



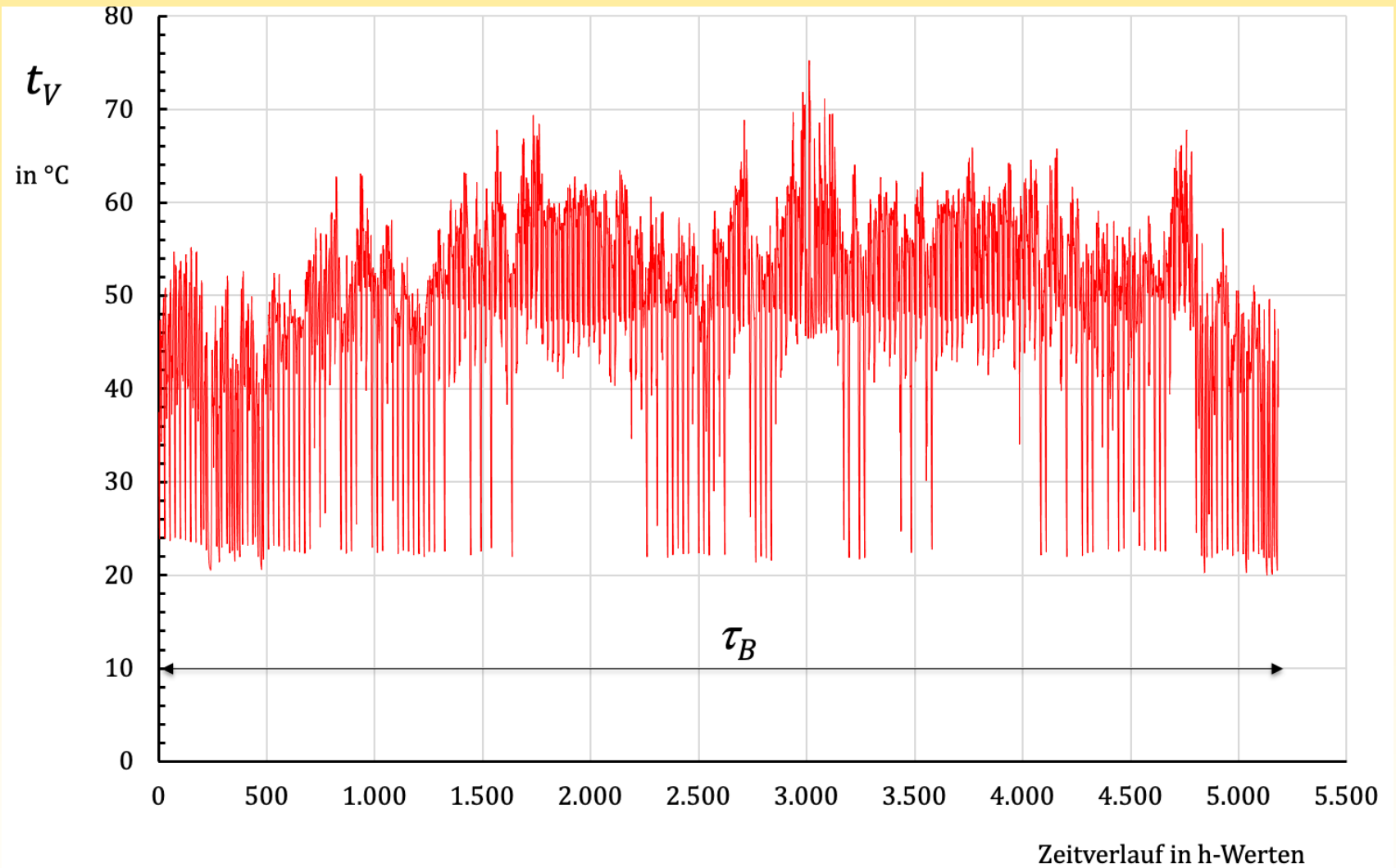
Jahresmessfehler bei Verwendung von Wärmezählern in Wohngebäuden

Univ.-Prof. Dr. Dr. Franz Adunka
A-9082 Maria Wörth, St. Anna Weg 4, Österreich
email: franz.adunka@me.com
Tel: +43 664 7360 3853

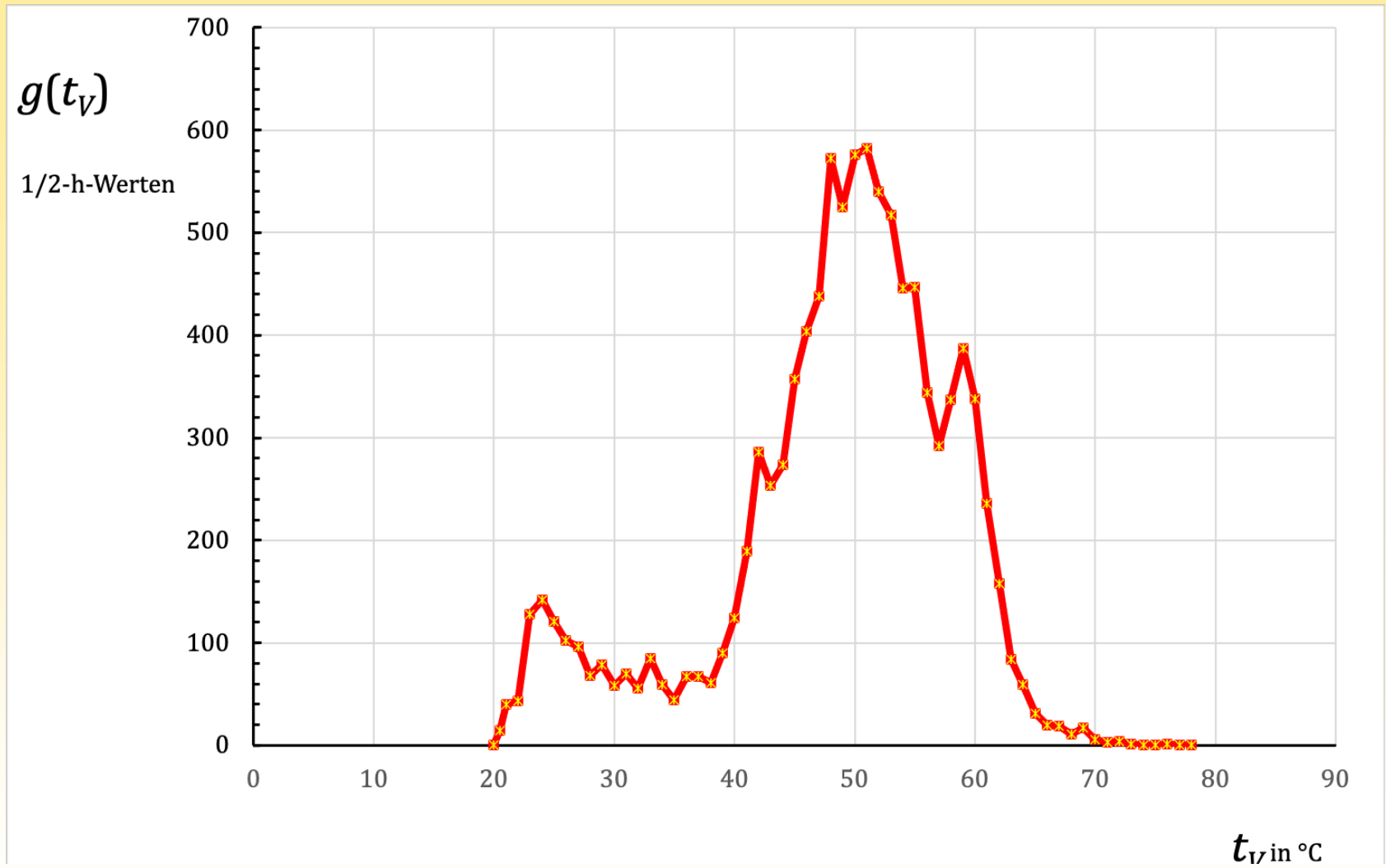
1. Was versteht man unter dem Jahresmessfehler?

- ❑ Generell für registrierende Messgeräte: Mittlerer Fehler über eine definierte Periode (z.B. Abrechnungszeitraum, Heizperiode u.ä)
- ❑ Messfehler abhängig von der Häufigkeitsverteilung einer bestimmten Messgröße
- ❑ *Beispiel:* Verlauf der Vorlauftemperatur t_V in der Heizperiode bestimmen.
- ❑ Daraus erhält man das Häufigkeitsdiagramm $g(t_V)$ (siehe nächste Folien)

Verlauf der Vorlauftemperatur in der Heizperiode



Häufigkeitsdiagramm für t_V in der Heizperiode



2 JMF von WZ im Wohnungsbereich

- Jahresmessfehler für den Durchflusssensor (DFS):
 $F_{J,q}$
- JMF für die Temperaturdifferenz (ohne Tauchhülsen):
 $F_{J,\Delta t}$
- JMF für das Rechenwerk: $F_{J,RW}$
- JMF für die Tauchhülsen (siehe Kapitel 3): $F_{J,TH}$

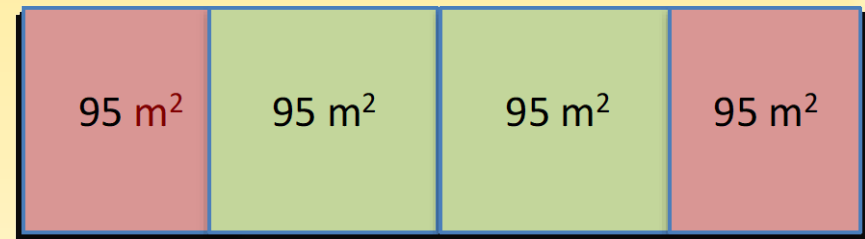
$$\circ F_J \approx F_{J,\Delta t} + F_{J,q} + F_{J,RW} + F_{J,TH}$$

Bauliche Voraussetzungen

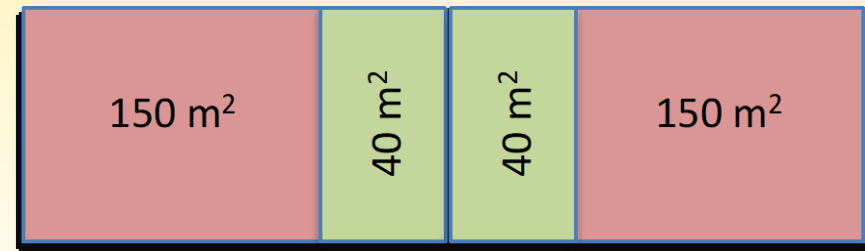
Haus mit 12 Wohnungen, 3 Stockwerke à 4 Wohnungen,
Zugang über 2 Stiegenhäuser

| | | | |
|---|---|----|----|
| 5 | 6 | 11 | 12 |
| 3 | 4 | 9 | 10 |
| 1 | 2 | 7 | 8 |

- * Wohnungsgrößen, 2 Fälle:
- * alle Wohnungen gleich groß: 95 m²



- * Wohnungen mit 40 m² innenliegend (Sparer),
- * Wohnungen mit 150 m² außenliegend (Verschwender, höherer Luftwechsel)



| | | | |
|---|----|----|----|
| 9 | 10 | 11 | 12 |
| 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

Nutzerverhalten - 1

- Alle Wohnungen haben ungefähr die gleichen Anforderungen an Raum-Solltemperatur und Luftwechsel
- Die Zeitpläne der Anwesenheit von Nutzern bzw. Heiz- / Lüftungsanforderung sind leicht gegeneinander verschoben, damit nicht in allen Wohnungen gleichzeitig Fenster geöffnet oder Thermostatventile aufgedreht werden. Trotzdem ist die Anforderung im Schnitt in jeder Wohnung im Referenzfall gleich

Nutzerverhalten - 2

- Unterschiedliche Heizwärmeverbräuche kommen deshalb im Referenzfall nur durch die Lage der Wohnungen im Gebäude bzw. bei dem Gebäude mit den ungleichen Wohnungsgrößen zusätzlich durch die Wohnflächenunterschiede zustande
- Diese lokalen und größenmäßigen Unterschiede führen dazu, dass die innen liegenden Wohnungen weniger Heizwärme verbrauchen als die außen liegenden (kleinerer Außenwandanteil) und beim zweiten Gebäude zusätzlich kleinere Wohnungen innen)

Nutzerverhalten - 3

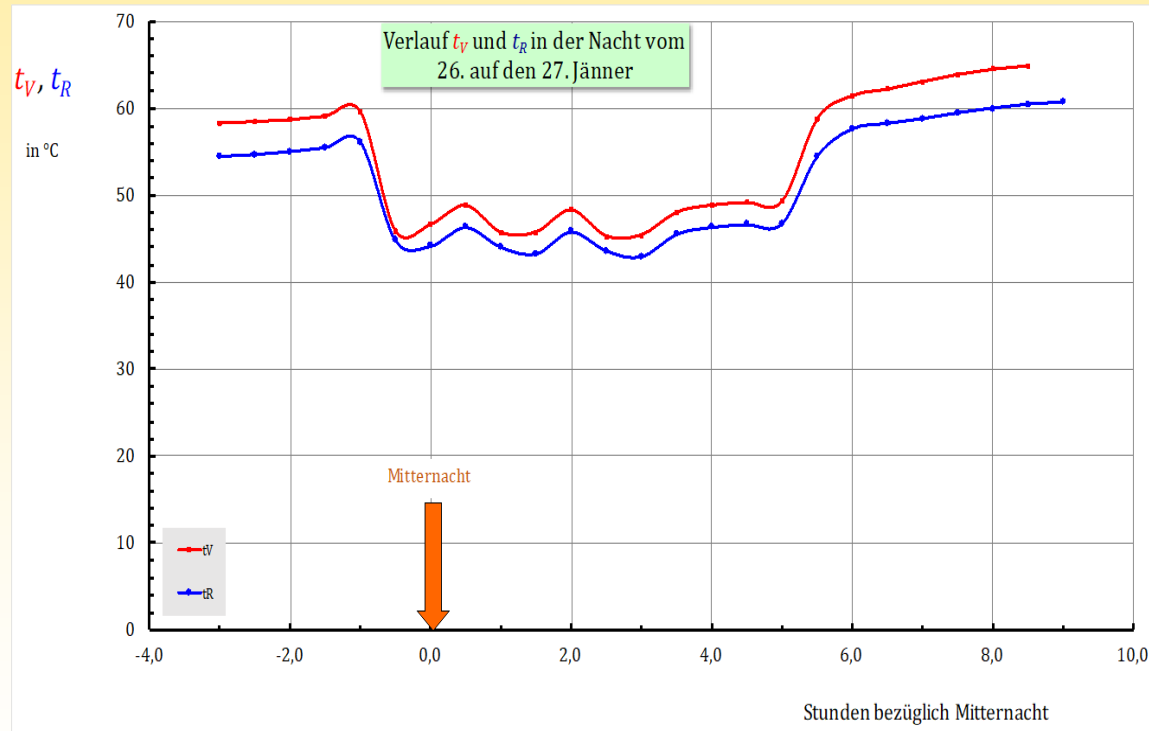
- Um den natürlicherweise entstehenden Verbrauchsunterschied zwischen innen und außen liegenden Wohnungen noch zu verstärken, sind die Anforderungen im Fall 1 in den in den außen liegenden Wohnungen höher (höhere Raum-Solltemperaturen und häufigere Fensterluftwechsel) als in den innen liegenden.

Baualtersklassen, Lüftungsverhalten

- ★ **Baualtersklassen:** BAK 9, BAK 10a. Ältere BAK werden nicht berücksichtigt, da Probleme in erster Linie bei den aktuellen BAK (10a) vorliegen (geringe Verbräuche)
- ★ **Lüftungsverhalten:** Bei allen Heizsystemen wird ein Referenzfall (typisches Lüftungsverhalten) sowie ein Fall 1 mit gesteigertem Lüftungsverhalten in den außenliegenden Wohnungen betrachtet
- ★ Es werden WZ mit DFS, TF und RW verwendet, die zwar verschiedene Eigenschaften haben, **aber alle die EFG einhalten**

Nachtabsenkung

- **Ansatz 1:** Heizung wird um 23:30 **abgeschaltet** und um 05:00 wieder gestartet
- **Ansatz 2:** Es gibt keine Nachtabstaltung, sondern nur eine **Nachtabenkung:**



* Zweirohrheizung

* Einrohrheizung

* Fußbodenheizung

Ergebnis für Jahresmessfehler (ohne TH) - Beispiel

| | $F_{J,\Delta t}$ | $F_{J,q}$ | $F_{J,RW}$ | F_J |
|--------|------------------|-----------|------------|-------|
| | % | % | % | % |
| W1 | 0,39 | -0,98 | -1,27 | -1,86 |
| W2 | -3,86 | -0,52 | 1,76 | -2,63 |
| W3 | -2,63 | 0,28 | 0,33 | -2,02 |
| W4 | 4,23 | -0,12 | -0,48 | 3,63 |
| W5 | -1,66 | -0,43 | -0,20 | -2,30 |
| W6 | -0,29 | -0,30 | -0,79 | -1,39 |
| W7 | -3,26 | 0,41 | 0,88 | -1,97 |
| W8 | -0,11 | -0,45 | -0,60 | -1,16 |
| W9 | 4,10 | 0,79 | -0,81 | 4,08 |
| W10 | -3,01 | 0,40 | -0,06 | -2,66 |
| W11 | -3,84 | 0,43 | 0,63 | -2,77 |
| W12 | -2,46 | 0,72 | 0,26 | -1,48 |
| Max. | 4,23 | 0,79 | 1,76 | 4,08 |
| Min | -3,86 | -0,98 | -1,27 | -2,77 |
| Mittel | -1,03 | 0,02 | -0,03 | -1,04 |
| Stabw. | 2,82 | 0,56 | 0,85 | 2,35 |

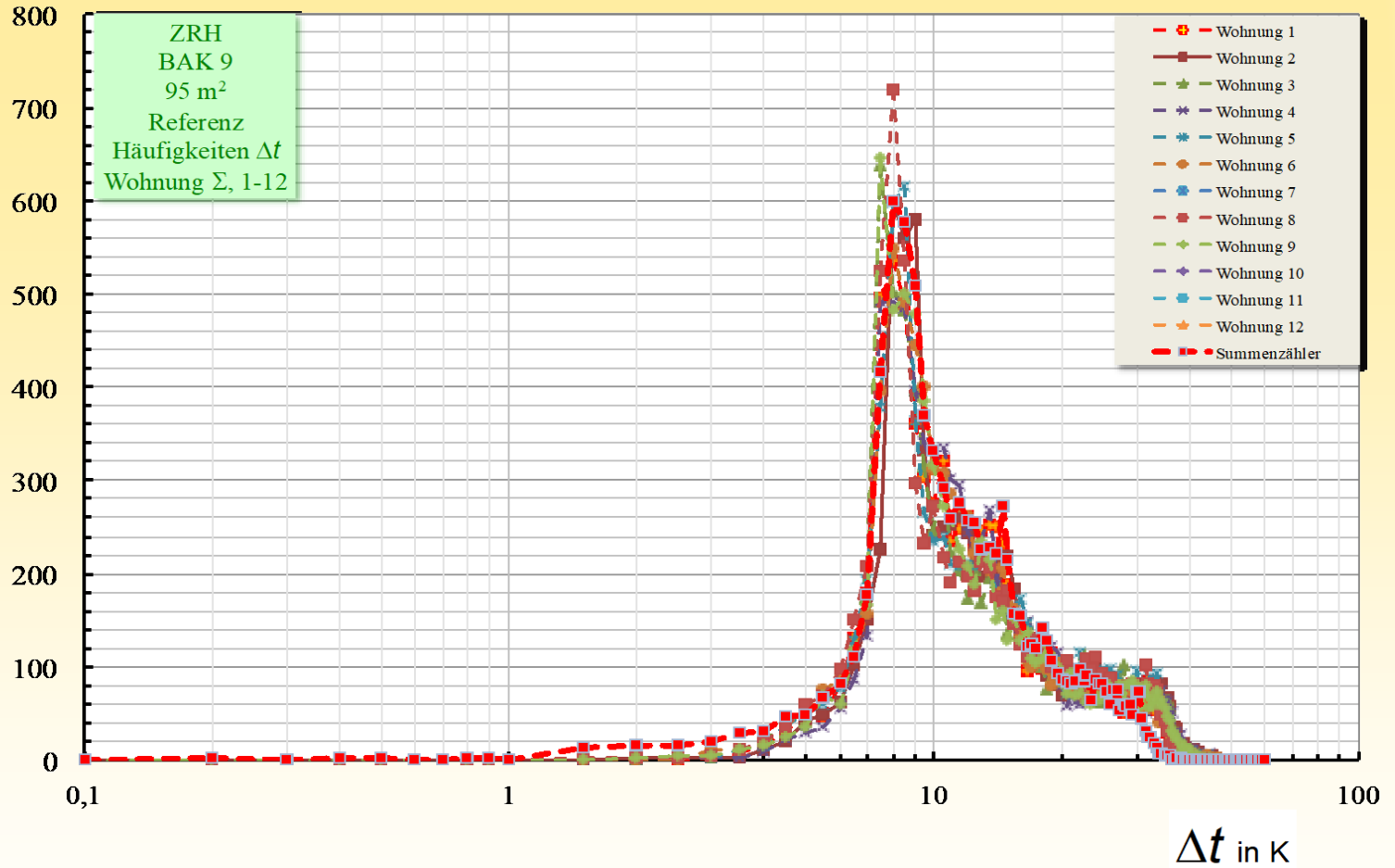
| | $s(F_{J,\Delta t}, F_J)$ | $s(F_{J,q}, F_J)$ | $s(F_{J,RW}, F_J)$ |
|----------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| | % | % | % |
| | -1,16 | 0,81 | 1,01 |
| | 4,48 | 0,86 | -2,83 |
| | 1,56 | -0,25 | -0,35 |
| | 24,60 | -0,65 | -2,13 |
| | 0,79 | 0,57 | 0,22 |
| | -0,25 | 0,11 | 0,26 |
| | 2,06 | -0,36 | -0,84 |
| | -0,10 | 0,05 | 0,06 |
| | 26,32 | 3,94 | -4,01 |
| | 3,20 | -0,62 | 0,05 |
| | 4,85 | -0,71 | -1,15 |
| | 0,63 | -0,31 | -0,13 |
| $s(x,y)$ | 6,09 | 0,31 | -0,89 |
| $r(x,y)$ | 0,92 | 0,24 | -0,45 |

Häufigkeitsverteilungen der Messgrößen q und Δt

Δt für ZRH, BAK 9

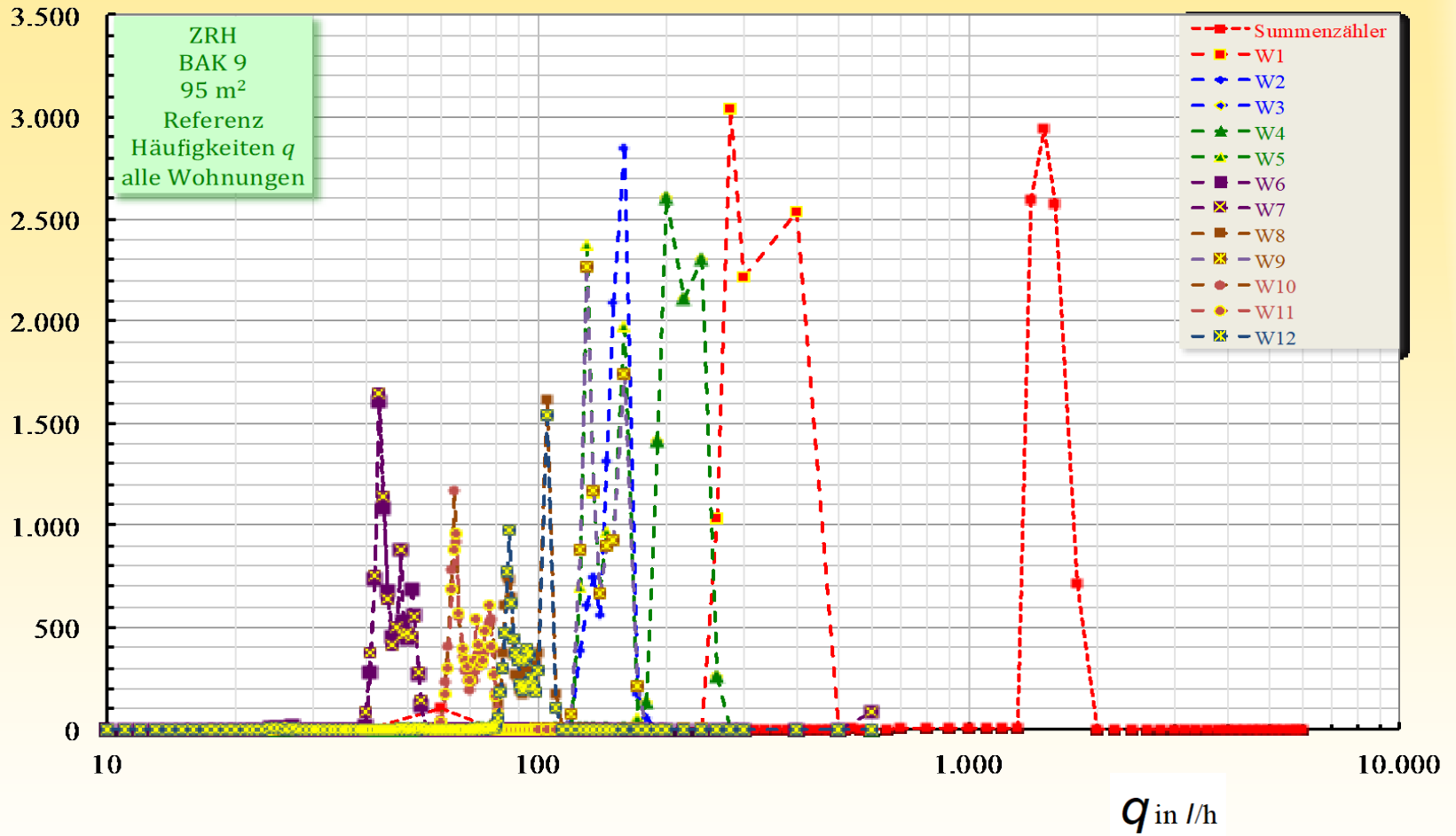
$g(\Delta t)$

in 1/2 h-
Werten



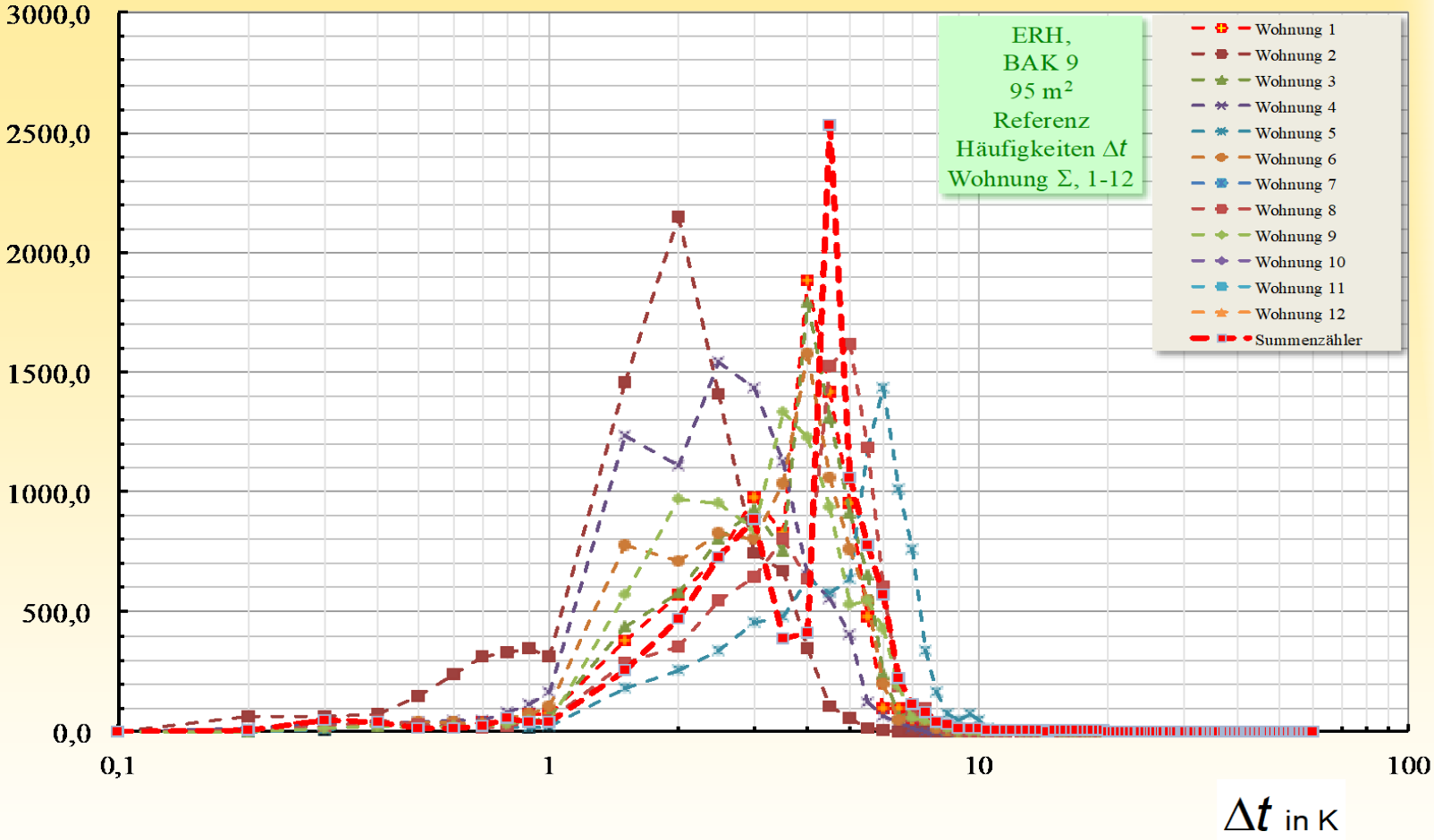
q für ZRH, BAK 9

$g(q)$
in 1/2 h-
Werten

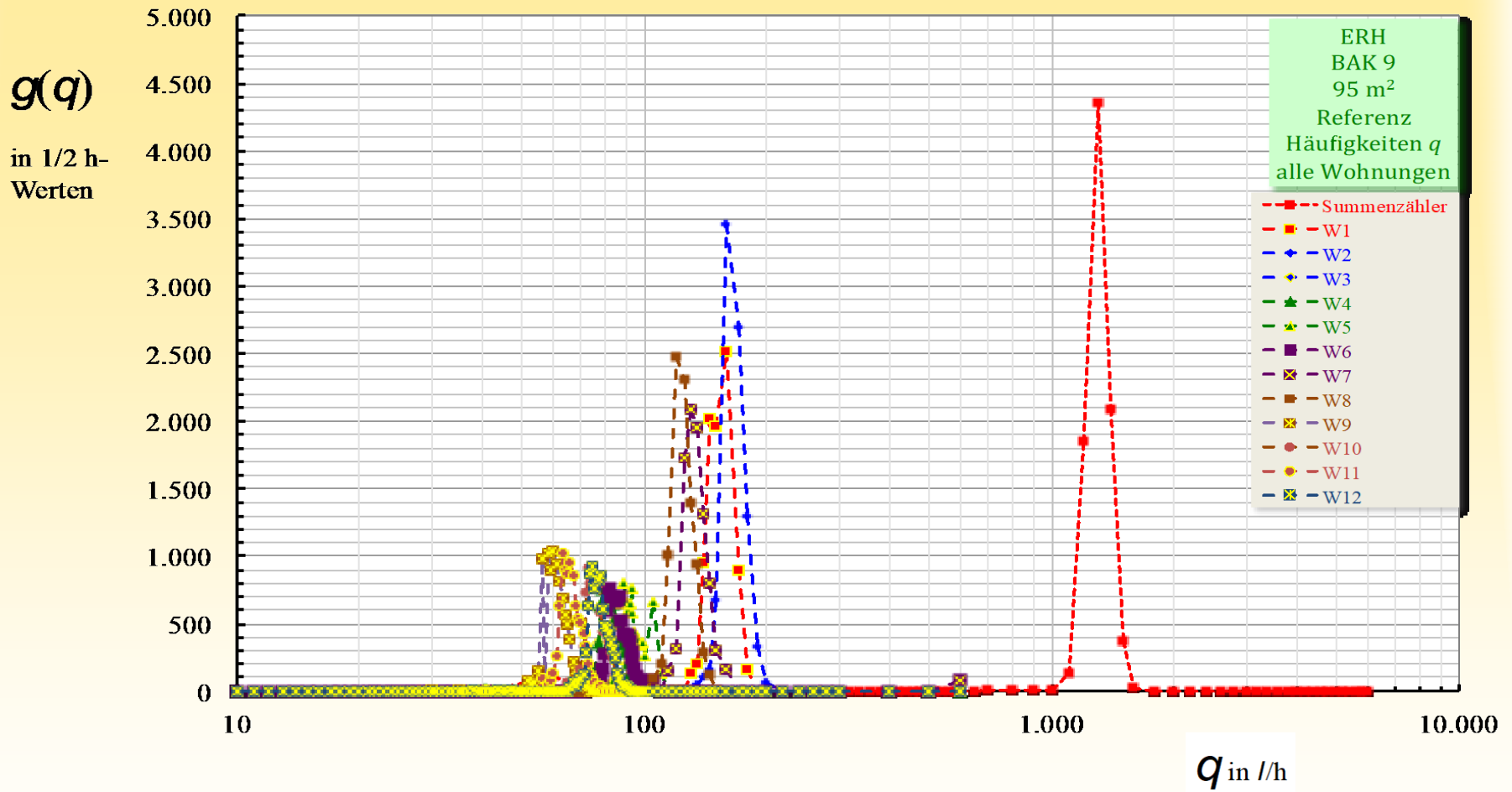


Δt für ERH, BAK 9

$g(\Delta t)$
in 1/2 h-
Werten



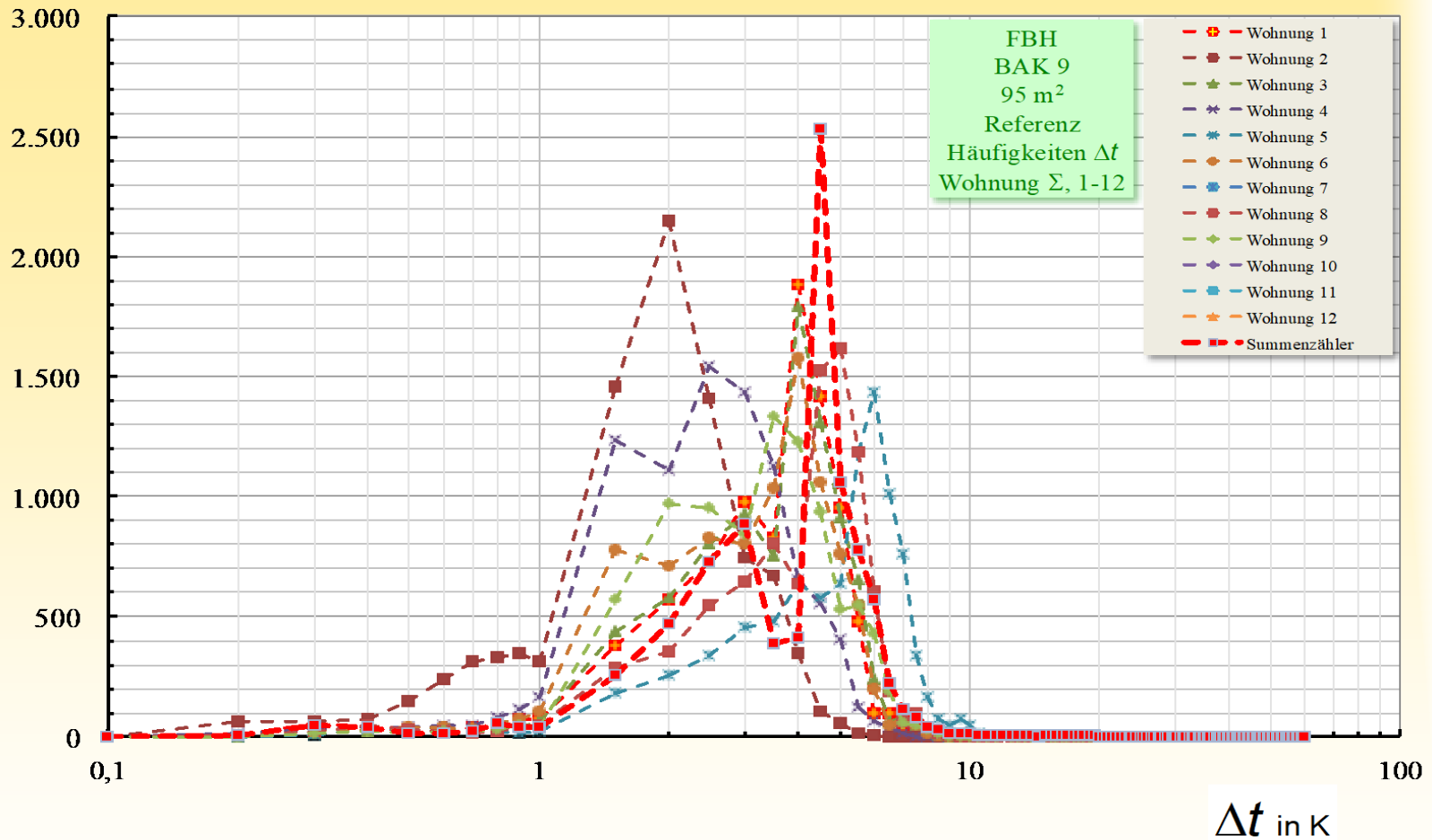
q für ERH, BAK 9



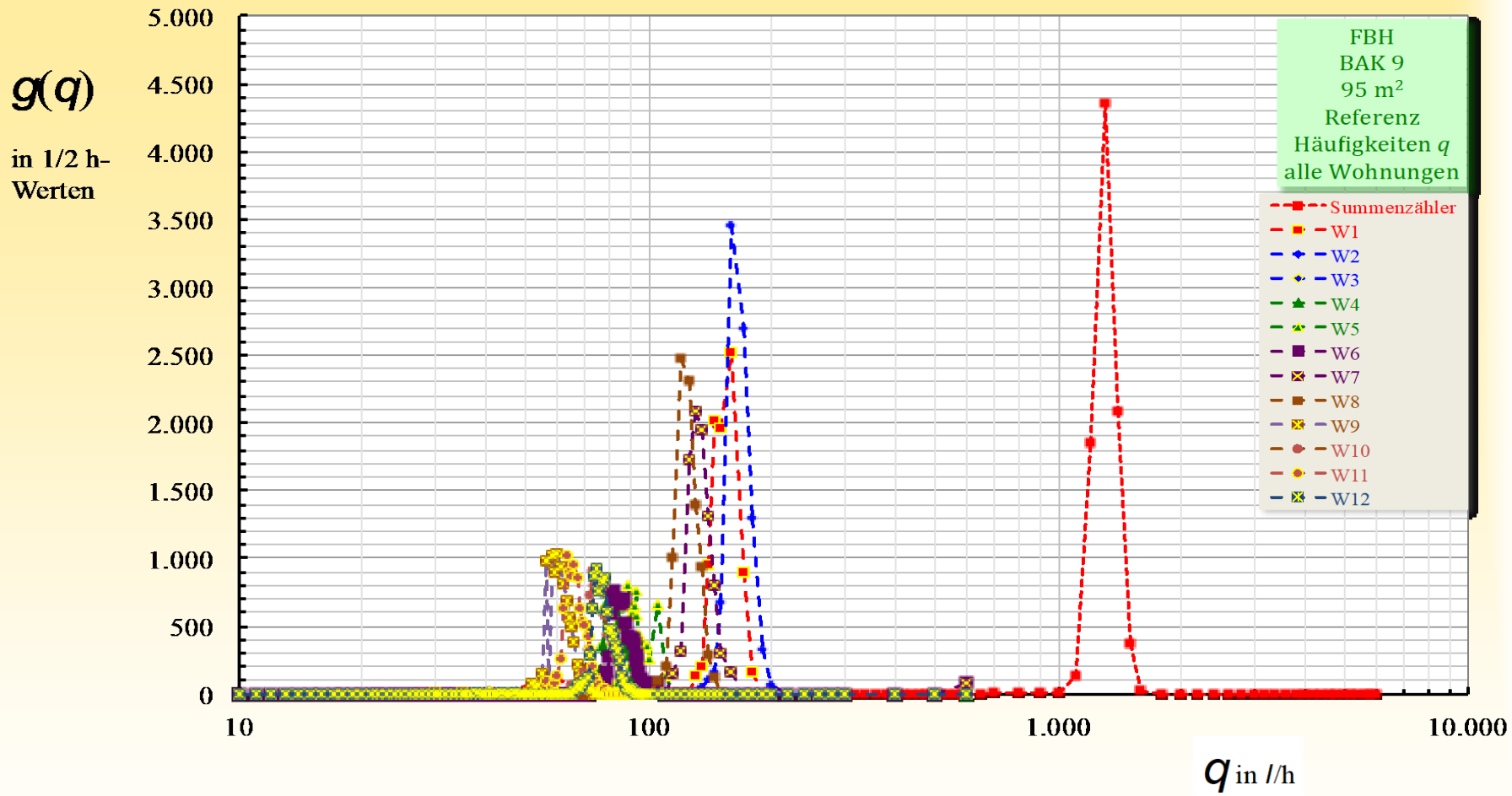
Δt für FBH, BAK 9

$g(\Delta t)$

in 1/2 h-
Werten

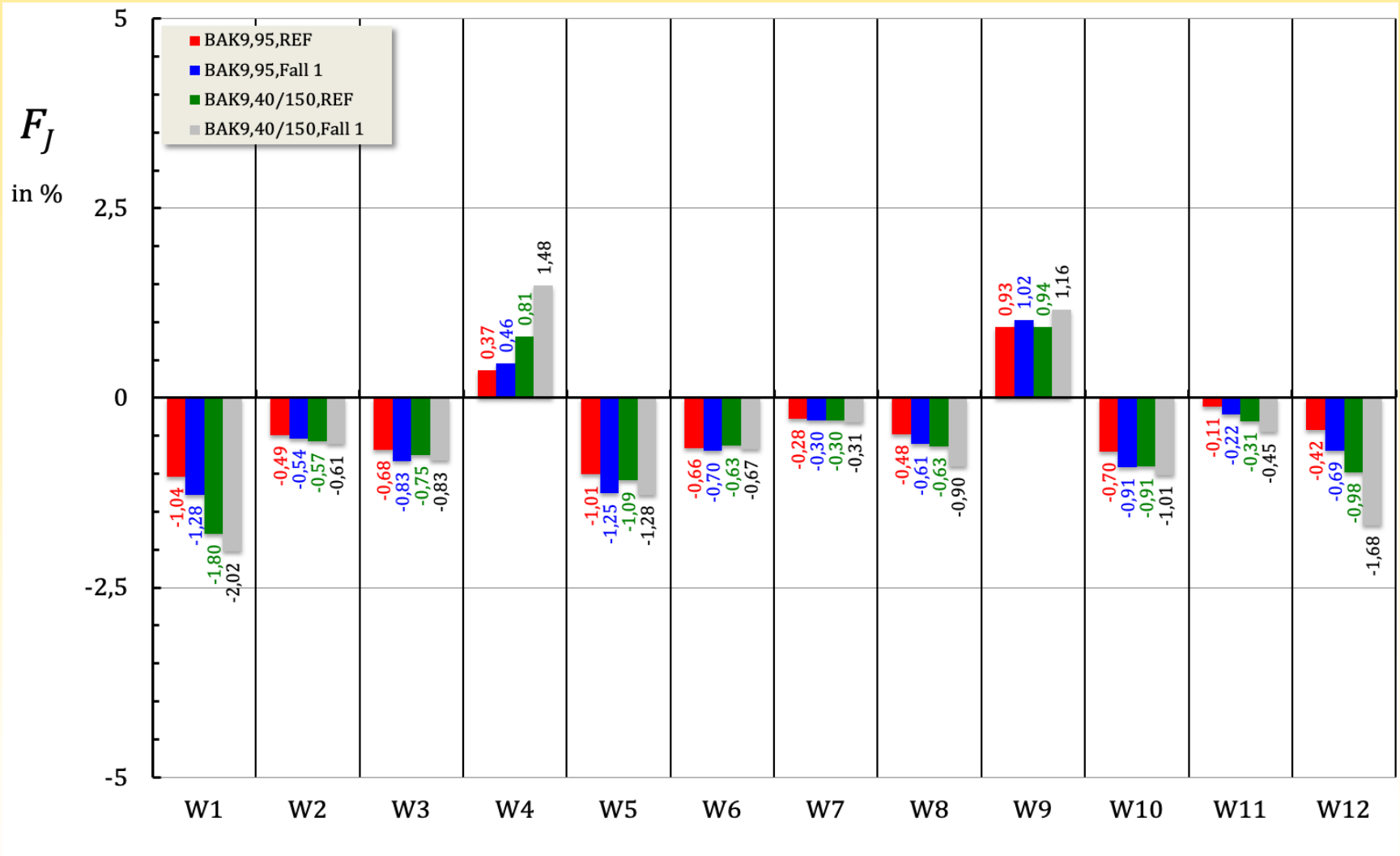


q für FBH, BAK 9

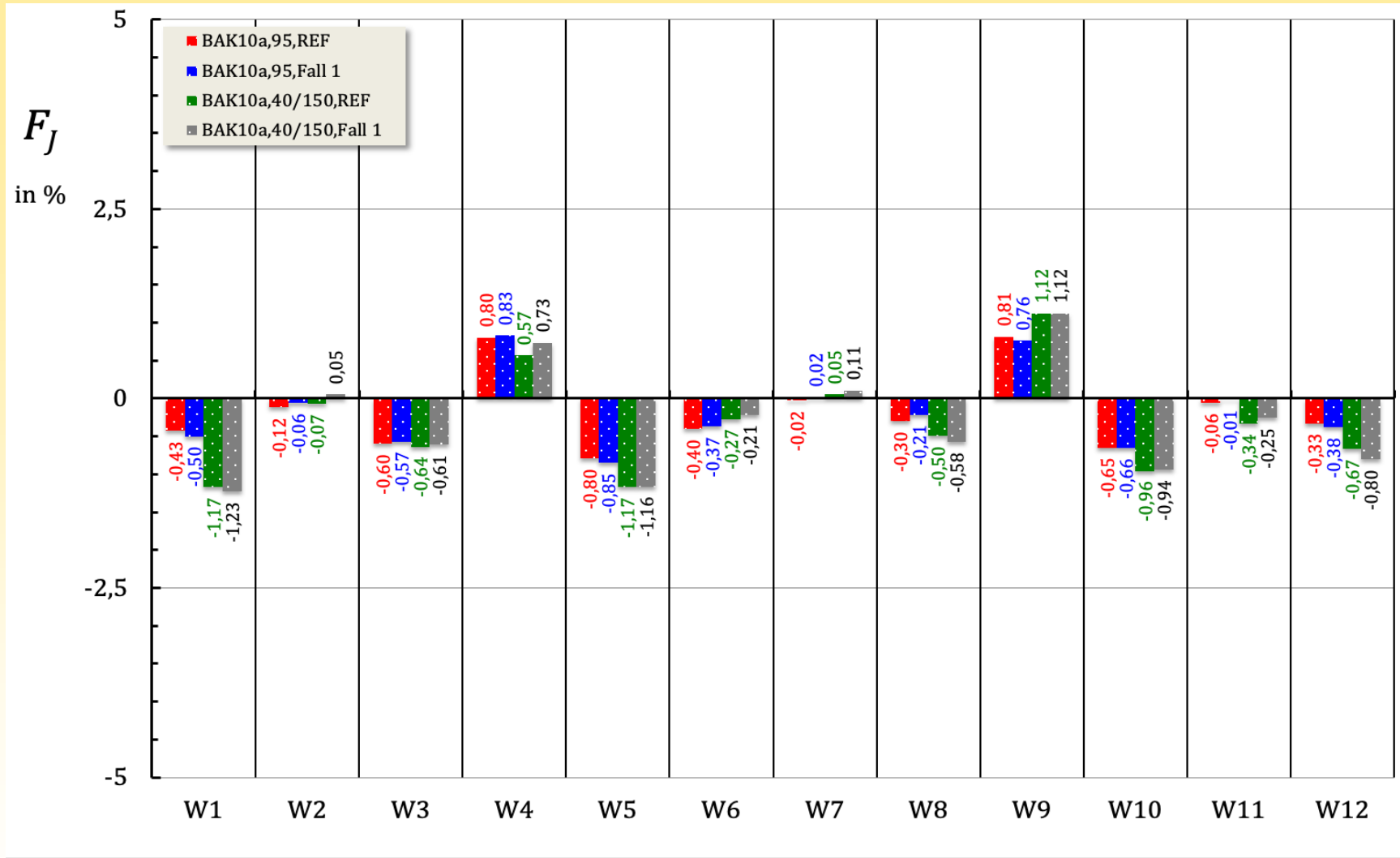


Jahresmessfehler bei der Zweirohrheizung, Ansatz 1

F_J für ZRH, BAK 9

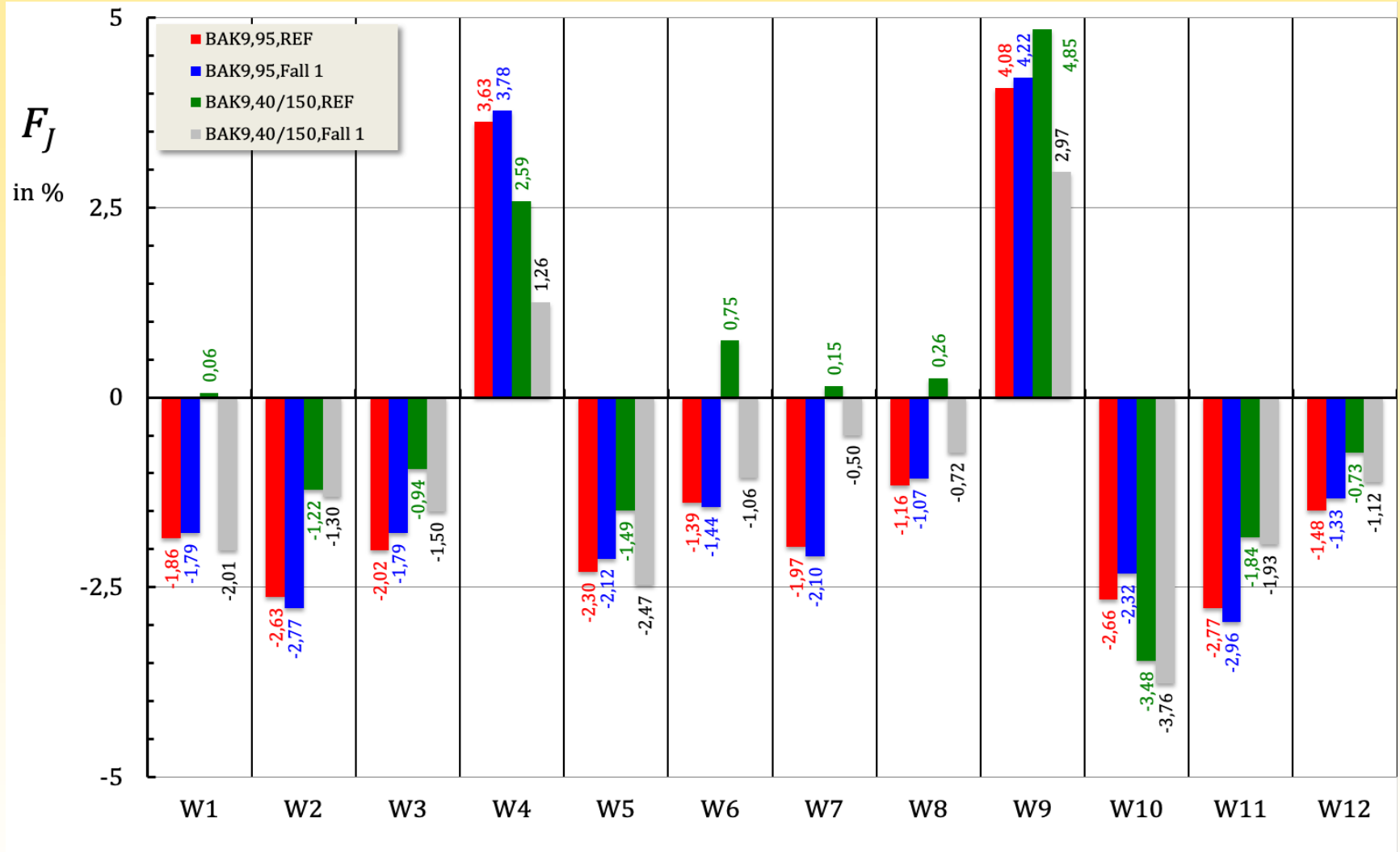


F_J für ZRH, BAK 10a

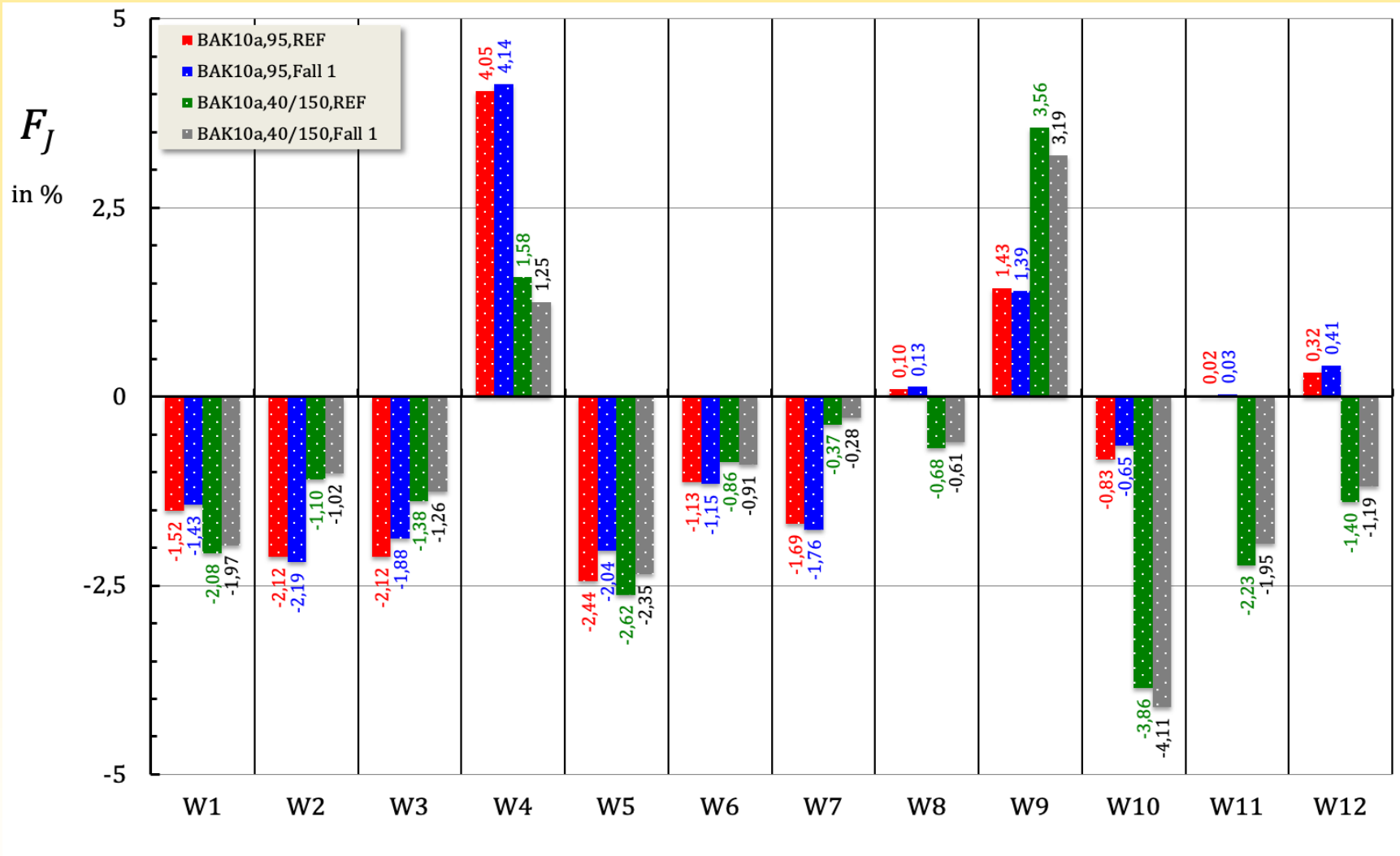


Jahresmessfehler bei der Einrohrheizung, Ansatz 1

F_J für ERH, BAK 9

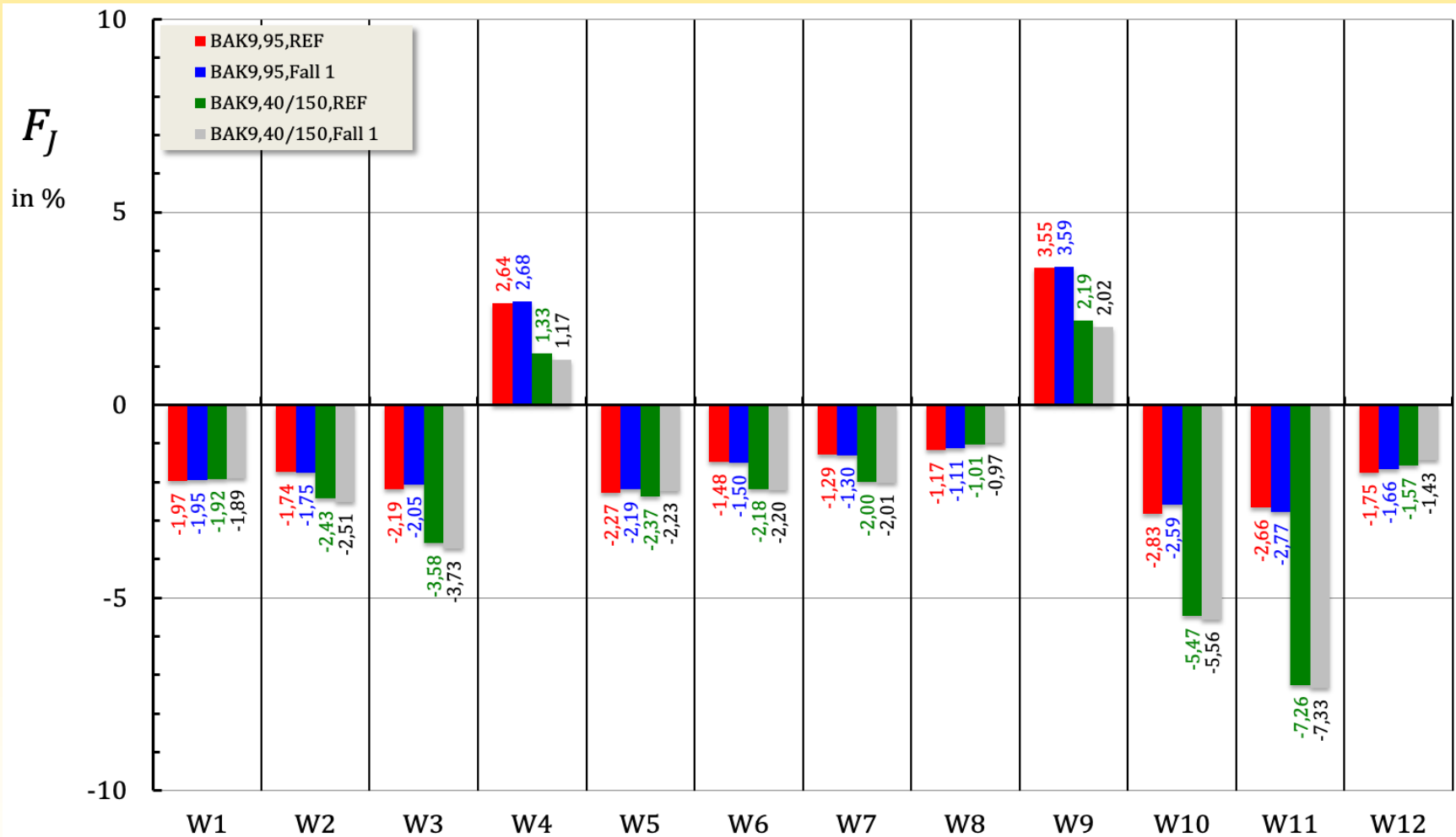


F_J für ERH, BAK 10a

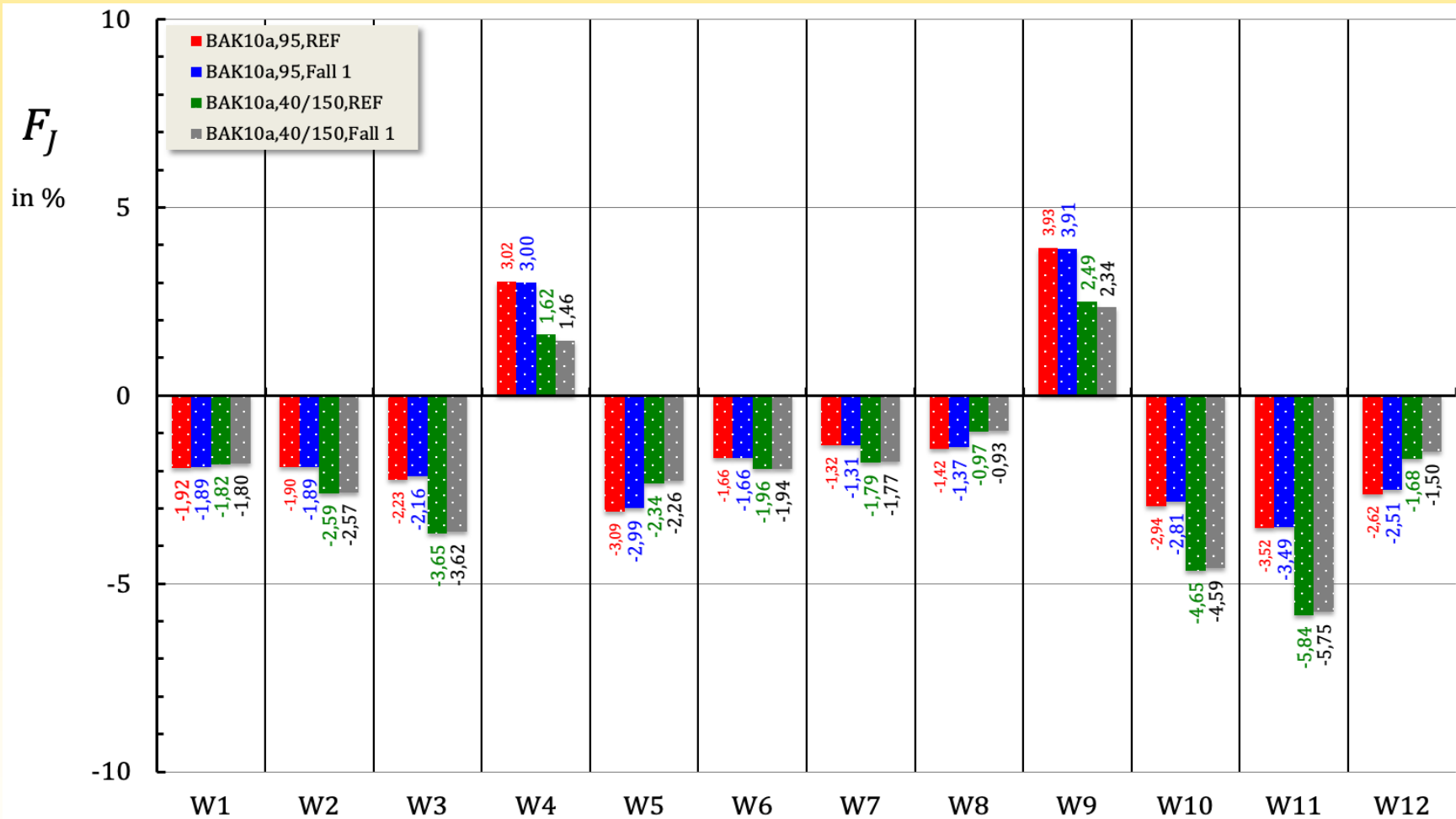


Jahresmessfehler bei der Einrohrheizung, Ansatz 2

F_J für ERH, BAK 9, Ansatz 2

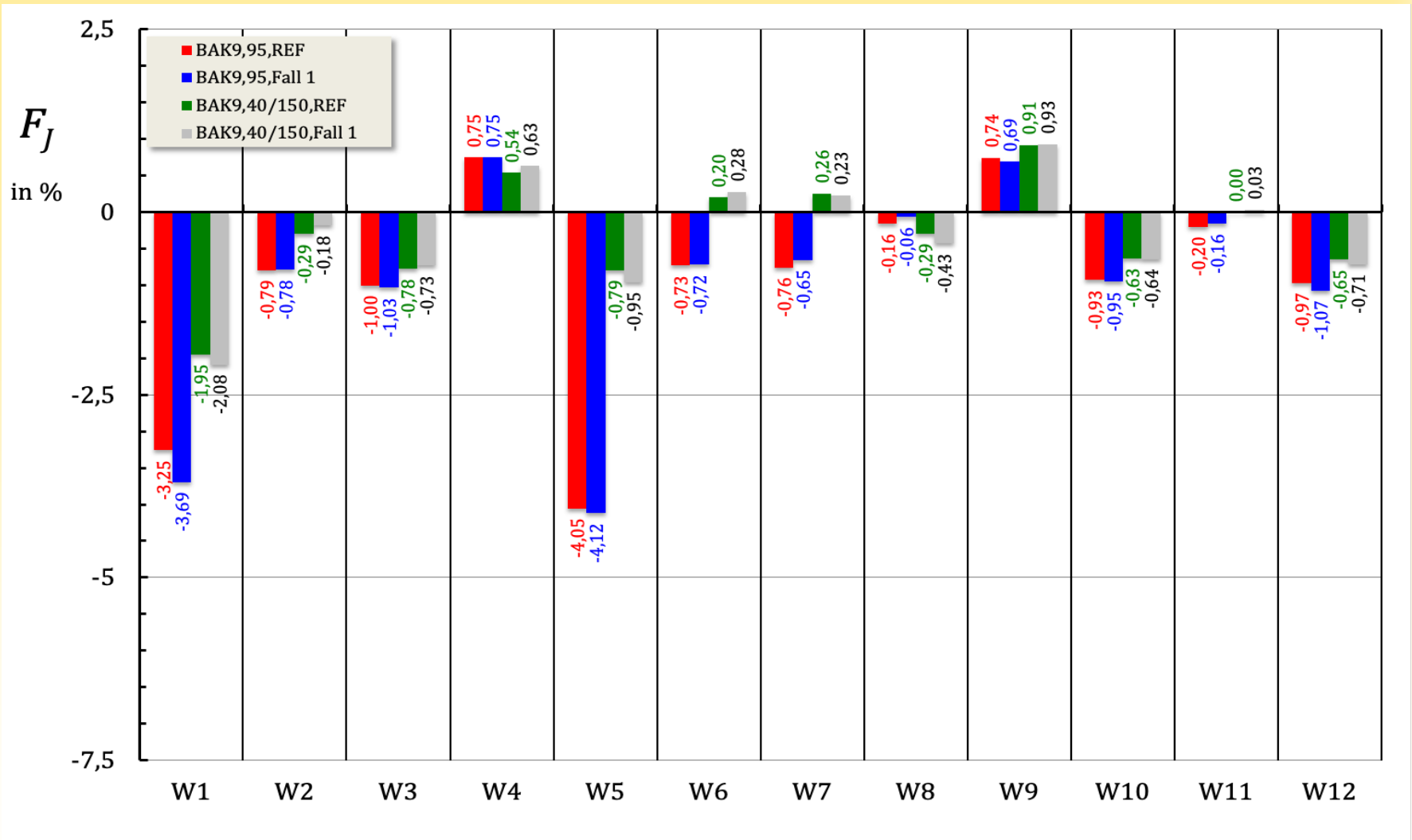


F_J für ERH, BAK 10a, Ansatz 2

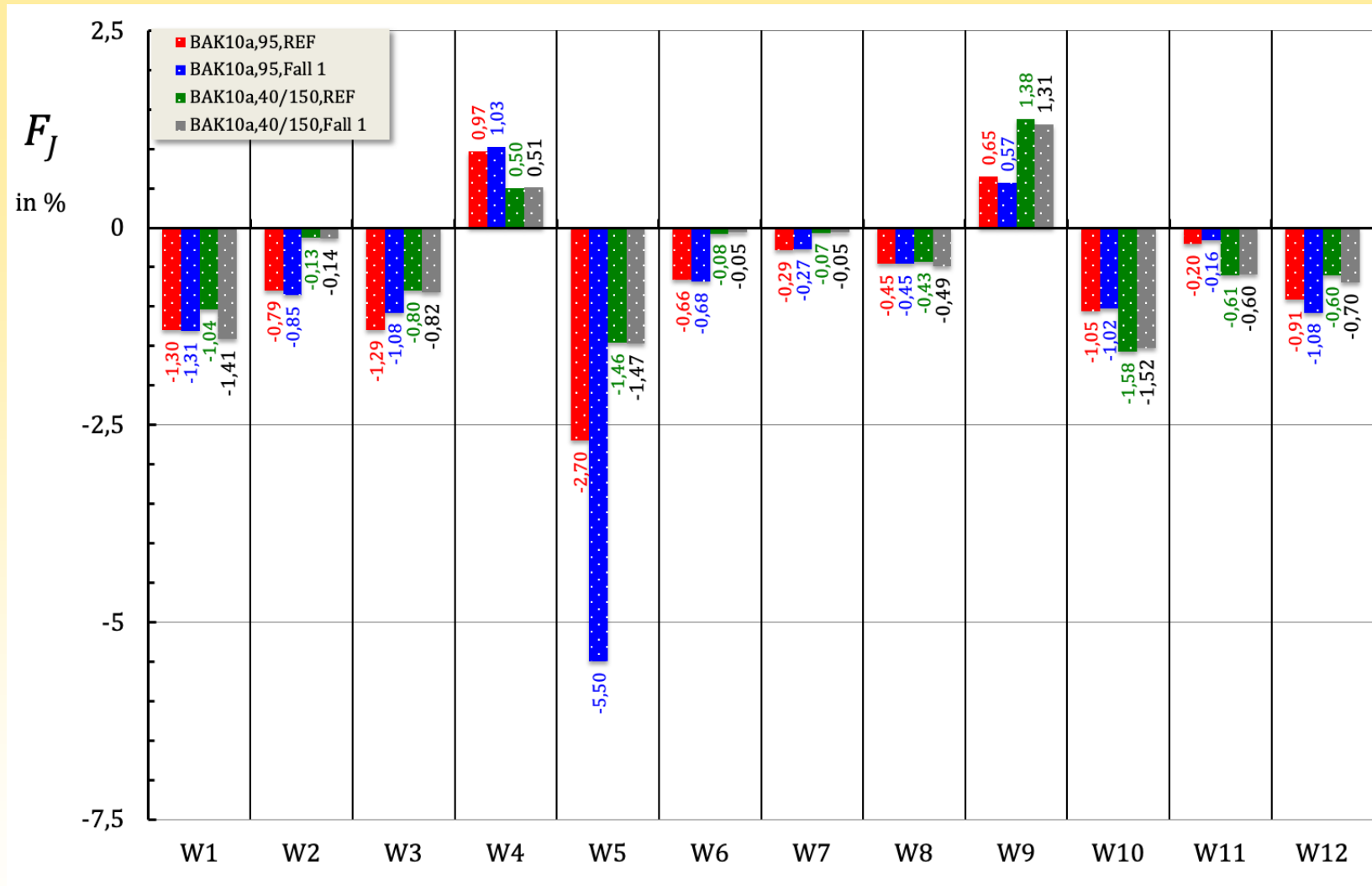


Jahresmessfehler bei der Fußbodenheizung, Ansatz 1

F_J für FBH, BAK 9



F_J für FBH, BAK 10a



Zusammenfassung zu Kapitel 2

- Die JMF der Wärmezähler-Teilgeräte wie auch des gesamten Wärmezählers liegen für **Zweirohrheizungen** im Fehlerbereich von maximal $\pm 2\%$, meist sogar deutlich geringer.
- **Einrohrheizung**: Hier sind die JMF etwa doppelt so groß wie bei der ZRH. Beim Ansatz 2 (Nachtabsenkung) sind die JMF noch ein wenig größer
- Die **Fußbodenheizung** liegt etwa im Mittelfeld zwischen ZRH und ERH.
- Ein **wesentlicher Unterschied** zwischen den Baualterklassen BAK 9 und BAK 10a wird **nicht** beobachtet!

3 JMF der Tauchhülzenkombinationen

(1) Bisherige Erfahrungen: Messergebnisse liegen von JUMO vor für Tauchhülzen der folgenden Hersteller:

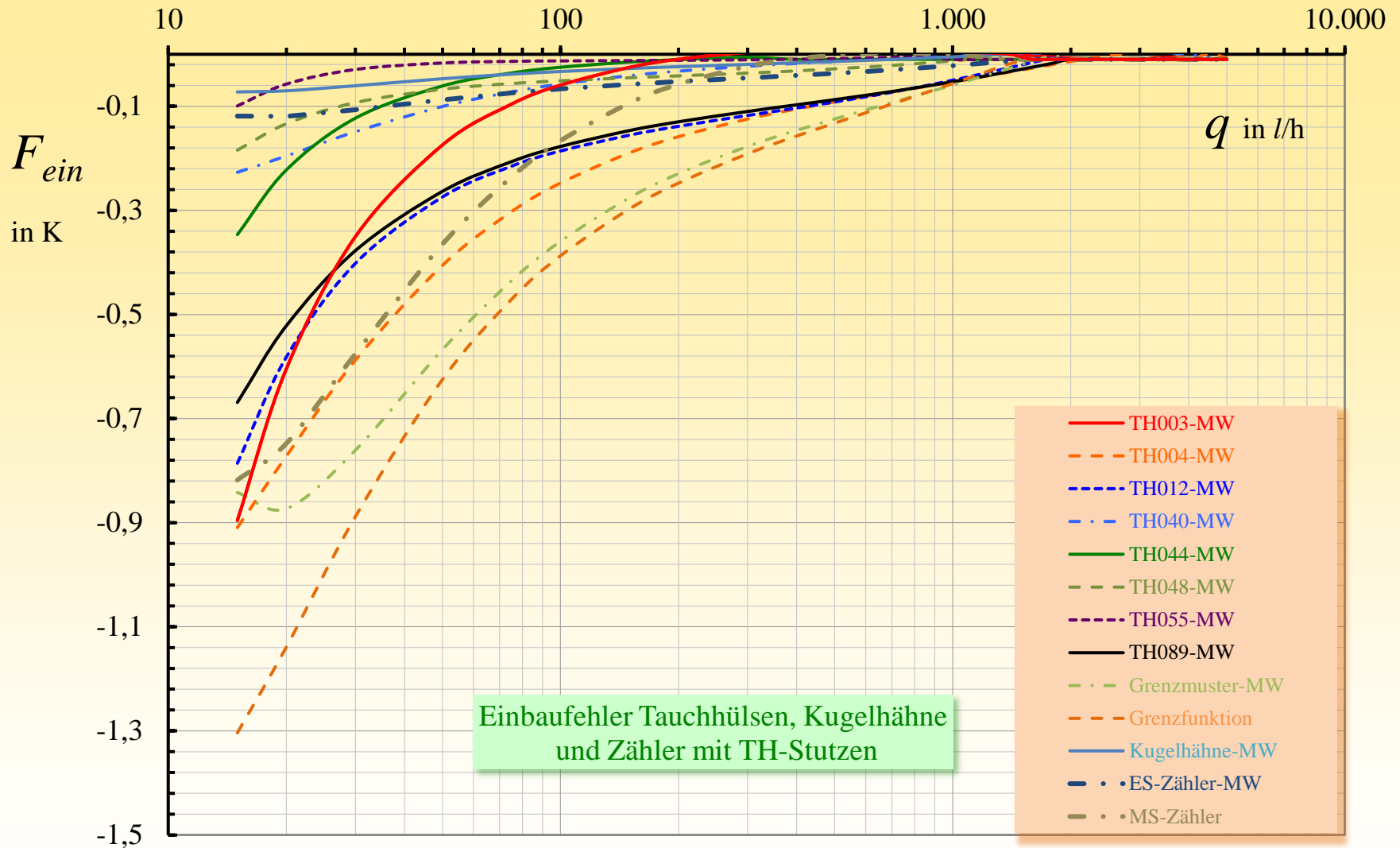
| Bezeichnung | Hersteller | Material | L_E | δ | D_i |
|-------------|------------------|----------|-------|----------|-------|
| | | | mm | mm | mm |
| TH003 | Sensus | Ms/Ni | 44,3 | 0,9 | 5,2 |
| TH004 | Sensus, Brunata | Ms/Ni | 33,3 | 1,1 | 5,2 |
| TH012 | Almess A | Ms | 34,0 | 1,0 | 6,0 |
| TH040 | Jumo | Ms | 35,0 | 0,7 | 5,2 |
| TH044 | Jumo | Ms | 50,0 | 0,7 | 5,2 |
| TH048 | Jumo | Ms | 40,0 | 0,7 | 5,2 |
| TH055 | Qvedis | Ms | 37,5 | 0,7 | 5,0 |
| TH089 | Sensus | Ms/Ni | 33,3 | 1,1 | 5,2 |
| | | | | | |
| L_E | Einbaulänge | | | | |
| δ | Wandstärke | | | | |
| D_i | Innendurchmesser | | | | |

Tauchhülsenfehler

- Problem: Messungen an TH wurden bei $t_{kal} = 65 \text{ } ^\circ \text{ C}$ durchgeführt. In den Tauchhülsen für Vor- und Rücklauf weichen aber die Temperaturen – je nach Vorgaben des Heizungssystems –meist davon ab
- Es liegen Messergebnisse **nur für bestimmte Durchflüsse** vor (15 l/h bis 300 l/h), daher: Extrapolation durch rationales Polynom (aus Erfahrung):

$$F_{TH} = a_0 + a_1 q + a_2 q^2 + \frac{a_3}{q} + \frac{a_4}{q^2}$$

MW der TH (003 ... 089) sowie KH in Zähler



Darstellung des Tauchhülsenfehlers

Bezogen wird der Jahres-Einbaufehler von Tauchhüsenkombinationen auf die Eichfehlergrenze eines mittleren Zustandes von Δt und q in der Heizperiode: $F_{EFG,m}$:

$$F_{J,TH,rel} = \frac{F_{J,TH}}{F_{EFG,m}} \times 100 \left[\% \right]$$

Die mittleren Zustände unterscheiden sich nur wenig von den betrachteten Fällen.

Kriterium für die Akzeptanz der Tauchhüsenkombination ist:

$$F_{J,TH,rel} \leq \frac{1}{3} F_{EFG,m}$$

Vereinfachende Annahme

□ Annahme: $F_{TH,V} \propto t_V - t_L$ und $F_{TH,R} \propto t_R - t_L$

□ Weiters: Vorlauftemperatur hängt vom lokalen Klima ab:

$$t_V \propto t_a$$

□ Für t_a wird das Standardklima verwendet:

➤ Testreferenzjahr D 2011 für die Klimaregion 4: Nordostdeutsches Tiefland (mit der Repräsentanzstation in Potsdam)

□ Von TUD geliefert: $t_V(t_a)$, $t_R(t_a)$ und $q(t_a)$ für Heizperiode

Ansatz für den Einbau-Differenzfehler der TH

- Differenz-Einbaufehler der Tauchhülsen:

$$\frac{F_{TH,V}}{F_{TH,kal}} = \frac{t_V - t_L}{t_{kal} - t_L} \quad \text{und} \quad \frac{F_{TH,R}}{F_{TH,kal}} = \frac{t_R - t_L}{t_{kal} - t_L}$$
$$\Delta F_{TH} = F_{TH,kal} \frac{t_V - t_R}{t_{kal} - t_L}$$

- Ansatz ist **einfach**. In Wirklichkeit ist der Einbaufehler etwas geringer, weil die Rohrwandtemperatur niedriger als die Wärmeträgertemperatur ist und damit den Einbaufehler senkt!!

Jahres-Differenzfehler in % der EFG, BAK 9

| Vorlauf | TH003 | TH004 | TH012 | TH040 | TH044 | TH048 | TH055 | TH089 | Grenz- funktion | KH | GF | TH055 |
|----------------------------------|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------------|------|---------------|-------|
| Rücklauf | Einstrahlzähler mit Stutzen für den Rücklaufsensor | | | | | | | | | | Grenzfunktion | TH055 |
| BAK 9 | | | | | | | | | | | | |
| 95 m ² , Referenz | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | 0,69 | -18,50 | -15,68 | -0,20 | 2,20 | -1,28 | 2,81 | -14,20 | -31,03 | 1,33 | -13,40 | -0,70 |
| 95 m ² , Fall 1 | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | 2,27 | -17,43 | -14,21 | 0,07 | 2,92 | -0,87 | 3,10 | -13,09 | -29,56 | 1,43 | -12,13 | -0,60 |
| 40/150 m ² , Referenz | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | 3,16 | -20,66 | -19,33 | 1,88 | 4,07 | -0,64 | 4,56 | -17,22 | -34,58 | 3,22 | -9,89 | -0,74 |
| 40/150 m ² , Fall 1 | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | 3,71 | -19,34 | -17,68 | 1,91 | 4,25 | -0,35 | 4,54 | -15,91 | -32,37 | 3,14 | -8,96 | -0,65 |

Jahres-Differenzfehler in % der EFG, BAK 10a

| Vorlauf | TH003 | TH004 | TH012 | TH040 | TH044 | TH048 | TH055 | TH089 | Grenz- funktion | KH | GF | TH055 |
|----------------------------------|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------------|------|---------------|-------|
| Rücklauf | Einstrahlzähler mit Stutzen für den Rücklaufsensor | | | | | | | | | | Grenzfunktion | TH055 |
| BAK 10a | | | | | | | | | | | | |
| 95 m ² , Referenz | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | -12,38 | -24,41 | -23,28 | -2,12 | -3,31 | -3,34 | 0,91 | -19,63 | -38,53 | 0,90 | -17,37 | -1,75 |
| 95 m ² , Fall 1 | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | -11,40 | -23,89 | -22,26 | -2,12 | -2,90 | -3,13 | 1,03 | -18,91 | -37,84 | 0,83 | -17,50 | -1,70 |
| 40/150 m ² , Referenz | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | -6,25 | -26,81 | -22,73 | -0,77 | 0,64 | -1,54 | 3,68 | -19,92 | -44,25 | 2,36 | -13,59 | -1,45 |
| 40/150 m ² , Fall 1 | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert | -10,05 | -24,13 | -24,40 | -0,80 | -2,07 | -2,97 | 1,77 | -20,37 | -38,59 | 1,87 | -13,36 | -1,46 |