeit  $W_{el}$  gemessen und daraus die Wärmeverlustleistung  $Q'_{sp}$  des Speichers abgeleitet (7.3.3).

## Messresultate

Tabelle 7.2: Gemessene Wärmeverlustleistungen Speicher $\dot{Q}_{Sp}$					
<b>Grundposition</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Datum	17.11.06	25.11.06	27.11.06	27.11.06	07.12.06
Zeit	14:00	18:30	10:00	13:00	13:00
<b>Wärmeverlustleistung <math>\dot{Q}_{Sp}</math> [W]</b>	<b>10.50</b>	<b>10.64</b>	<b>10.6</b>	<b>10.49</b>	<b>10.4</b>
<b>Grundposition</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	
Datum	27.11.06	27.11.06	07.12.06	27.11.06	
Zeit	09:00	12:00	10:00	16:00	
<b>Wärmeverlustleistung <math>\dot{Q}_{Sp}</math> [W]</b>	<b>9.36</b>	<b>9.28</b>	<b>9.52</b>	<b>10.16</b>	

## Interpretation

Tabelle 7.3: Gewählte Wärmeverlustleistungen Speicher $\dot{Q}_{Sp}$	
	Wärmeverlustleistung $\dot{Q}_{Sp}$ [W]
Grundposition 1	10.5
Grundposition 2	10.2
Grundposition 3	9.4

Mit den Durchbrüchen und Klebestellen, war die Speicherisolationshülle nicht perfekt. Erste Tests hatten gezeigt, dass dieser Punkt kritisch ist. Darum wurde nach den ersten Versuchen an den Nahtstellen und Kabeldurchgänge die Isolation verstärkt. Der Vergleich der Obenstehenden Resultate mit der überschlägigen Handrechnung zeigt, dass es danach in der Isolationshülle keine unzulässigen Ritzen und Spalte gab.

## 7.5.2 Referenz-Wärmeverlustleistung $\dot{Q}_{ref}$

### 7.5.2.1 Vorgehen

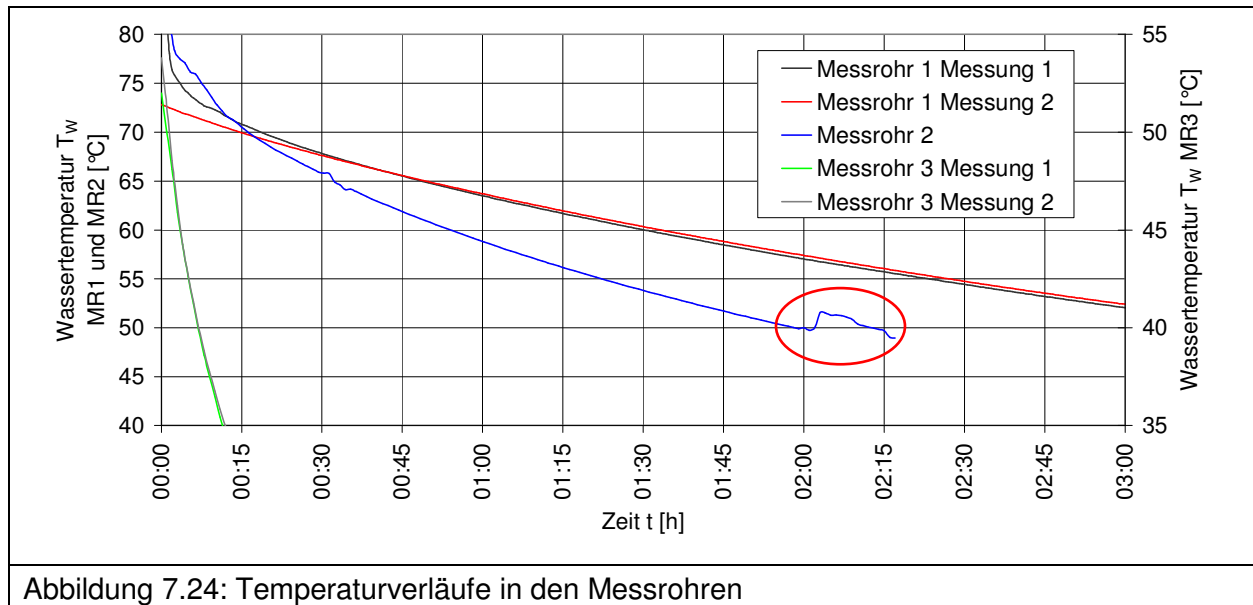
Dieser Versuch wurde für die drei in der Versuchsreihe verwendeten Rohrmaterialien durchgeführt. Im Versuch wurde das Messrohr 1 (Gasrohr), das Messrohr 2 (Chromstahl) und analog zum Messrohr 5 ein 2m-langes PE-X-Rohr verwendet. Beim PE-X wurde nicht das 1m-lange Messrohr 5 verwendet, weil mit diesem Rohr die Wärmeverlustleistung über die Rohrmanteloberfläche im Verhältnis zu den Stirnseitenverlusten kleiner geworden wäre. Die Messrohre 1 und 2 sind bereits zwei Meter lang.

Der Messaufbau erfolgte gemäss dem Blockschema in Abbildung 7.1. Das Messrohr wurde mit 90°C warmem Wasser befüllt und mit einer POM-Abdeckplatte abgeschlossen. In dieser Abdeckplatte war der Temperatursensor integriert. Gelagert wurde das Messrohr analog zur Messposition 1. Das Messrohr wurde in die leere Speicherisolationshülle eingeführt. Auf der Speicherisolationsaussenseite wurde das Rohr, wie in Kapitel 7.3.2 beschrieben, isoliert. Auf der Speicherisolationinnenseite wurde ein PUR-Block aufgesetzt. Der Flanschbereich, zwischen Speicherisolation und PUR-Block, wurde mit flexiblen Aeroflexplatten ausgekleidet. Der Übergang wurde mit Klebeband abgedichtet. Der Aufbau innerhalb der Speicherisolationshülle ist in Abbildung 7.23 dargestellt.



Abbildung 7.23: Rohranfang in der Speicherisolationshülle

### 7.5.2.2 Messresultate



### 7.5.2.3 Interpretation

Der Temperaturbereich von  $T$  zwischen  $62.5^{\circ}\text{C}$  und  $57.5^{\circ}\text{C}$  wurde als massgebend angenommen. Im PE-X-Rohr musste auf Grund der sehr schnellen Abkühlung der Temperaturbereich  $T$  zwischen  $50^{\circ}\text{C}$  und  $30^{\circ}\text{C}$  betrachtet werden. Aus den erhaltenen Temperaturverläufen  $T$  liess sich mit der Formel 3 die Referenz-Wärmeverlustleistung  $Q_{ref}^{\bullet}$  und mit der Formel 4 die Zeitkonstante  $\tau$  berechnen.

Tabelle 7.4: Referenz-Wärmeverlustleistungen  $Q_{ref}^{\bullet}$  und Zeitkonstanten  $\tau$

	Referenz-Wärmeverlustleistung [W]	$Q_{ref}^{\bullet}$	Zeitkonstante $\tau$ [h]
Messrohr 1 (Gasrohr)	20.8		6.2
Messrohr 2 (Chromstahl)	17.4		3.3
PE-X	28.1		0.24

Beim Erreichen der Endtemperatur  $T$  von  $50^{\circ}\text{C}$  beziehungsweise  $30^{\circ}\text{C}$  wurde das Rohr je fünf Minuten  $\pm 30^{\circ}$  geneigt. Damit wurde geprüft, wie gleichmässig das Wasser im Rohr auskühlt. Beim Gasrohr konnte keine Unregelmässigkeit festgestellt werden. Das Chromstahlrohr zeigte deutliche Unregelmässigkeiten, es konnte ein Temperatursprung von  $1.5^{\circ}\text{C}$  gemessen werden (Abbildung 7.24). Im PE-X-Rohr konnte keine Unregelmässigkeit gemessen werden.

## 7.5.3 Wärmeverlustleistung $Q^{\bullet}$

### 7.5.3.1 Vorgehen

Der Messaufbau erfolgte gemäss dem Blockschema in Abbildung 7.2 und den Beschreibungen in Kapitel 7.3. Alle Messungen an einem Messrohr wurden nacheinander durchgeführt. Die Flanschverbindung und der Rohrübergang zum Speicher wurden in dieser Zeit nicht gelöst.

### 7.5.3.2 Messresultate

Position	1	2	3	4	5	6
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	14.3	15	11.6	14.1	11.5	13.5
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.20	0.21	0.16	0.20	0.16	0.19
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	2.00	2.10	1.62	1.97	1.61	1.89
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.37	0.39	0.30	0.36	0.30	0.35
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.69	0.72	0.56	0.68	0.55	0.65

Position	1	2	3	4	5	6
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	10.7	13	7.8		7.4	8.9
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.15	0.18	0.11		0.10	0.13
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	1.93	2.34	1.41		1.33	1.60
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.28	0.33	0.20		0.19	0.23
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.61	0.75	0.45		0.43	0.51

L=	0.25	0.5	1	2
<b>Position 7</b>				
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	5.2	7.1	8.90	11.90
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.18	0.18	0.15	0.12
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	2.27	2.32	1.94	1.56
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.13	0.18	0.23	0.31
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.80	0.82	0.68	0.55
<b>Position 8</b>				
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	4.9	5.6	7	10.5
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.17	0.14	0.12	0.11
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	2.14	1.83	1.53	1.37
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.13	0.14	0.18	0.27
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.75	0.64	0.54	0.48

L=	0.25	0.5	1	2
<b>Position 7</b>				
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	3.6	6.7	8.3	10.8
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.19	0.23	0.17	0.12
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	2.36	2.92	2.17	1.57
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.09	0.17	0.21	0.28
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.83	1.03	0.76	0.55
<b>Position 8</b>				
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	4.4	5.8	8.3	11.5
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.23	0.20	0.17	0.13
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	2.88	2.53	2.17	1.67
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.11	0.15	0.21	0.30
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	1.01	0.89	0.76	0.59

Tabelle 7.9: Messrohr 5 / PE-X 12mm gerade und gebogen 1m (ohne Ventilatoren)

Position	1	5	9
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	1.4	3.8	10.2
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.04	0.12	0.31
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	1.14	3.08	8.28
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.04	0.10	0.26
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.10	0.27	0.73

Tabelle 7.10: Messrohr 6 / Chromstahl 1" mit Rückschlagsperre gerade 2m

Position	1	5
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	7.98	4.64
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.11	0.07
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	1.43	0.83
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.21	0.12
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.46	0.27

Tabelle 7.11: Messrohr 7 / Chromstahl 1" Siphon 2m

Position	1
Wärmeverlustleistung $Q^*$ [W]	1.98
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/(K*m)]	0.02
Wärmeverlustrate $q^{**}$ (d) [W/(K*m <sup>2</sup> )]	0.30
Wärmeverlustrate $q^*$ [W/K]	0.05
Rel. Wärmeverlustrate $\theta$ [-]	0.11

### 7.5.3.3 Interpretation

#### Wärmeverluste von geraden Rohren

Ausgehend vom horizontalen Messrohr vergrössert sich die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  bereits, wenn das Rohr 2° nach oben geneigt wird. Das Rohr 2° nach unten geneigt, verkleinert die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  (Position 1 bis 3). Der Flanschanschluss an der Oberseite des Speichers oder an der Unterseite des Speichers (stellvertretend für grossen/kleinen Speicher) hat keinen Einfluss auf das Messergebnis (Position 1 und 4). Das vertikale Messrohr hat gegenüber dem horizontalen Messrohr eine kleinere relative Wärmeverlustleistung  $\theta$ . Ist das Rohr nicht genau senkrecht, sondern zur Seite geneigt (5°), vergrössert sich die relative Wärmeverlustleistung  $\theta$  (Position 5 und 6). Chromstahl hat eine kleinere Wärmeleitfähigkeit als Stahl (Gasrohr). Der Einfluss vom Wärmeleitungseffekt wird beim Messrohr 1 dadurch sichtbar, dass die relativen Wärmeverlustraten  $\theta$  viel näher beieinander liegen, als beim Messrohr 2.

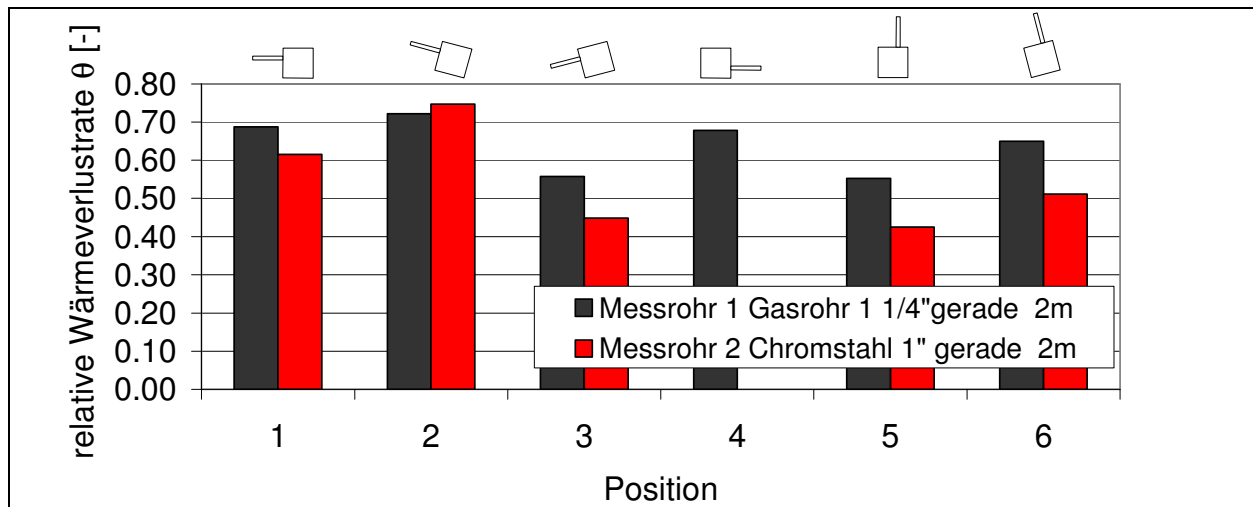


Abbildung 7.25: relative Wärmeverlustraten  $\theta$  für das Messrohr 1 und 2

In Abbildung 7.26 wird der Unterschied zwischen dem Speichertemperaturverlauf  $T_{Sp}$  von Position 1 und 5 dargestellt. Der Temperaturverlauf  $T_{Sp}$  ist beim horizontalen Rohr viel regelmässiger als beim vertikalen Rohr. Daraus wird gefolgert, dass sich im vertikalen Rohr keine kontinuierliche Strömung ausbilden kann. Das Ausbleiben einer kontinuierlichen Strömung ist der Grund dafür, dass die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  bei dieser Position am kleinsten ist.

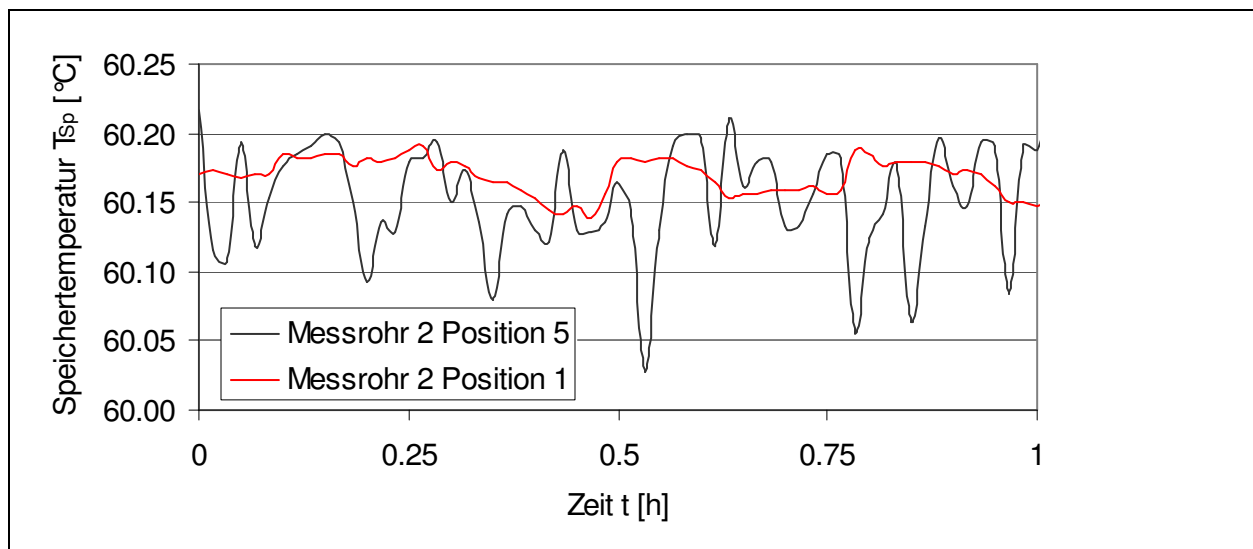
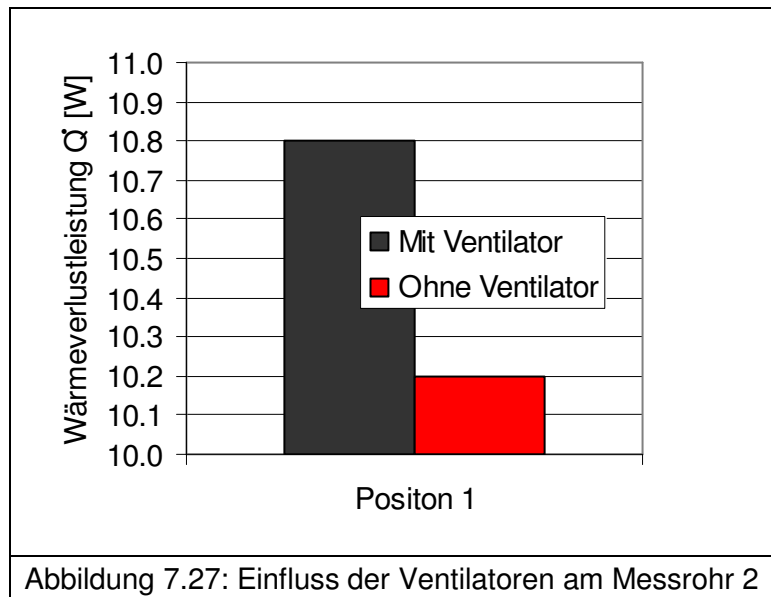


Abbildung 7.26: Temperaturverläufe für Position 1 und Position 5

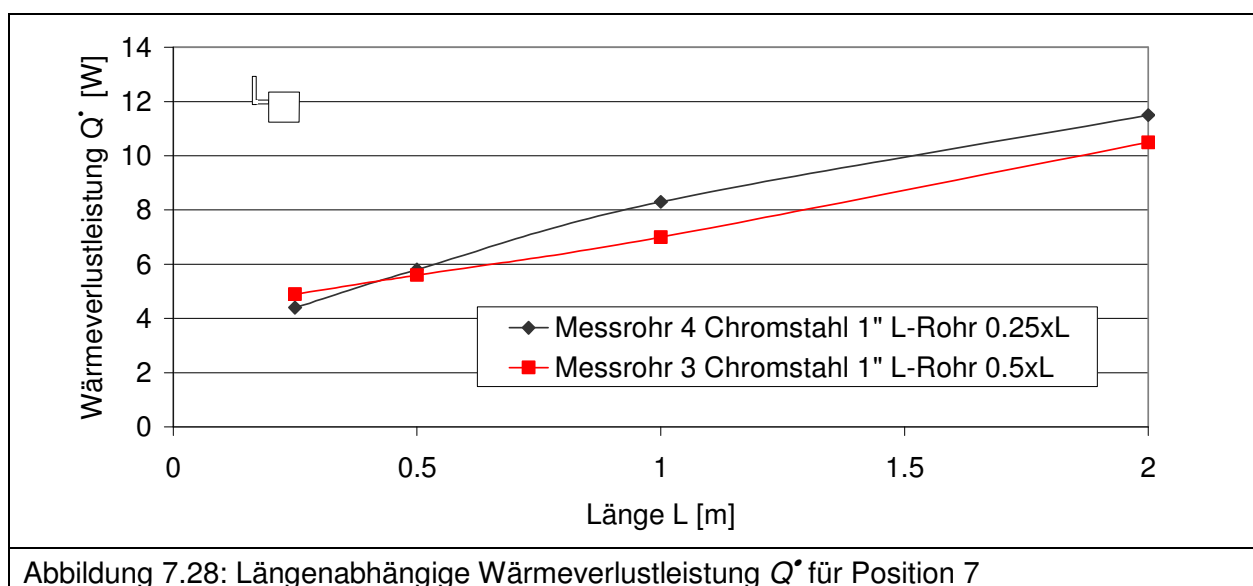
Der Unterschied zwischen einer Messung mit Ventilatoren und einer Messung ohne Ventilatoren ist in Abbildung 7.27 zu sehen. Die Wärme-verlustleistung  $Q^*$  ist ohne die Ventilatoren 5.6% tiefer



### Wärmeverluste von L-Rohren

In Abbildung 7.28 und Abbildung 7.29 sind die Messergebnisse für das Messrohr 3 und 4 in der Position 7 dargestellt. Der Unterschied der beiden gemessenen speicherseitigen Rohrlängen von 0.25 und 0.5 Meter beeinflussen den Kurvenverlauf wesentlich. Bei der speicherseitigen Rohrlänge von 0.25 Meter scheint sich eine Zirkulation besser auszubilden, als dies bei einer speicherseitigen Rohrlänge von 0.5 Meter der Fall ist. Darum überkreuzten sich die Geraden bei einer Länge  $L$  von 0.5 Meter.

Es wurde ein langsames abflachen der Wärmeverlustleistung  $Q^*$  bezogen auf die Länge gemessen. Damit ist anzunehmen, dass sich die Mikrozirkulation in längeren Rohren weiter ausdehnen würde.



Im Diagramm von den relativen Wärmeverlustraten in Abbildung 7.29 ist ein deutliches Maximum bei einer Rohrlänge  $L$  von 0.5 Meter zu sehen. Die Gründe dafür müssen mit der CFD-Simulation gesucht werden.

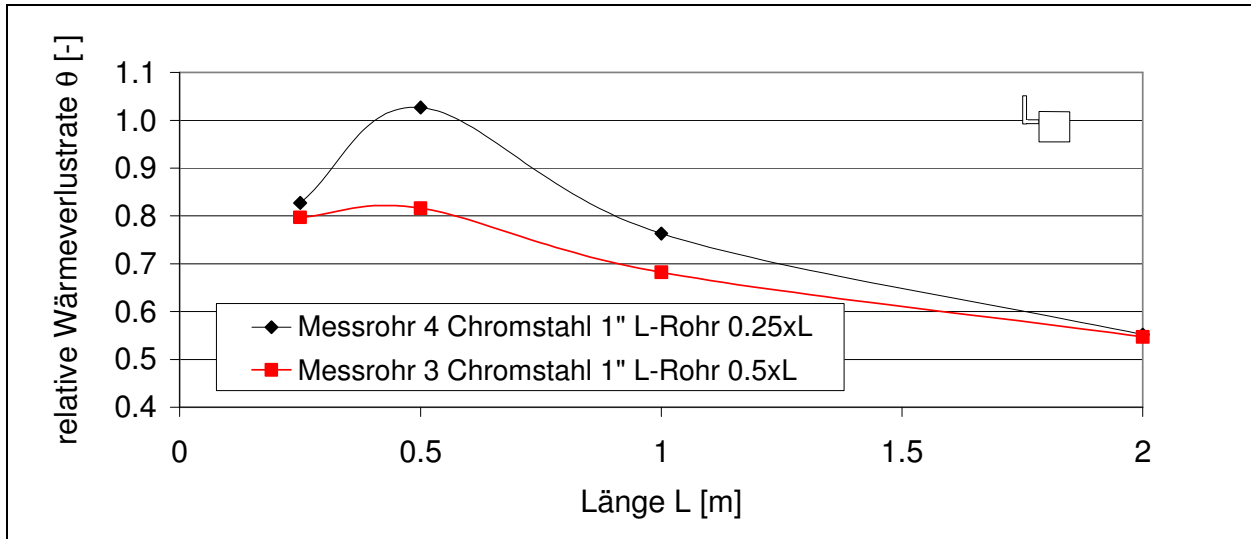


Abbildung 7.29: Längenabhängige relative Wärmeverlustrate  $\theta$  für Position 7

Bei den in Abbildung 7.30 dargestellten Temperaturverläufen  $T_{Sp}$  ist eine Anomalie bei der Rohrkonfiguration 0.25x0.5 sichtbar. Zur Bestimmung des genauen Sachverhalts wären mehr Messpunkte in diesem Bereich notwendig.

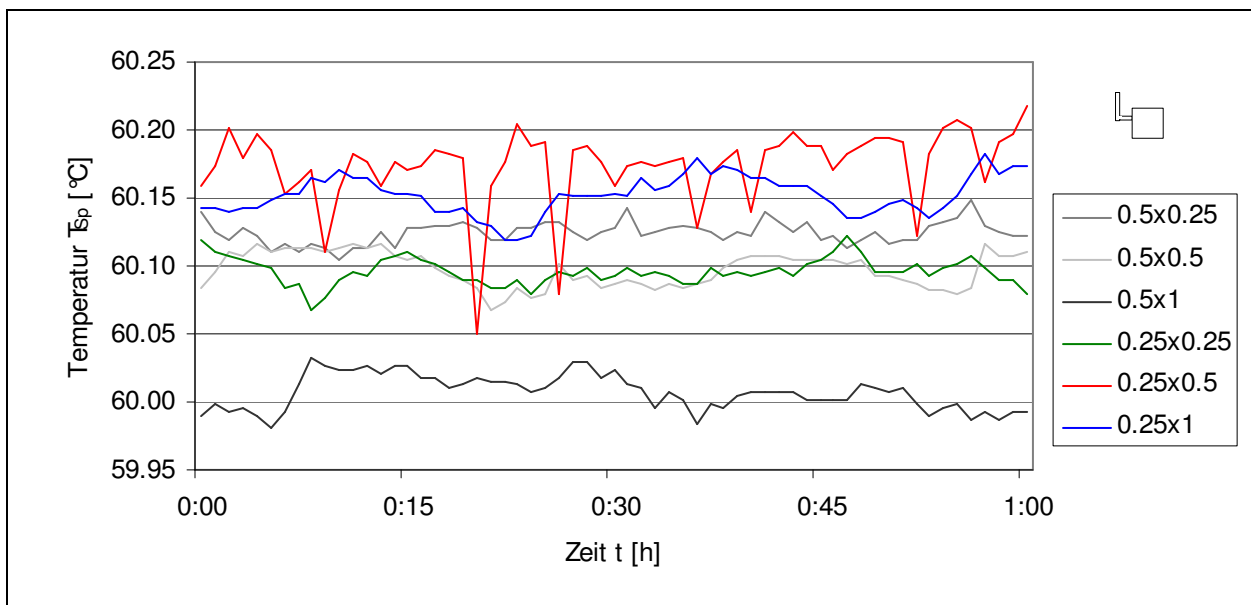


Abbildung 7.30: Temperaturverläufe  $T_{Sp}$  für die Messrohre 3 und 5 in Position 7

In Abbildung 7.31 und Abbildung 7.32 sind die Messergebnisse für das Messrohr 3 und 4 in der Position 8 dargestellt. Die beiden gemessenen speicherseitigen Rohrlängen von 0.25 und 0.5 Meter beeinflussen den Kurvenverlauf nicht wesentlich. Die Kurven scheinen, abgesehen von der Messungenauigkeit, parallel zu verlaufen.

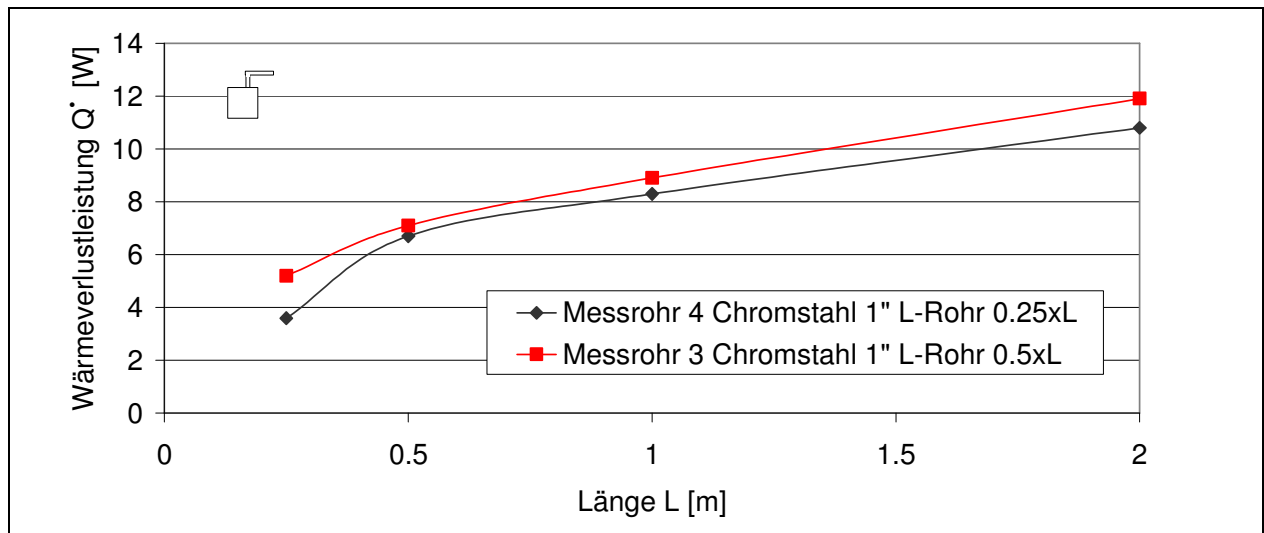


Abbildung 7.31: Längenabhängige Wärmeverlustleistung  $Q'$  für Position 8

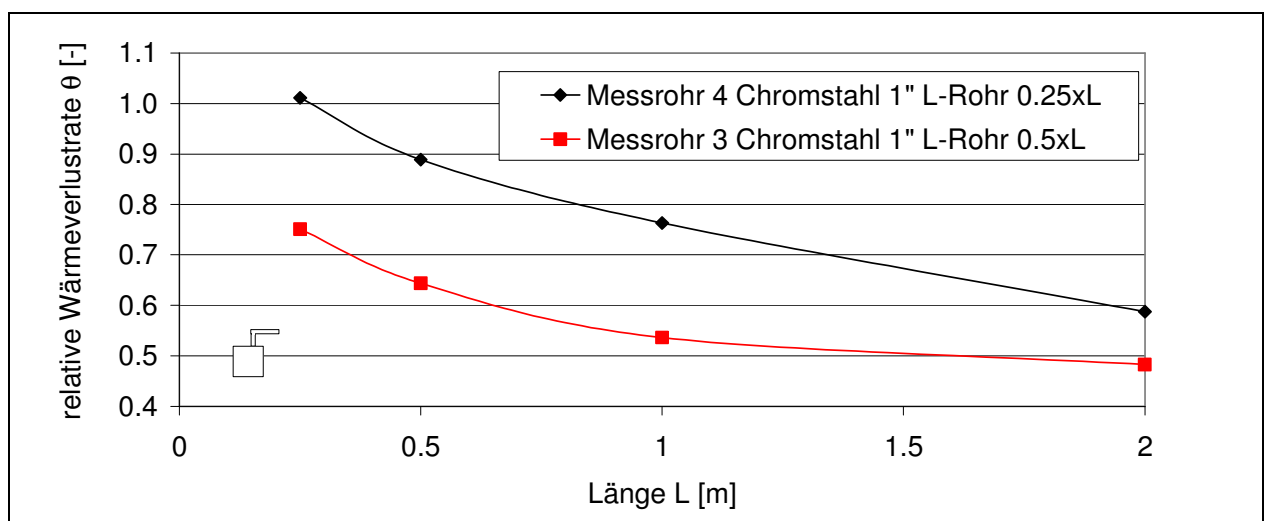
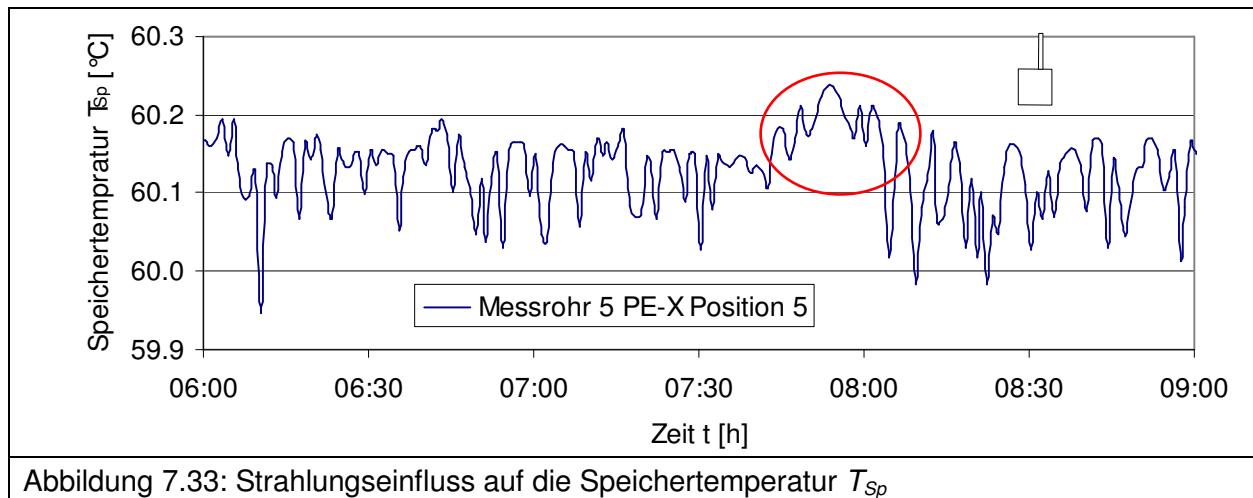


Abbildung 7.32: Längenabhängige relative Wärmeverlustrate  $\theta$  für Position 8

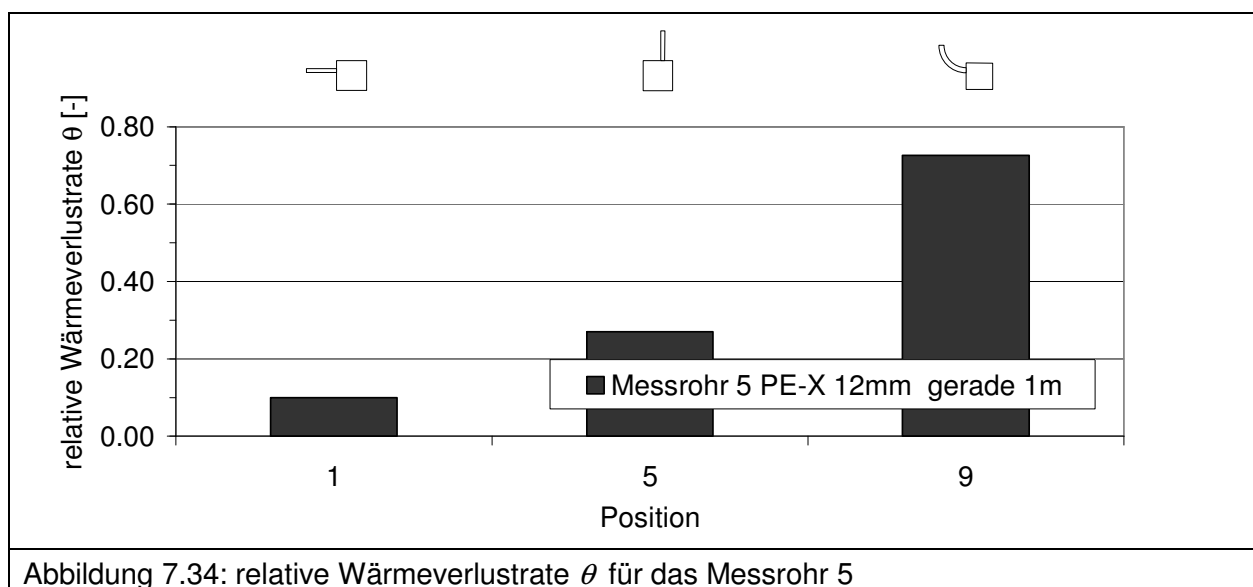
### PE-X Rohre

Das Messrohr 5 (PE-X) hatte keine Isolation. Ein grosser Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$  hätte bei dem unisolierten Rohr mit dem grossen Wärmedurchgang einen zu grossen Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizient  $k$ . Um mit einem realitätsnahen Wärmedurchgang zu messen, wurden die Messungen mit dem Messrohr 5 deshalb ohne Ventilatoren durchgeführt. Ohne die Ventilatoren hatte die Strahlung Einfluss auf das Messrohr. In Abbildung 7.33 ist der Einfluss von Arbeiten an einer Testeinrichtung, in unmittelbarer Nähe vom Messaufbau, auf die Speichertemperatur  $T_{Sp}$  zu sehen. Die Arbeit an der Testeinrichtung ist in dieser Abbildung rot eingekreist.



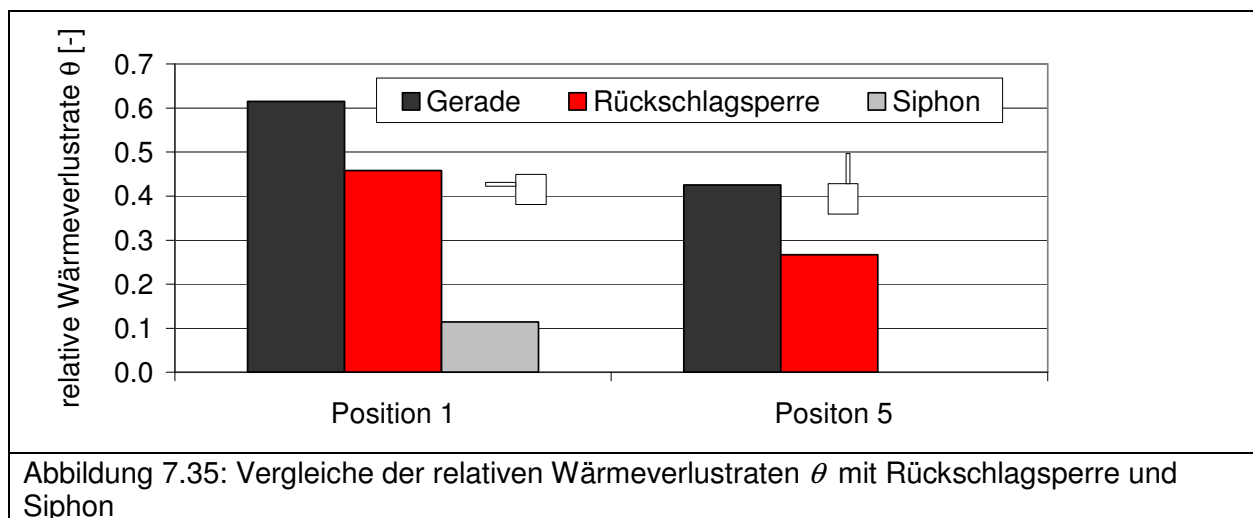
Der kleine Rohrrinnendurchmesser  $d_i$  von 12mm veränderte die Rohrziirkulationsverhältnisse im Vergleich zur Zirkulation im Messrohr 1 und 2. Im Gegensatz zu den Messrohren 1 und 2 war die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  nicht bei der Messposition 5 am tiefsten, sondern bei der Messposition 1. Im Vergleich zu den anderen Messrohren waren diese beiden relativen Wärmeverlustraten  $\theta$  sehr tief.

In Position 9 entstand, im Vergleich zu Position 1 und 5, eine deutlich höhere Zirkulation im Rohr. Dadurch erreichte die relative Wärmeverlustrate  $\theta$  eine ähnliche Grössenordnung wie die gemessenen Positionen von Messrohr 1 und 2.



### Rückschlagsperre und Siphon

Ein Vergleich für verschiedene Varianten eines zwei Meter langen, horizontalen Rohrstücks ist in Abbildung 7.35 zu sehen. Das gerade Rohr (Messrohr 2) wird mit der federbelasteten Rückschlagsperre (Messrohr 6) und dem Siphon (Messrohr 7) verglichen. Ganz deutlich ist zu sehen, dass die Wirksamkeit der Rückschlagsperre viel kleiner ist, als jene des Siphons. Die Rückschlagsperre verhindert die konvektive Wärmeleitung im Wasser. Da die Rückschlagsperre aber aus Messing ist, wird die Speicherwärme durch Wärmeleitung im Rückschlagsperrenmaterial auf die Gegenseite der Rückschlagsperre geführt. Dadurch stellen sich zwei entkoppelte Rohrströmungen, getrennt durch die Rückschlagsperre, ein.



## 8 Potentialabschätzung der möglichen Energieeinsparung

Hausbesitzer und Installateure argumentieren oft, dass ein gewisser Wärmeverlust an den Anschlussrohren, für die Raumbeheizung, gewollt ist. Damit sparen sie sich die Installation von Heizkörpern in Kellerräumen, schaffen aber eine Wärmeverlustquelle, die über weite Teile des Jahres ungenutzt bleibt. Ein Vergleich der vorhandenen Wärmeverluste  $Q^*$  an den Anschlussleitungen der EFH, mit dem Gesamtenergieverbrauch der Schweizer Haushalte, soll die Grössenordnung dieser unkontrollierten Wärmeverluste aufzeigen.

### Vorgehen

Den Anschlussleitungen von neun untersuchten Installationen (Kapitel 6) wurden die Messresultate von der Referenz Wärmeverlustleistung  $q^*_{ref}$  und eine Wärmeverlustrate  $\theta$  zugeordnet. Die untersuchten Anschlüsse gemäss der Nummerierung in Abbildung 8.1 wurden mit den wichtigsten Kennwerten in die Tabelle 8.1 eingetragen. Zur Bestimmung einer minimalen und einer maximalen zu erwartenden Wärmeverlustleistung  $Q^*$  wurden die Formel 10 und die Formel 11 benutzt.

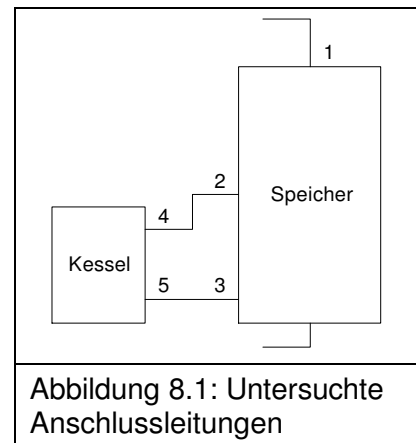


Abbildung 8.1: Untersuchte Anschlussleitungen

Für den Reduktionsfaktor RF1 wurde angenommen, dass im Durchschnitt über alle Leitungen im System während 5% der Zeit Wasser fliesst. Die Zeitkonstante  $\tau$  wurde mit RF2 berücksichtigt, wobei angenommen wurde, dass im Durchschnitt über alle Leitungen im System die Leitungen dreimal auskühlen. Mit RF3 wurde berücksichtigt, dass an den Rücklaufleitungsanschlüssen im Vergleich zu den Vorlaufleitungsanschlüssen grösstenteils tiefere Wassertemperaturen auftreten.

### Berechnung

$$Q^*_{\min} = q^*_{ref} \cdot L_{ges} \cdot \theta_{\min} \cdot RF1_{Durchflusszeit} \cdot RF2_{Dyn..Verluste} \cdot RF3_{Rücklauf} \quad \text{Formel 10}$$

$$Q^*_{\max} = q^*_{ref} \cdot L_{ges} \cdot \theta_{\max} \cdot RF3_{Rücklauf} + Q^*_{Armaturen} \quad \text{Formel 11}$$

$$RF2 = 1 - \frac{3\tau}{24} \quad \text{Formel 12}$$

Tabelle 8.1: Zur Installation zugeordneter Wärmeverlust

Inst.	Anschl.	Form	Ausrichtung	$L_{ges}$ [m]	$\tau$ [h]	$q_{ref}$ [W/m]	$\theta_{min}$ [-]	$\theta_{max}$ [-]	$\dot{Q}_{Armaturen}$ [W]	RF1 Durchflusszeit [-]	RF2 Dyn. Verluste [-]	RF3 Rücklauf [-]	$\dot{Q}_{min}$ [W]	$\dot{Q}_{max}$ [W]
1	1	I	oben	0.1	1.6	38	0.9	1	15	0.95	0.8	1	1	17
2	1	U	unten	0.6	1.3	38	0.1	0.1	5	0.95	0.8	1	2	7
2	2	S	seitlich	1.6	1	19	0.1	0.1	2	0.95	0.9	1	3	5
2	3	S	seitlich	1.1	1	19	0.1	0.1	2	0.95	0.9	0.3	1	3
3	1	L	oben	1.0	3.3	8.7	0.7	0.8	5	0.95	0.6	1	3	12
3	2	S	seitlich	14.0	3.3	8.7	0.3	0.6	2	0.95	0.6	1	20	75
3	3	S	seitlich	14.5	3.3	8.7	0.3	0.6	2	0.95	0.6	0.3	6	25
4	1	S	seitlich	3.6	1	36	0.4	0.5	5	0.95	0.9	1	42	69
4	2	C	seitlich	0.6	2	10	0.6	0.8	2	0.95	0.8	1	3	7
4	3	C	seitlich	0.6	2	10	0.6	0.8	2	0.95	0.8	0.3	1	3
5	1	L	oben	3.2	1.3	38	0.5	0.5	5	0.95	0.8	1	48	65
5	2	L	unten	7.7	5	9.5	0.1	0.1	2	0.95	0.4	1	3	9
5	3	L	unten	7.7	5	9.5	0.1	0.1	2	0.95	0.4	0.3	1	4
5	4	L	seitlich	2.3	5	9.5	0.1	0.1	2	0.95	0.4	0.9	1	4
5	5	L	seitlich	2.0	5	9.5	0.1	0.1	2	0.95	0.4	0.9	1	4
6	1	L	oben	0.9	3.3	8.7	0.7	0.7	5	0.95	0.6	1	3	10
7	1	L	oben	1.2	3.3	8.7	0.8	0.8	5	0.95	0.6	1	4	13
8	1	L	oben	2.2	3.3	8.7	0.6	0.6	5	0.95	0.6	1	6	16
8	2	S	seitlich	3.1	3.3	8.7	0.8	0.9	2	0.95	0.6	1	12	26
8	3	S	seitlich	4.1	3.3	8.7	0.6	0.7	2	0.95	0.6	0.3	4	9
9	1	L	oben	0.4	1	36	0.9	1.0	5	0.95	0.9	1	11	19
9	2	S	seitlich	1.1	0.8	34.8	0.1	0.2	2	0.95	0.9	1	3	10
9	3	S	seitlich	1.0	0.8	34.8	0.8	0.8	2	0.95	0.9	0.3	7	10
9	4	S	seitlich	1.1	0.8	34.8	0.7	0.9	2	0.95	0.9	0.9	21	33
9	5	S	seitlich	1.0	0.8	34.8	0.1	0.2	2	0.95	0.9	0.9	3	8

Zur Abschätzung des Einsparpotentials wurden alle untersuchten Anschlüsse mit einem idealen Siphon angenommen, welcher eine Wärmeverlustleistung  $Q^*$  von 1W aufweist. Der Durchschnitt der Differenzen hochgerechnet auf alle Einfamilienhäuser in der Schweiz ergibt ein Einsparpotential von  $4\% \pm 1.6\%$  des Gesamtenergieverbrauchs in Schweizer Haushalten [6].

		Min	Max
Summe der aufgeführten Installationen (23 Anchl.)	$Q^*$ [W]	209	465
Summe pro Installation	$Q^*$ [W]	23	52
Erreichbares Minimum (25x1W)	$Q^*$ [W]	25	25
Einsparpotential	$Q^*$ [W]	184	440
Einsparpotential pro Installation	$Q^*$ [W]	20	49
Summe der aufgeführten Installationen pro Jahr	Q [kWh]	203	453
Einsparpotential pro Installation und Jahr	Q [kWh]	178.8	428
Einsparpotential pro Installation und Jahr	[%]	88	95
Hochrechnung auf alle EFH:			
EFH in der Schweiz (in tausend)	[-]	900	
Summe	$Q^*$ [MW]	21	47
Einsparpotential	$Q^*$ [MW]	18	44
Summe Jahr	Q [GWh]	183	407
Einsparpotential Jahr	Q [GWh]	161	386
Vergleich mit dem Gesamtenergieverbrauch in Schweizer Haushalten:			
Gesamtverbrauch Haushalte [6]	W [TWh]	69	
Gesamtwärmeverluste Installationen	[% <sub>o</sub> ]	2.6	5.9
Einsparpotential	[% <sub>o</sub> ]	2.3	5.6

### Interpretation

Auf das einzelne Speichersystem bezogen ist die Anschlusswärmeverlustleistung nur gering. Hochgerechnet auf alle EFH in der Schweiz, werden die Anschlusswärmeverluste dann doch relevant. Mit einer Grössenordnung von 4.3% des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs in Haushalten, haben die Verluste volkswirtschaftliche Bedeutung, weil diese Wärmeströme unkontrolliert und grösstenteils auch ungenutzt sind. Ein Einsparpotential von 4% ist erheblich.

## 9 Empfehlung für die systematische Prüfung von Siphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen

Im Anschluss an diese Arbeit ist eine systematische Prüfung von Siphons und Konvektionsbremsen und Konvektionssperren geplant. Für diese Messungen werden einige Anpassungen im Messaufbau empfohlen.

- Zusammenhängender Aufbau bestehend aus Speicher und fixer Rohrstrecke  
Nur die Messtrecke wird für jede einzelne Messung ausgewechselt. Der restliche Aufbau ist fix. Die Unsicherheit bei den Übergängen beschränkt sich dadurch auf die beiden Überwurfmutter der Messtrecke und deren Isolation.
- Die fixe Rohrstrecke mit einer Neigung von  $+45^\circ$   
Damit erhöht sich die Wärmeverlustleistung  $Q^*$  im Rohr und die Messergebnisdifferenzen werden deutlicher. Zudem wandern eingeschlossene Luftblasen an das Rohrende und können dort abgeschieden werden.
- Zirkulationsleitung  
Erst durch Zirkulation des Fluids können alle Luftblasen eindeutig aus dem Rohr ausgespült werden.
- Entlüftung mit einem Dom  
Auf einen Dom wurde im Messaufbau verzichtet, damit dieser keine Wärmebrücke bildet. In einem festen Messaufbau wird aus praktischen Gründen empfohlen, trotzdem einen Dom einzubauen.
- Kontinuierliche Leistungsmessung  
Die Investition in Messmittel zur kontinuierlichen Leistungsmessung wird empfohlen. Wird die Leistungsmessung über einen Zeitraum von zirka einer Stunde gemittelt, kann das Erreichen des Gleichgewichtszustands direkt abgelesen werden. Zudem würde der Messaufwand für den Prüfer kleiner. Er müsste nicht alle 15-Minuten den Messwert ablesen.

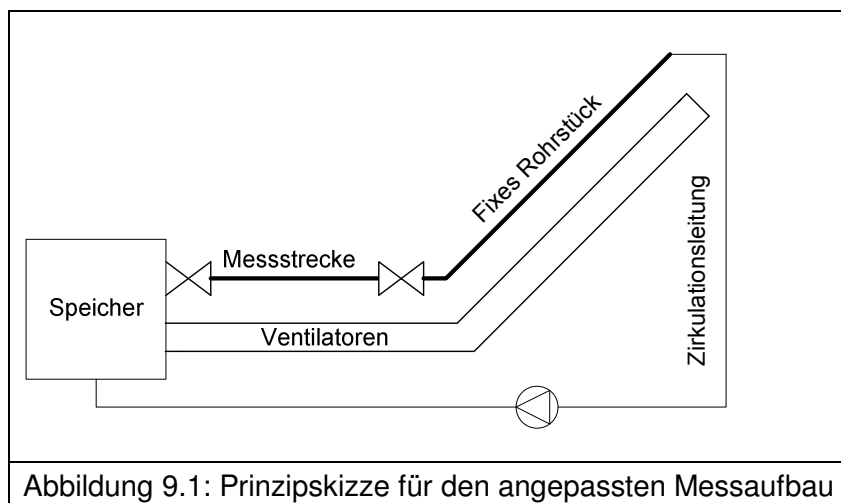


Abbildung 9.1: Prinzipskizze für den angepassten Messaufbau

---

## 10 Empfehlung zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen

In dieser Arbeit konnte mit der Erhebung aufgezeigt werden, dass aus energietechnischer Sicht viel Verbesserungspotential vorhanden wäre.

In den Messungen konnte aufgezeigt werden, dass die Art der Rohre und die Art der Rohrführung einen grossen Einfluss auf die Wärmeverlustleistung  $Q'$  der Anschlussleitung haben. Die Messungen haben aber auch gezeigt, dass nicht alle Rückschlagsperren zwingend eine starke Verringerung der Wärmeverlustleistung  $Q'$  bewirken.

In der Potentialabschätzung der möglichen Energieeinsparungen konnte zum Schluss aufgezeigt werden, dass diese Thematik volkswirtschaftliche Relevanz hat. Es lohnt sich auf jeden Fall, die Hersteller und Installateure dafür zu sensibilisieren.

Aus der vorliegenden Arbeit können zusammenfassend folgende Empfehlungen zur Gestaltung von Speicheranschlussleitungen gemacht werden:

- Anschlussrohre bewusst nach energetischen Gesichtspunkten gestalten
- Lange Verbindungsrohre vermeiden
- Die gesamten Anschlussrohre isolieren, inklusiver Bögen, Übergänge und Armaturen
- Wärmeverluste mittels Siphons, Konvektionsbremsen und Konvektionssperren vermindern
- Nur geprüfte Konvektionsbremsen und Konvektionssperren einsetzen

---

## 11 Literaturverzeichnis

- [1] R. Huhn: Erweiterte Modellierung der Verluste in Wärmespeichern und Entwicklung einer Berechnungsmethode für eine optimierte Speicherkonstruktion, TU Dresden, 2006
- [2] Kuchling H.: Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig, 1996
- [3] Hahne E.: Bestimmung der Wärmeverluste an den hydraulischen Anschlüssen von Warmwasserspeichern, Universität Stuttgart, ohne Jahresangabe
- [4] Statistisches Lexikon, Jährliche Bau- und Wohnungsbaustatistik, Bfs, 2005
- [5] Statistisches Lexikon, Gebäude nach Gebäudeart und Bauperiode, Bfs, 2000
- [6] Schweizerische Gesamtenergiestatistik, Bfe, 2004