

Konfliktsituation Hygiene und Energie in der Wassererwärmung

Ergebnisse von Mike Schmid und Joel Märki aus ihrer Bachelorarbeit

Prof. Reto von Euw

8. Schweizer Hygienetagung, 24. Januar 2025

Verkehrshaus Luzern

Forschungsfragen

- Welche Faktoren beeinflussen den Energieverbrauch und die Hygiene der Wassererwärmung?
- Ist die Schicht- oder Stufenladung für Wohngebäude energieeffizienter?

Methode

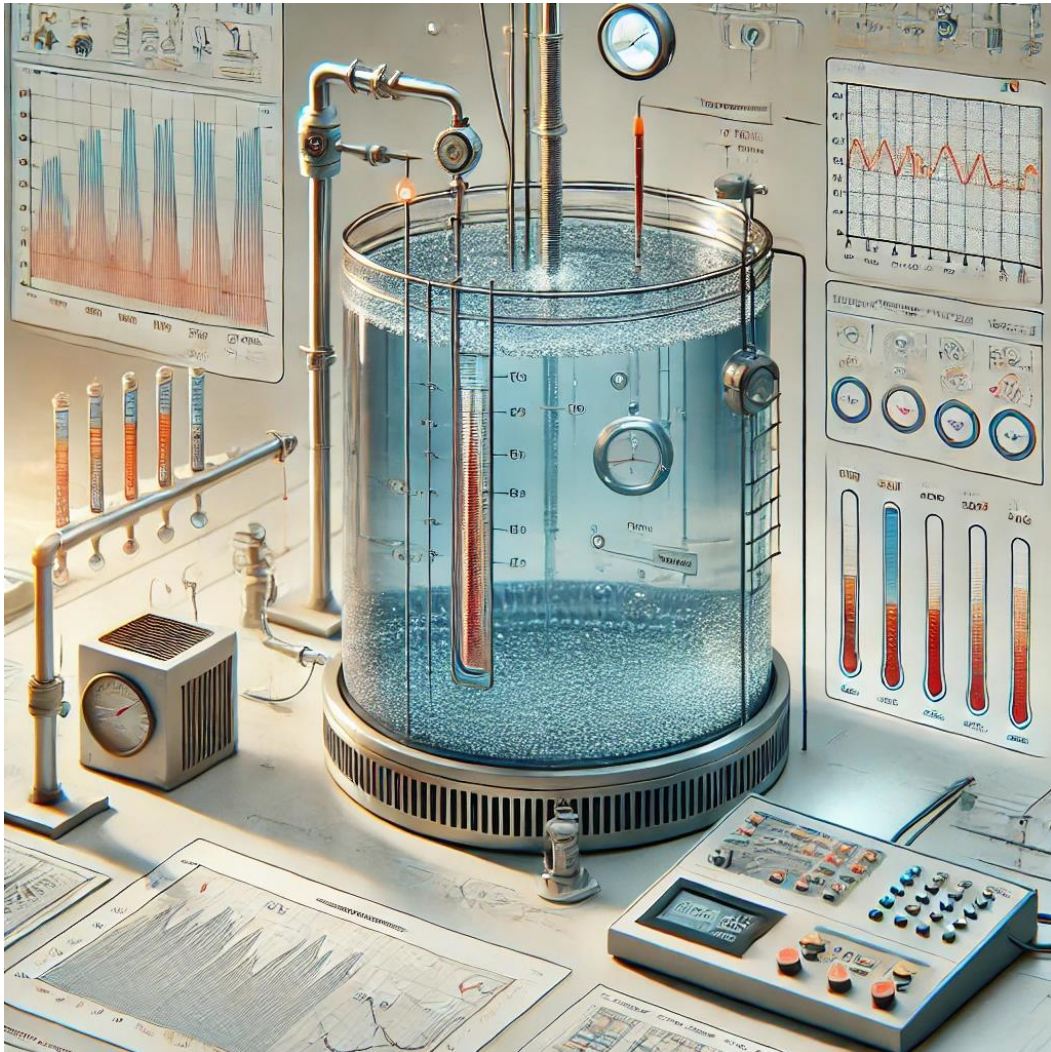
Versuchsstand



Messdaten:

- Temperaturen
(8 Speicher, VL/RL, KW, WW, Zirkulation)
- Volumenströme
(Ladeleitung, Warmwasserverbrauch)
- Leistungen
(WP-Input, WP-Output)

Versuchsstand

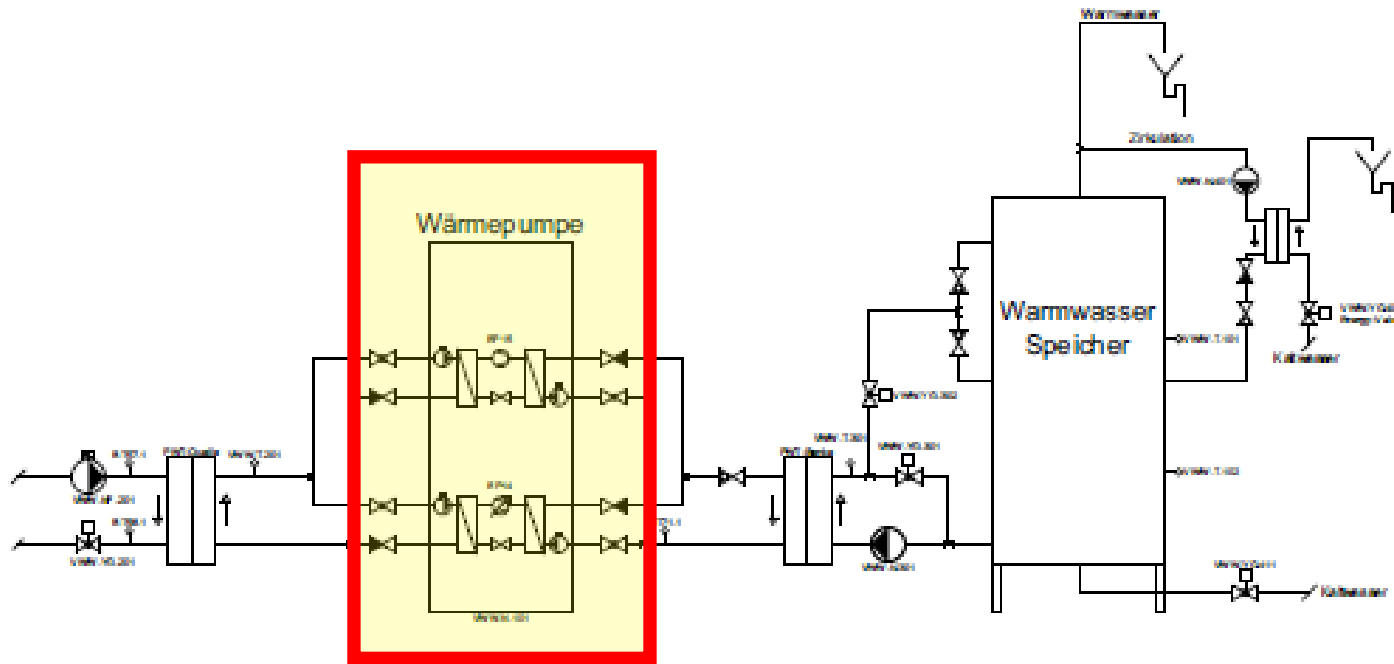


(Illustrationsquelle: erstellt mit OpenAI ChatGPT, 2025)

Auswertung:

- mittels Excel & Python
- digitale Aufnahmen (Bilder & Videos)

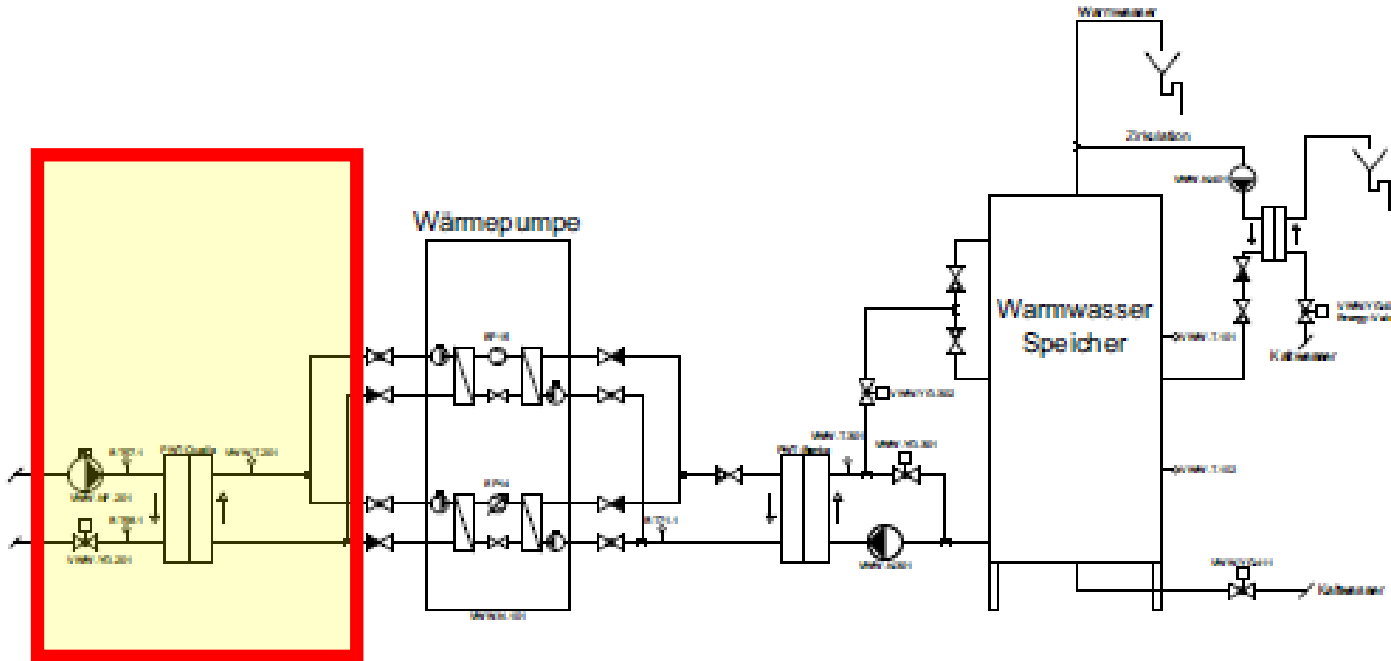
Versuchsstand



Wärmepumpe:

- Wärmepumpe von alpha innotec
- Typ: NP-BWV-28
- Wärmequelle: Sole
- Kältemittel: R407C
- Leistungsbereich: 4,0 bis 28,3 kW
- B10/W65: 34,5 kW / COP 2,9

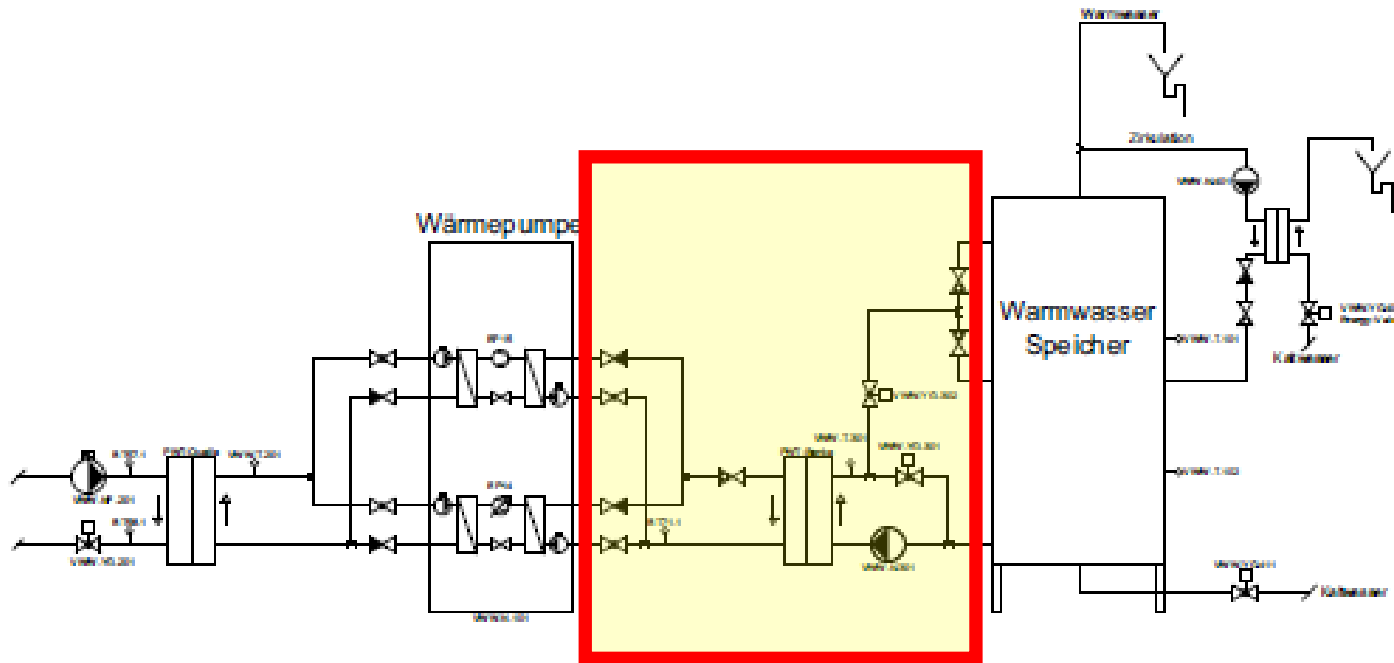
Versuchsstand



Quelle (Wärmeübertrager):

- Wasser/Wasser
- Temperatur Sole: 20/12 °C
- Temperatur Sekundär: 12/9 °C
- Leistung: 29 kW

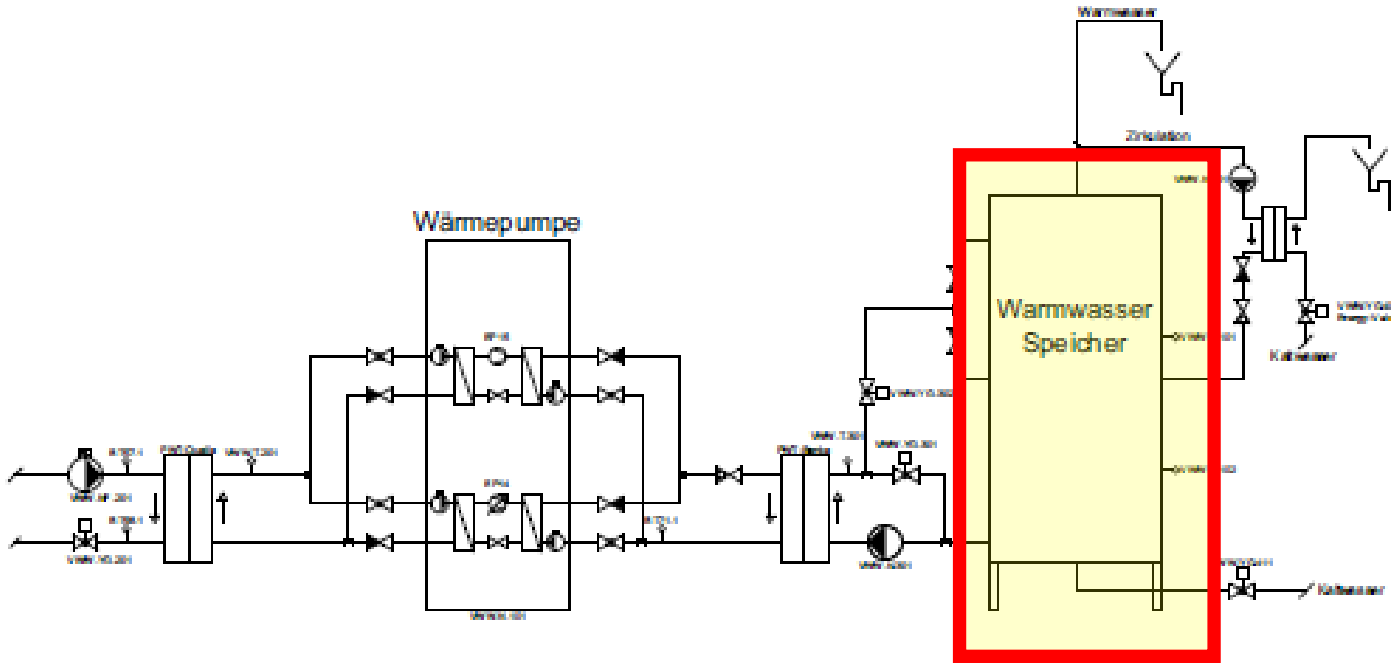
Versuchsstand



Senke (Wärmeübertrager):

- Wasser/Wasser
- Temperatur Primär: 63/58 °C
- Temperatur Sekundär: 61/56 °C
- Leistung: 36 kW

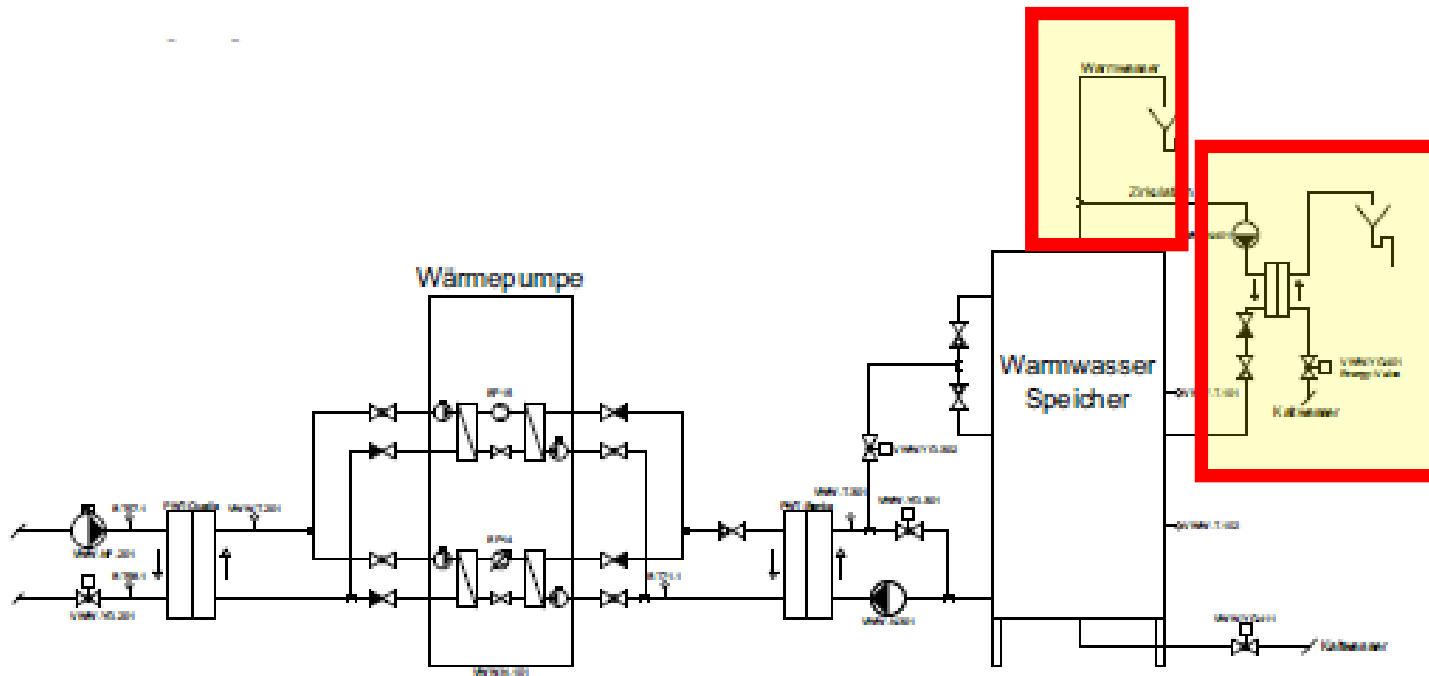
Versuchsstand



Warmwasserspeicher:

- Volumen: 1'500 Liter
- tägliche Wärmeverluste: 5 kWh_{th}

Versuchsstand




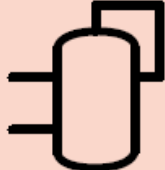
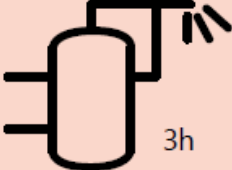
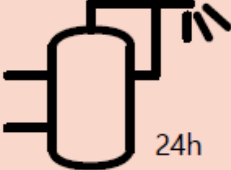
Warmwasserbezug:

- MFH mit 16 x 3½-Zimmerwohnungen
- Nutzenergie: 81 kWh_{th}
- tägliche Ausstosswärmeverluste: 8 kWh_{th}

Zirkulation:

- tägliche Wärmeverluste: 33 bis 45 kWh_{th}

Durchgeführte Versuche

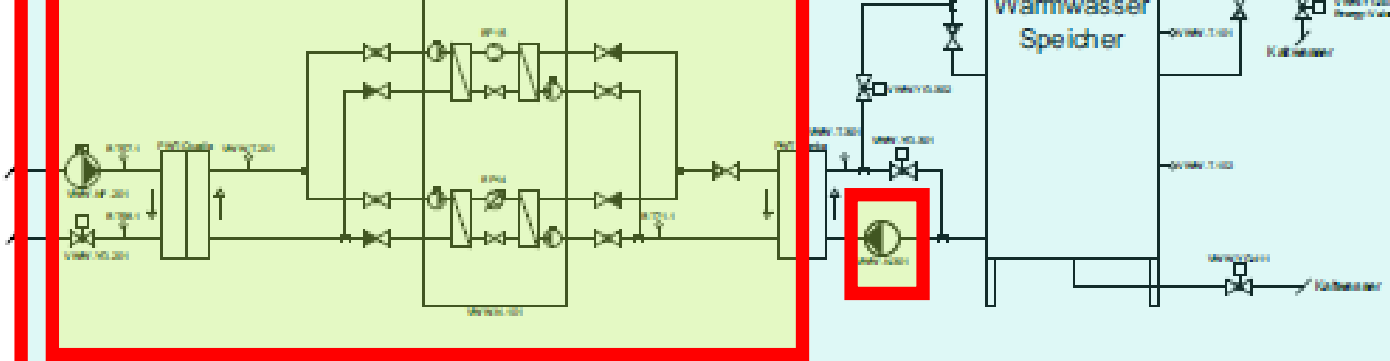
| | A | B | C | |
|---------------------|---|---|---|---|
| Versuchsszenario |  |  |  |  |
| Versuchsdauer | 1 Ladung | 1 Ladung | 3h | 24h |
| Speicherladung | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Warmwasserbezug | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |

Kennzahlen der Messungen

Ladearbeitszahl Wärmepumpe (LAZ_H)

Ladearbeitszahl Wärmepumpe (LAZ_{WP})

Wärmepumpe



Ladearbeitszahl Wärmepumpe (LAZ_{WP}):

- Thermische Energie der Senke (Kondensation)
- Elektrische Energie (WP + Pumpen)

$$LAZ_{WP} = \frac{\textit{thermische Energie der Senke}}{\textit{elektrische Energie}}$$

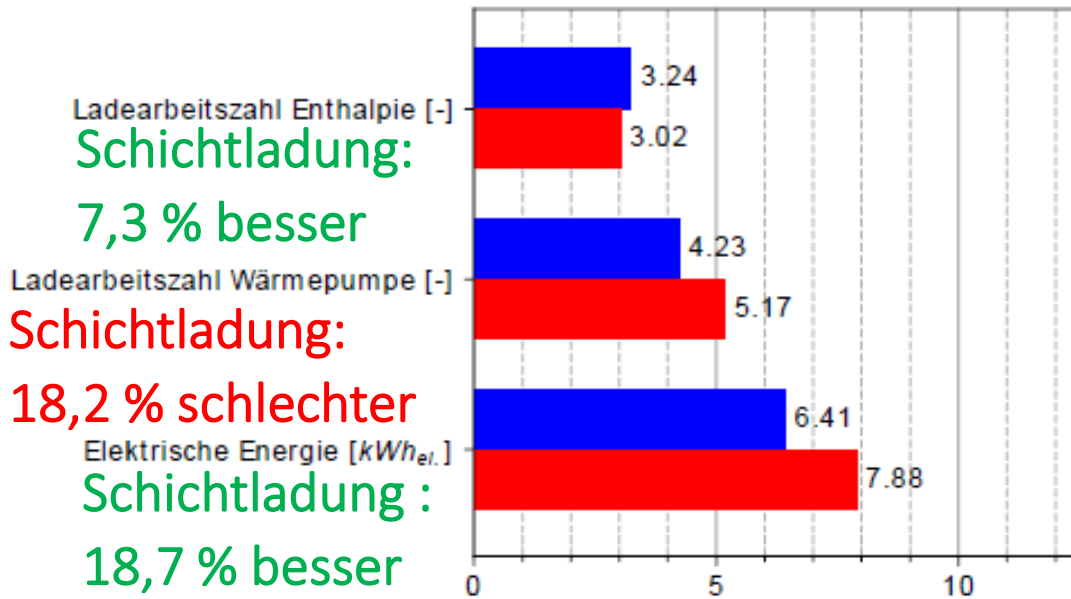
Ladearbeitszahl Enthalpie (LAZ_H):

- Enthalpiedifferenz (Ladeende/Ladestart)
- Elektrische Energie (WP + Pumpen)

$$LAZ_H = \frac{H_{Ladeende} - H_{Ladestart}}{\textit{elektrische Energie}}$$

Ergebnisse Energiebilanz

Kennzahlen der Messungen



Ladearbeitszahl Enthalpie [-]
Schichtladung:

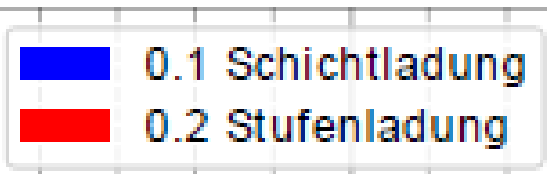
7,3 % besser

Ladearbeitszahl Wärmepumpe [-]
Schichtladung:

18,2 % schlechter

Elektrische Energie [$kWh_{el.}$]
Schichtladung:

18,7 % besser

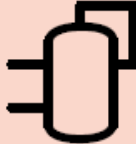


| | A |
|---------------------|----------|
| Versuchsszenario | |
| Versuchsdauer | 1 Ladung |
| Speicherladung | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✗ |
| Warmwasserbezug | ✗ |

Szenario A:

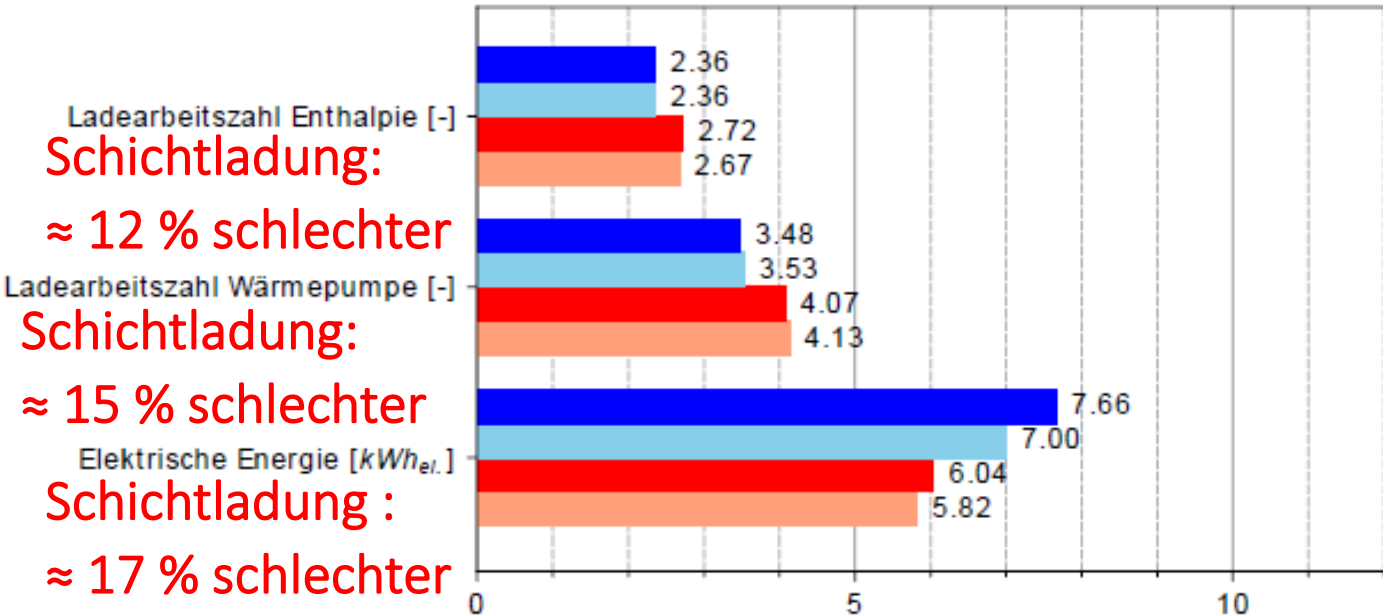
- LAZ_H : 7,3 % bessere bei Schichtladung
 → optimale Temperaturschichtung
 → **keine** Einströmwärmeverluste durch Zirkulation und Kaltwasser
- LAZ_{WP} : 18,2 % schlechter bei Schichtladung
 → Beginn der Stufenladung: guter COP
 → Ende der Stufenladung: schlechter COP
- 18,7 % **weniger** elektr. Energie bei Schichtladung
 → schnellere Speicherladezeit

Kennzahlen der Messungen

| | |
|---------------------|--|
| | B |
| Versuchsszenario |  |
| Versuchsdauer | 1 Ladung |
| Speicherladung | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✓ |
| Warmwasserbezug | ✗ |

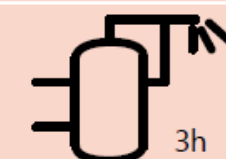
Szenario B:

- LAZ_H : $\approx 12\%$ schlechter bei Schichtladung
 → schlechtere Temperaturschichtung
 → Einströmwärmeverluste durch Zirkulationsrückführung in Speicher
- LAZ_{WP} : $\approx 15\%$ schlechter bei Schichtladung
 → Beginn der Speicherladung: guter COP
 → Ende der Speicherladung: schlechter COP
- $\approx 17\%$ **mehr** elektrische Energie bei Schichtladung
 → ähnlich lange Speicherladezeiten



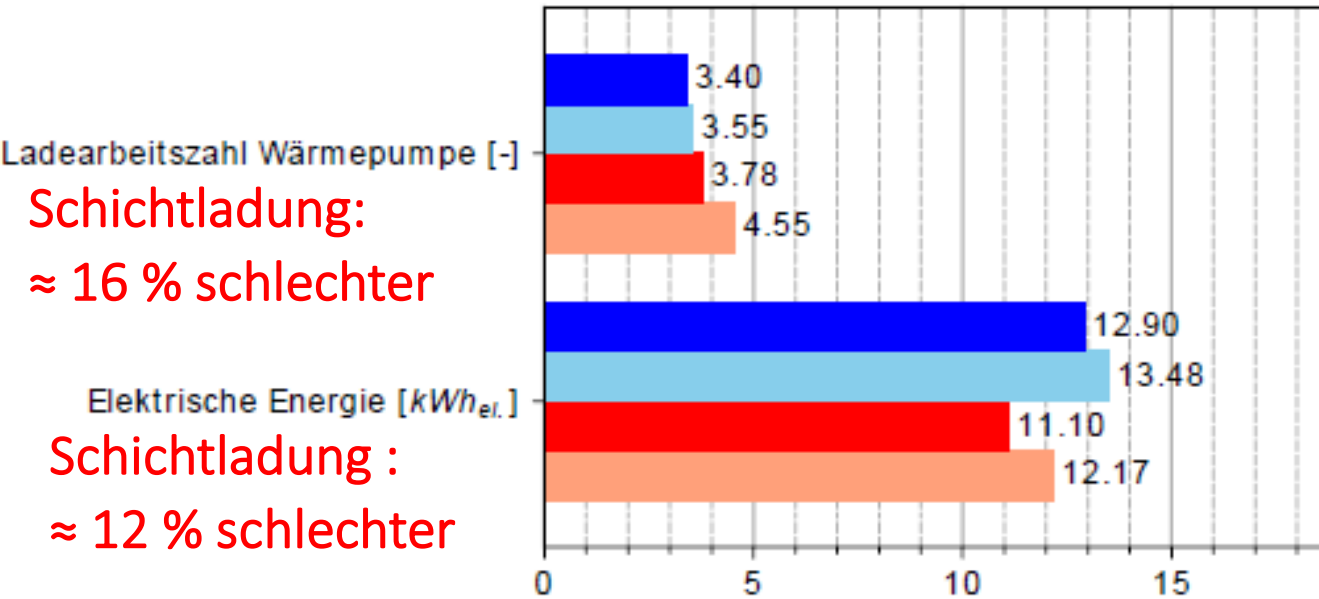
| | |
|--|-------------------------------|
| ■ 1.1 Schichtladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,10 \text{ m/s}$ |
| ■ 1.2 Schichtladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,15 \text{ m/s}$ |
| ■ 1.3 Stufenladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,10 \text{ m/s}$ |
| ■ 1.4 Stufenladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,15 \text{ m/s}$ |

Kennzahlen der Messungen

| | |
|---------------------|--|
| | C |
| Versuchsszenario |  |
| Versuchsdauer | 3 h |
| Speicherladung | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✓ |
| Warmwasserbezug | ✓ |

Szenario C:

- LAZ_{WP} : $\approx 16\%$ schlechter bei Schichtladung
 → Beginn der Ladung: guter COP
 → Ende der Ladung: schlechter COP
- $\approx 12\%$ mehr elektrische Energie bei Schichtladung
 → ähnlich lange Speicherladezeiten
 → ungünstige Einströmwärmeverluste beeinträchtigen Schichtladung mehr



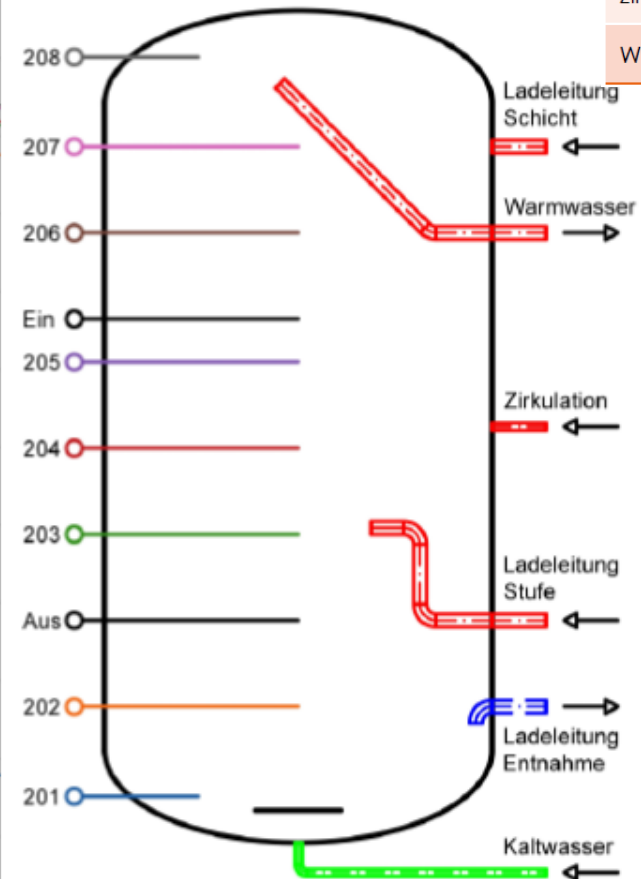
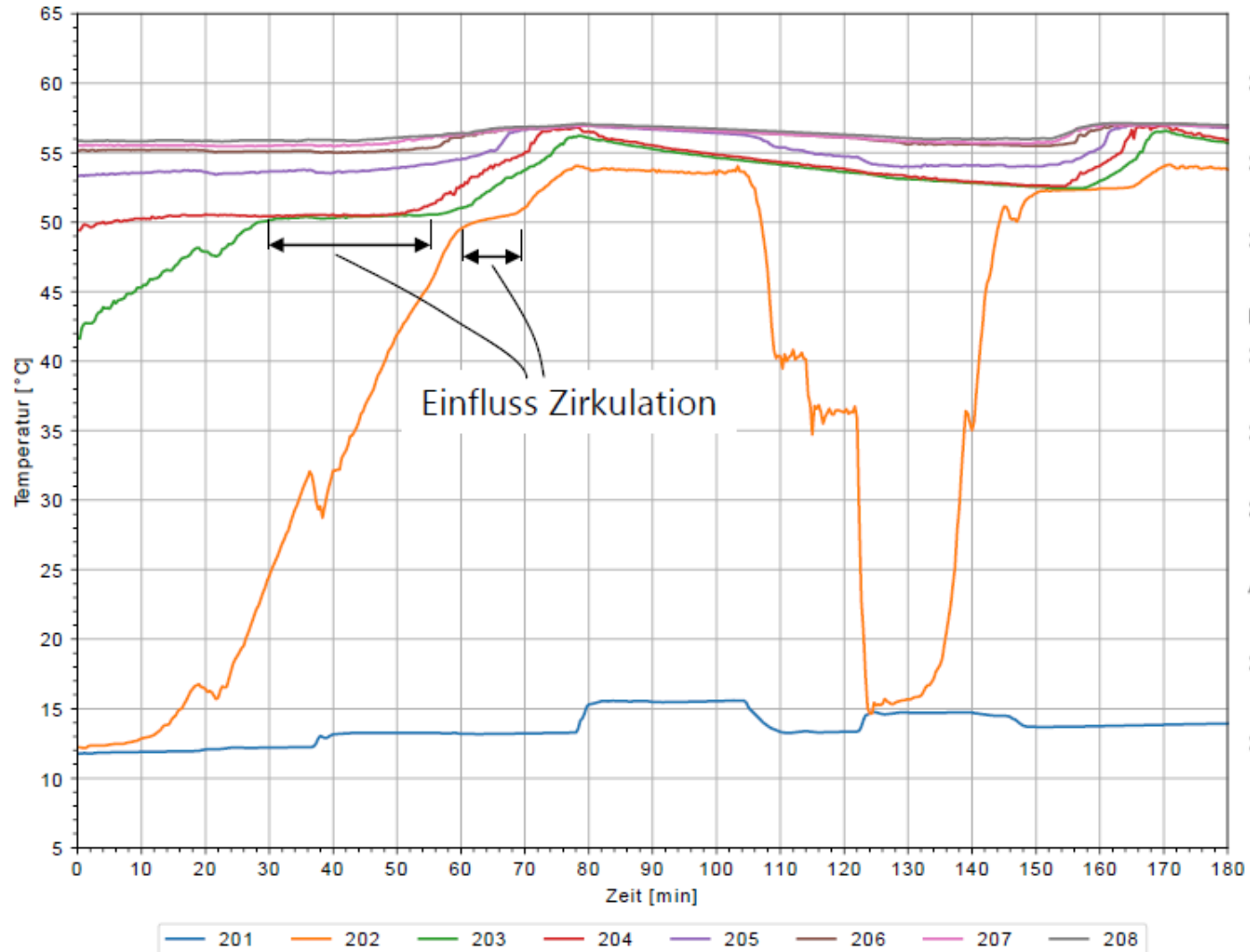
| | | |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|
| ■ | 1.1 Schichtladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,10 \text{ m/s}$ |
| ■ | 1.2 Schichtladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,15 \text{ m/s}$ |
| ■ | 1.3 Stufenladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,10 \text{ m/s}$ |
| ■ | 1.4 Stufenladung und Zirkulation | $w_{zirk} = 0,15 \text{ m/s}$ |

Erkenntnisse aus den Kennzahlen der Messungen

- Zirkulationsrückführung in den Speicher und Warmwasserbezüge beeinflussen die exergetischen Wärmeverluste.
- Wenn die exergetischen Wärmeverluste minimiert werden können, wird die Schichtladung effizienter.
- Wenn die exergetischen Wärmeverluste nicht reduziert werden können, ist die Stufenladung bis zu 15 % energieeffizienter als die Schichtladung.
- Während eines Ladevorgangs sind die Einströmgeschwindigkeiten in den Speicher weniger kritisch.
- Weitere Laborversuche haben gezeigt, dass ausserhalb eines Ladevorgangs Einströmgeschwindigkeiten in den Speicher von max. 0,10 m/s einzuhalten sind.

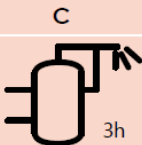
Hygiene

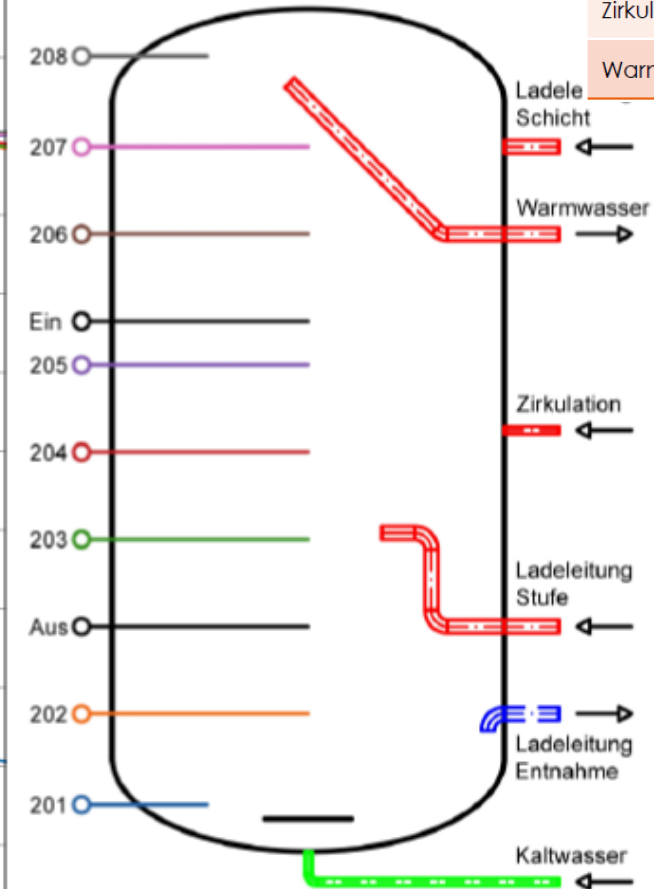
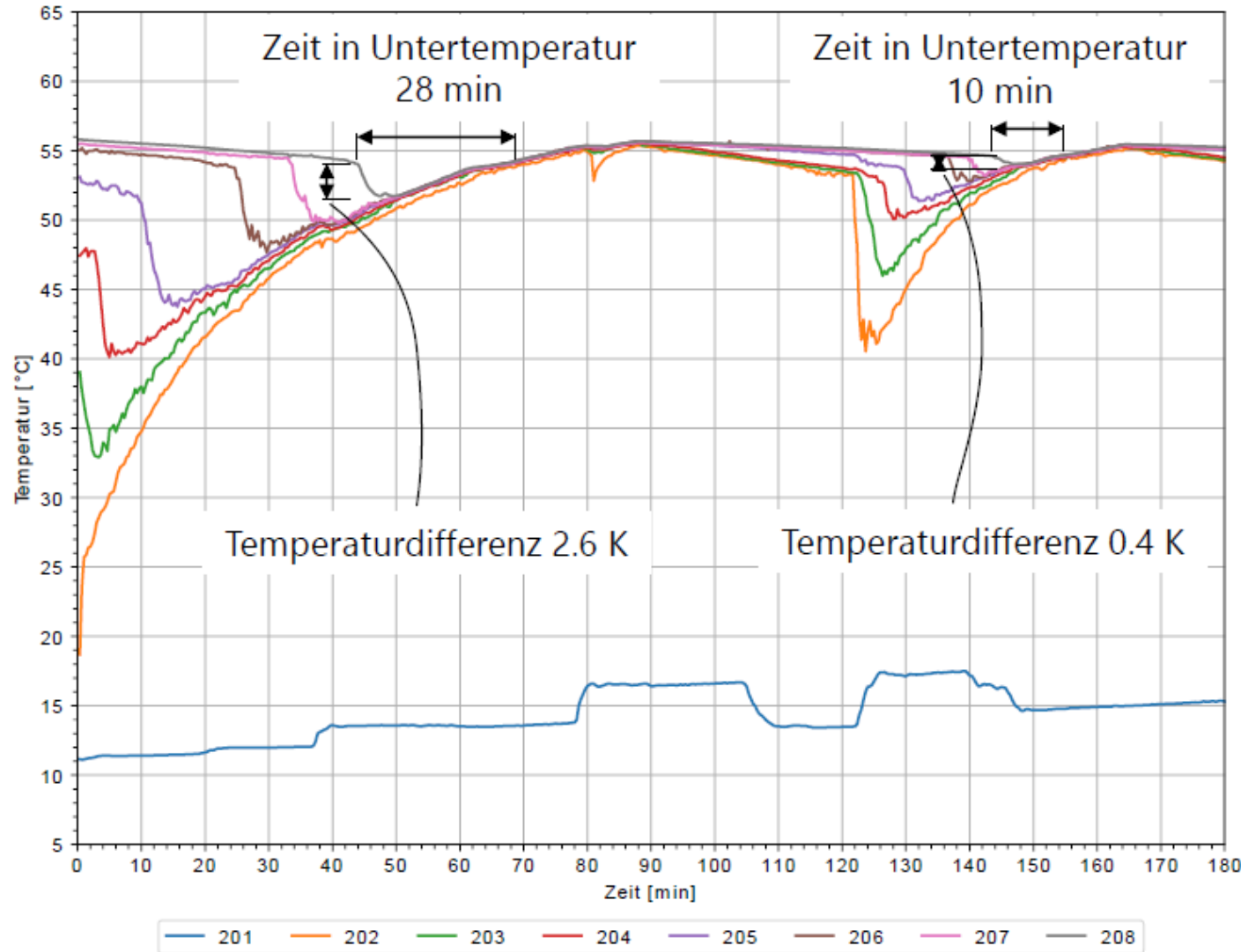
Einfluss der Hygiene in der Schichtladung



| Versuchsszenario | C |
|---------------------|-----|
| Versuchsdauer | 3 h |
| Speicherladung | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✓ |
| Warmwasserbezug | ✓ |

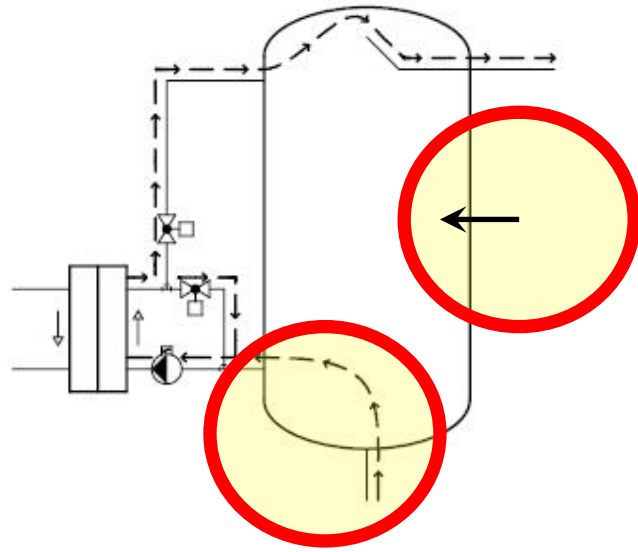
Einfluss der Hygiene in der Stufenladung

| | |
|---------------------|--|
| Versuchsszenario | C  |
| Versuchsdauer | 3 h |
| Speicherladung | ✓ |
| Zirkulationsbetrieb | ✓ |
| Warmwasserbezug | ✓ |

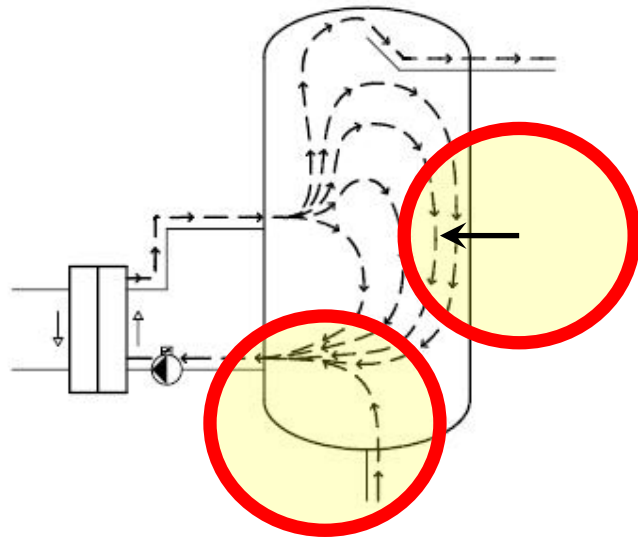


Einfluss der Hygiene in der Schicht- und Stufenladung

Schichtladung



Stufenladung



Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur Hygiene

- Mit den Strömungen im Speicher wird auch die Mikrobiologie mitgerissen.
- Bei der Stufenladung wird der Speicher stärker durchströmt.
- Bei der Stufenladung wird die oberste Temperaturschicht im Speicher gegen Ende der Ladung für ca. 30 Minuten um bis zu 3 Kelvin abgesenkt.
- Bei Schicht- und Stufenladung muss die Ladeleitung aus hygienischen Gründen von der Seite des Speichers abgenommen werden.
- Impulsarmer Kaltwassereintritt in den Speicher ($w < 0,10$ m/s).
- Bei der Schichtladung treten innerhalb der Temperaturschichten keine Temperaturabsenkungen auf.

Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur Hygiene

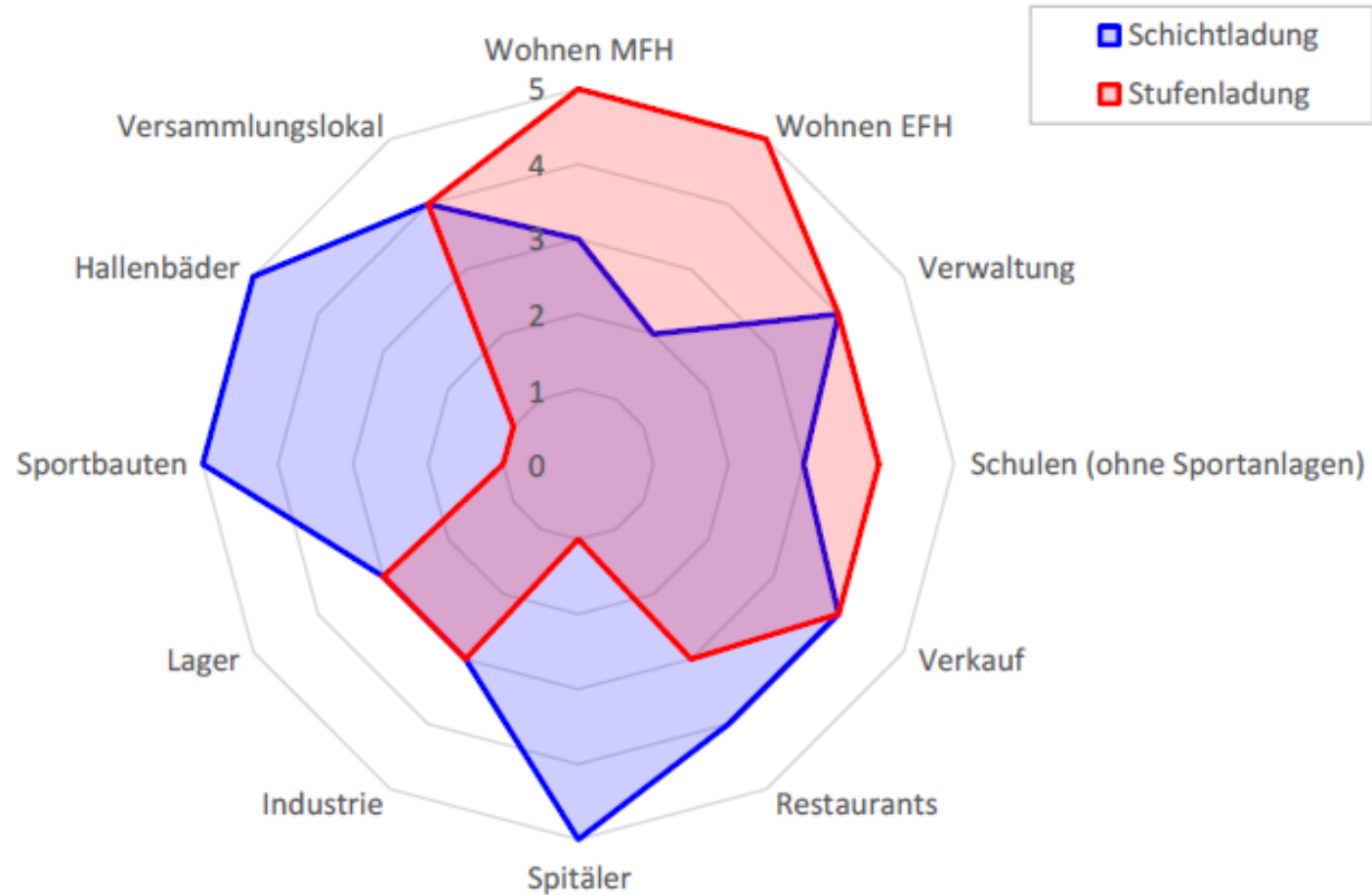


Diagramme und Abbildungen stammen aus der BAT von Mike Schmid und Joel Märki



DIE PLANER.

NETZWERK FÜR ENERGIE, UMWELT UND GEBÄUDETECHNIK

Vielen Dank.

Prof. Reto von Euw

Dozent im Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)

an der Hochschule Luzern

T direkt +41 41 349 34 23

reto.voneuw@hslu.ch

DIE PLANER, SWKI, Solothurnstrasse 13, CH-3322 Urtenen-Schönbühl

T +41 (0)31 852 13 00, info@die-planer.ch, www.die-planer.ch