

Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation Neue Erkenntnisse zum Thema Legionellen-

Karin Rühling

**Fachbereichsleiterin Wärmeversorgung
Technische Universität Dresden
Professur für Gebäudeenergie Technik und
Wärmeversorgung**



Berlin, 28./29. Januar 2021

BMW-Verbundvorhaben 03ET1234 A bis D
Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation
im Kontext des IEA-DHC Annex TS1 „Low Temperature District Heating for Future Energy Systems“



Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation – Neue Erkenntnisse zum Thema Legionellen –

Autoren Gesamtteam des Projektes
Vortragende Dr.-Ing. Karin Rühling
Technische Universität Dresden, karin.ruehling@tu-dresden.de

TGA-Kongress 2020/21 | 29. Januar 2021 | Webkonferenz



Verbundprojektpartner – wissenschaftlicher Beirat - Projektbegleitausschuss

Koordinator Technische Universität Dresden

Projektpartner

GEWV TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergietechnik u. Wärmeversorgung

IHPH Universität Bonn, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH

IMMH TU Dresden, Institut f. Medizinische Mikrobiologie u. Hygiene

IEE Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik Kassel

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Exner, Prof. Flemming, Dipl.-Ing. Nissing

Projektbegleitausschuss

Dipl.-Ing. Bechem, Dipl.-Ing. Nissing

Grundsätzliches Ziel des FuE-Vorhabens

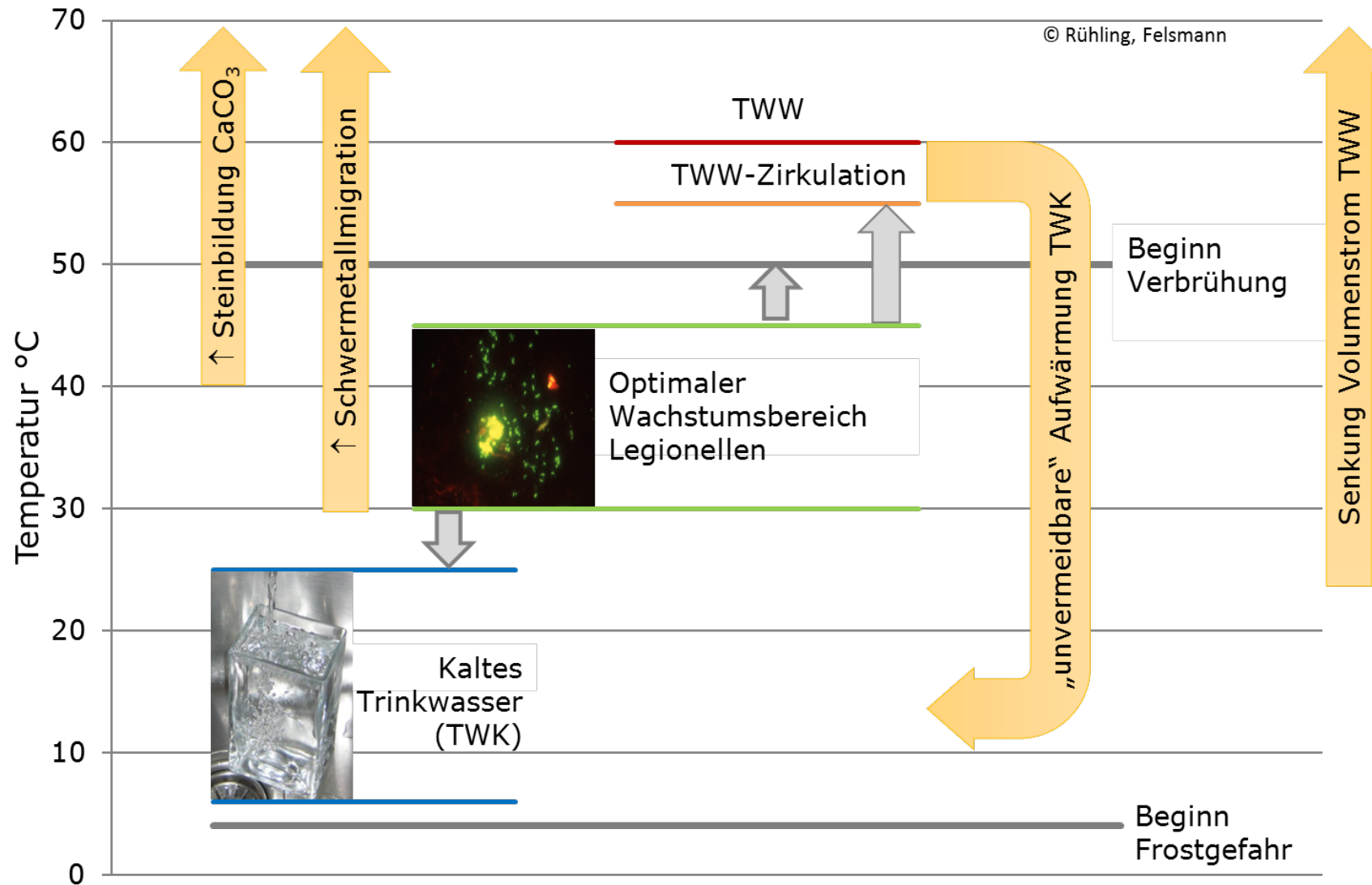
Ausgangspunkt

- Sinkender Wärmebedarf für die Raumheizung.
- Anteil der Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes steigt.
- Vorlauftemperatur des Heizungssystems wird bei zentraler Trinkwassererwärmung von den a.a.R.d.T. zur Trinkwasserhygiene vorgegeben (abgestellt auf die Gattung *Legionella*).
- Detail-Untersuchungen zu Einzelaspekten der Trinkwasser-Installation liegen vor, jedoch keine umfassende Betrachtung aller relevanten Aspekte.

Gesamtziel

Ganzheitliche und systemische Untersuchung der Trinkwarmwasser-Installation für zukünftige Low Temperature-Wärmeversorgungskonzepte und Identifizierung von Ansätzen zur Nutzung der erheblichen Energieeinsparpotentiale sowie zur Integration von erneuerbaren Energien bei Beachtung des Primats der menschlichen Gesundheit.

Wichtige Aspekte für die Festlegung des Temperaturniveaus in der Trinkwasserinstallation TWI



Heute nach
Trinkwasserverordnung

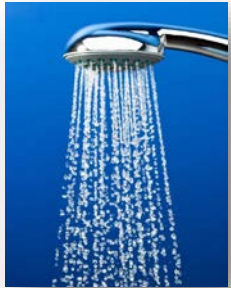
Technischer Maßnahmenwert

Heißt, Maßnahmen sind
zu ergreifen ab

> 100 KBE / 100 mL

Legionella spezies
kulturell bestimmt nach
UBA-Empfehlung

EE+HYG@TWI: Struktur und ausgewählte Resultate



Kurzüberblick und Thesen

Zum EnEff:Wärme Verbundvorhaben

Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation

Im Kontext:

DHC Annex TS1 "Low Temperature District Heating for Future Energy Systems"

FKZ: 03ET1234 A bis D

Akronym: EE+HYG@TWI

Koordination: Dr.-Ing. Karin Rühling

Autoren:

Rühling, K.; Haupt, L.; Hoppe, S.; Löser, J.; Rothmann, R.

Lück, C.; Koshkolda, T.; Petzold, M.

Schreiber, C.; Kistemann, T.

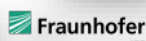
Schaule, G.; Nocker, A.; Wingender, J.

Kallert, A.; Schmidt, D.; Sager-Klauß, C.

Bechem, H.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Stand: 01. März 2018



Simulationsstudien

Trinkwasser-Installation (**TWI**) inkl. Wechselwirkungen

Trinkwasser kalt (**TWK**) und Trinkwarmwasser (**TWW**)

Kontext Gesamtsystem Mehrfamilienhaus und Wirkungen Bilanzraum Deutschland

Felduntersuchungen

Untersuchungsumfang in den 101 Objekten, Deskriptive Statistik

Technikumsversuche

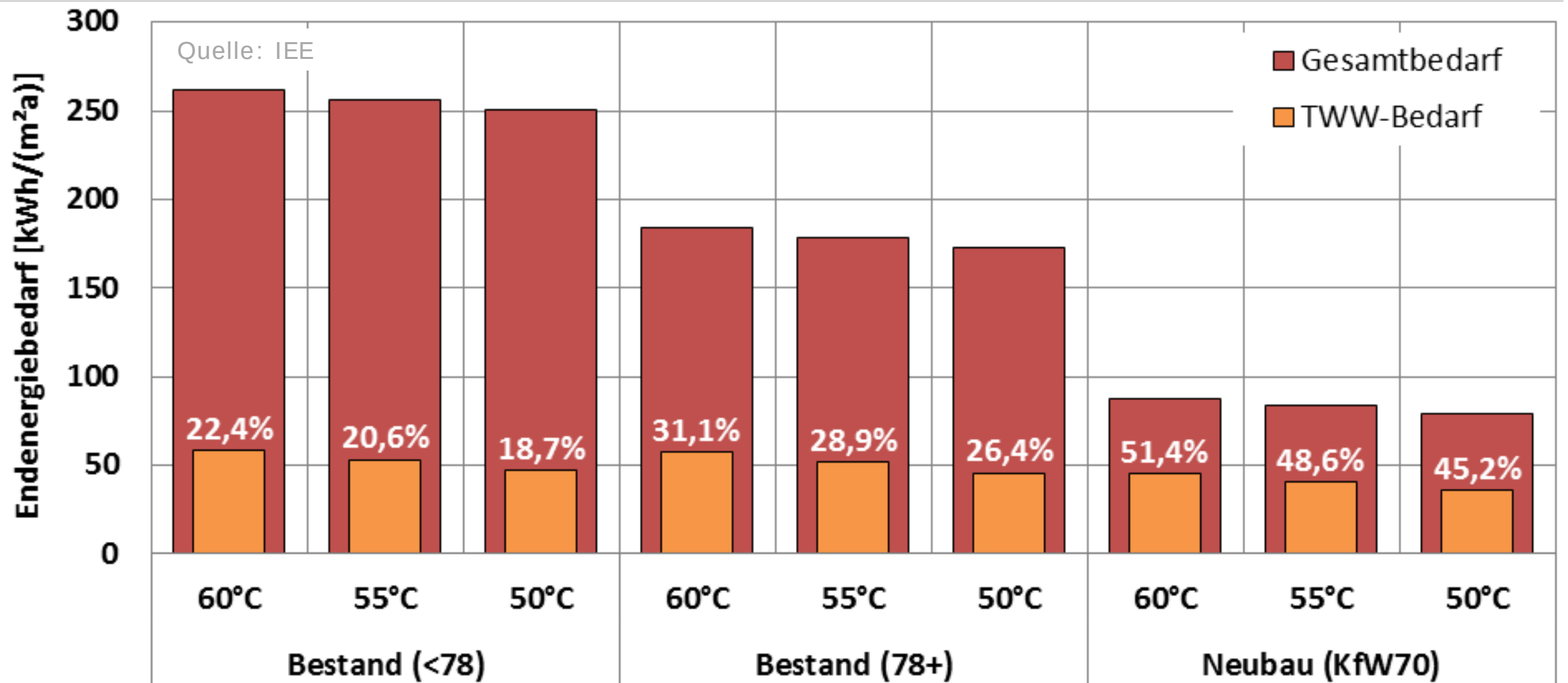
Trinkwasserinstallation Mehrfamilienhaus
(6 Wohneinheiten)

Emulatorversuche und Laborexperimente

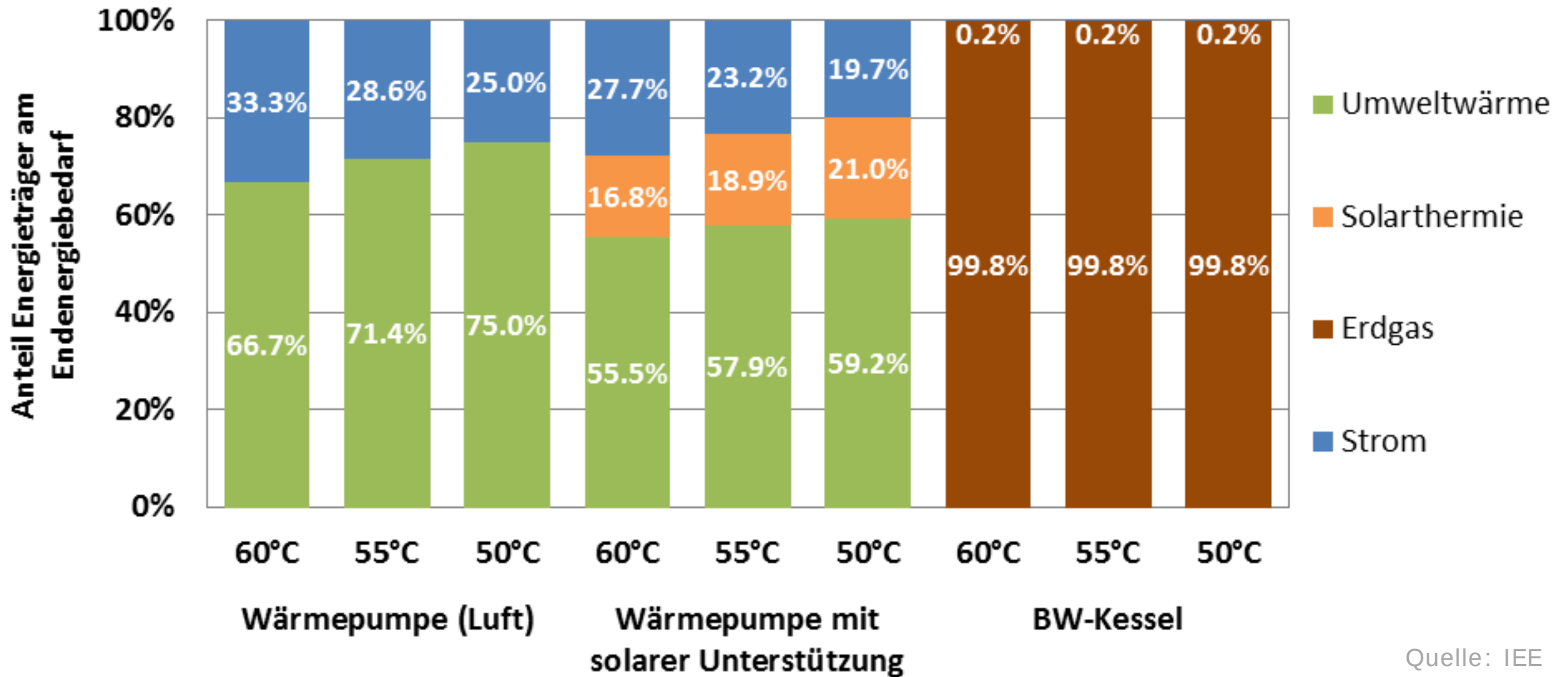
Untersuchungen Werkstoffe und nicht zirkulierender, endständiger Bereich

Simulationsstudie Gebäude

Flächenbezogener Endenergiebedarfs eines MFH und Anteil der Trinkwassererwärmung

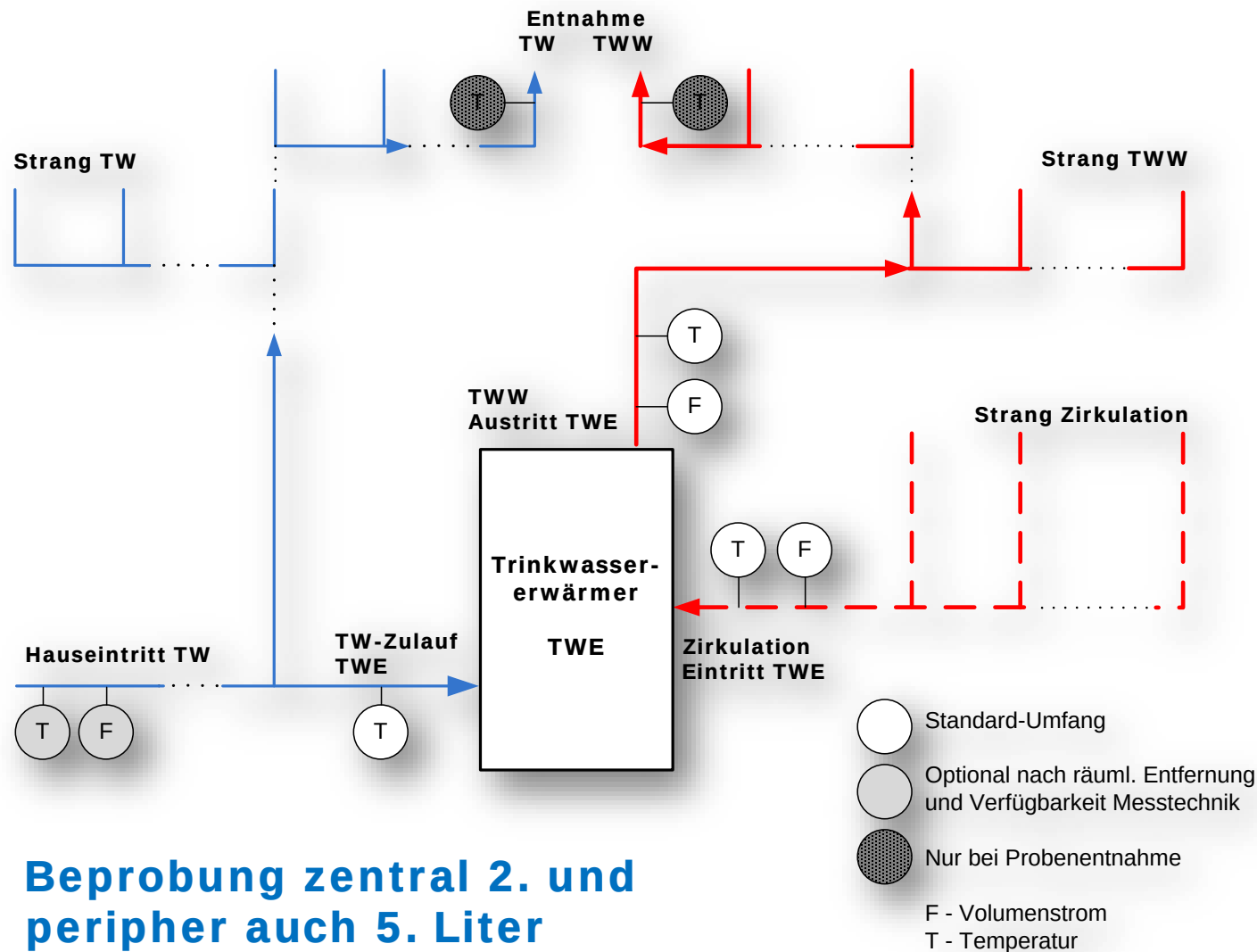


Anteil regenerativer Energiebereitstellung am gesamten Endenergiebedarf Gebäude



Felduntersuchungen

Felduntersuchungen – Thermohydraulische Messungen THM + Beprobung



Beprobung zentral 2. und peripher auch 5. Liter

Messzeitraum THM

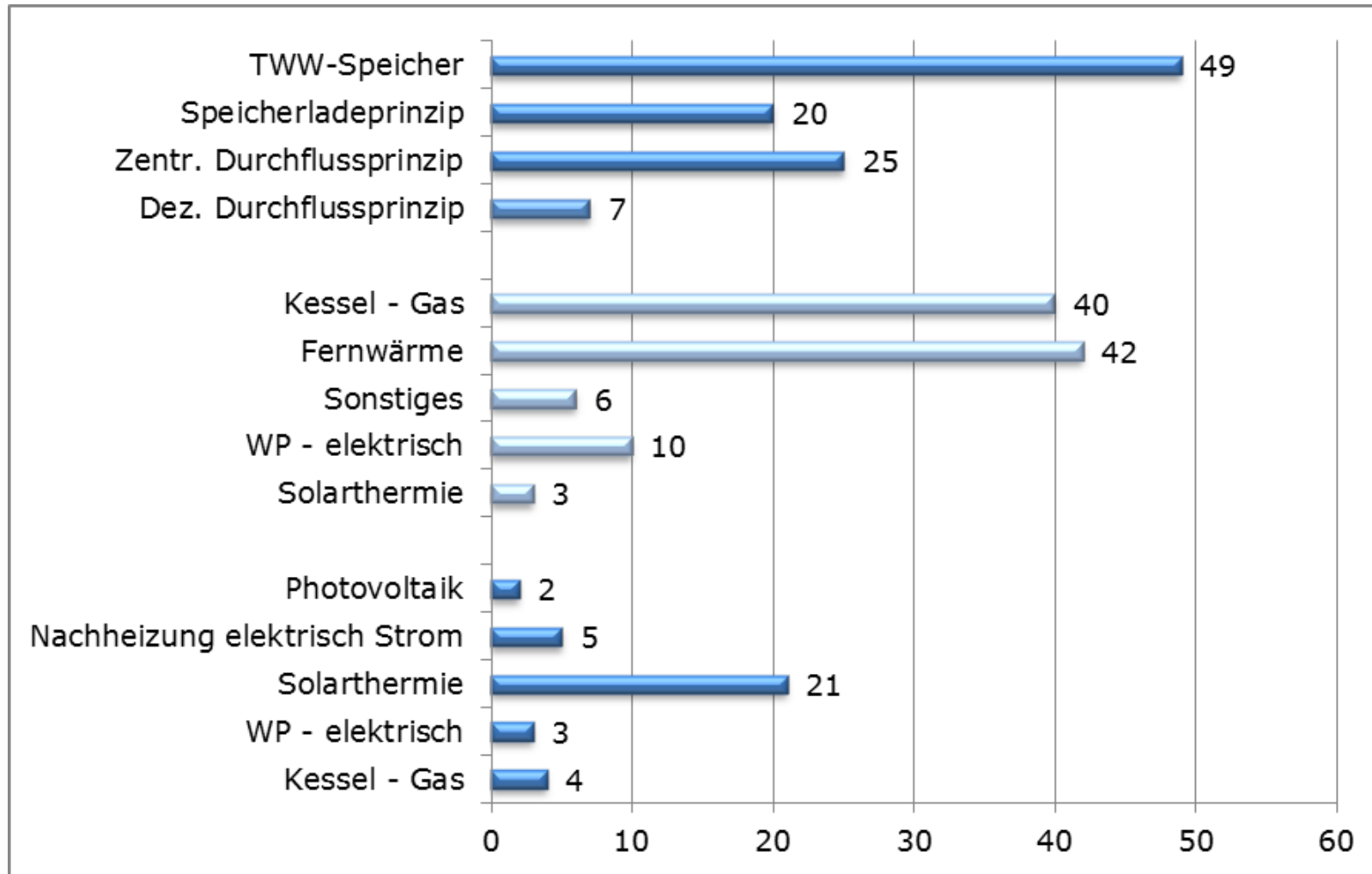
- Mindestens 14 Tage
- Ausgewertet jeweils von Montag 0:00 Uhr bis Sonntag 23:59

Technik

- Volumenstrom
Ultraschall-Messtechnik mit externen Sensoren (FLEXIM)
- Temperatur
PT 100 Anlegefühler (gedämmt)
- Messwerterfassung
10-Sekunden-Mittelwerte



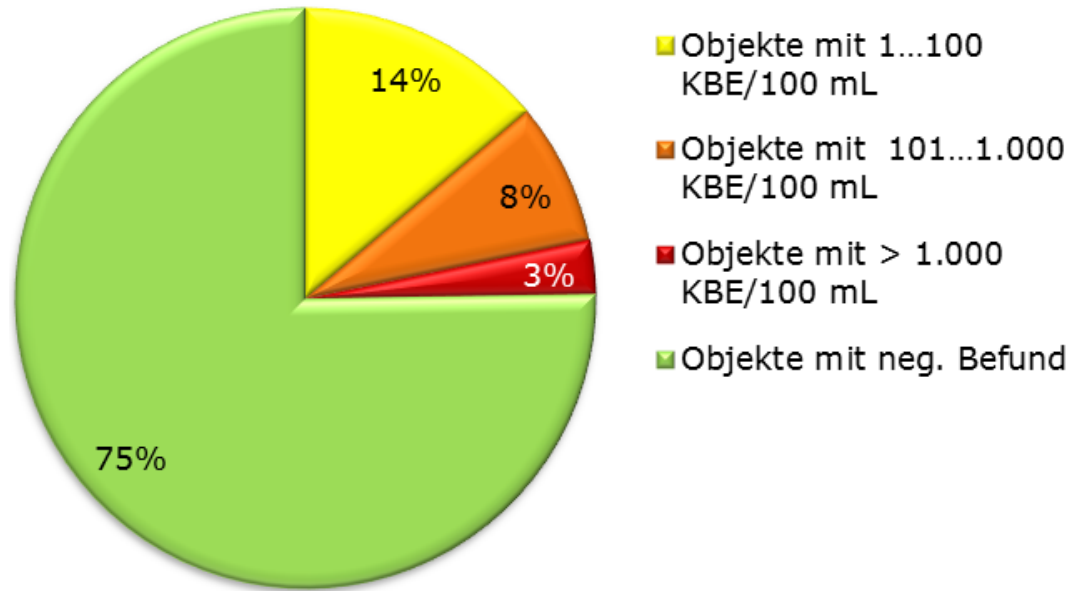
Art der TWE, Erzeugertechnologie und Zusatzerzeuger, Temperaturen TWW (Anzahl Objekte)



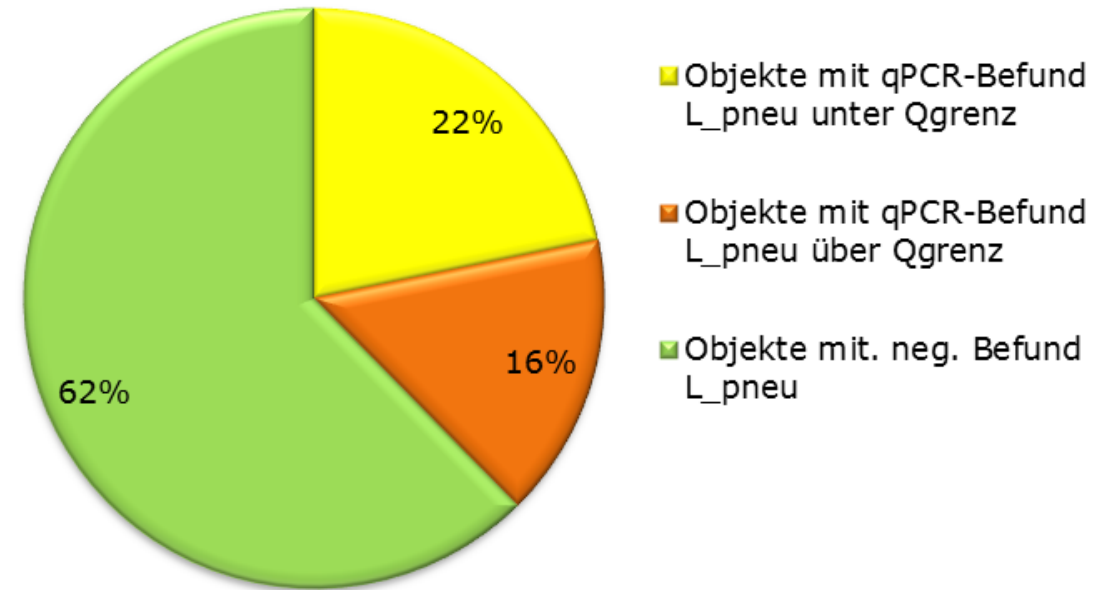
Temperatur am Austritt TWE (Mittelwert THM)

Temp. TWW	Anz. Objekte
> 65 °C	8
> 60 - 65 °C	32
> 55 - 60 °C	29
> 50 - 55 °C	9
≥ 45 - 50 °C	6
< 45 °C	7

Deskriptive Auswertung – Farbkodierung nach höchstem Wert im Objekt (Gesamtanzahl der Objekte: 101)



Kultureller Befund *Legionella* spp.



qPCR-Befund *L. pneumophila*

Molekularbiologische Analyse ohne Differenzierung lebend/tot

Fazit:

- 11 % der kulturellen Befunde liegen über dem technischen Maßnahmenwert
- qPCR *L. pneumophila* liefert häufiger positive Ergebnisse

Statistik MFH, Gemeinschaftsunterkunft und Studentenwohnheim (N=80)

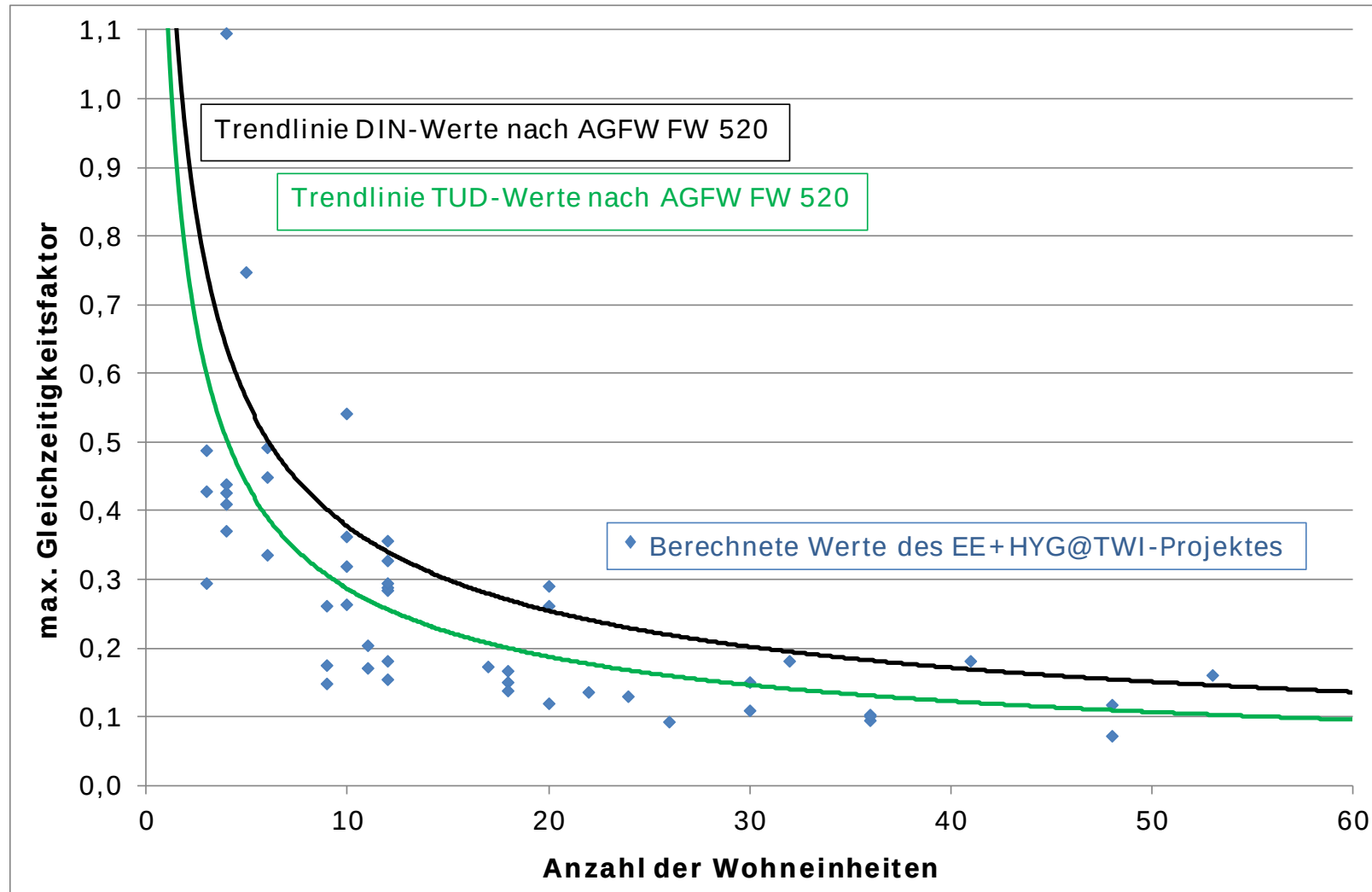
T-Bereich $\vartheta_{TWW,TWE}$ (Medianwert der 14-tägigen Messungen)	Anzahl Objekte im T-Bereich	Anteile der Objekte mit pos. kulturellen Befunden > 0 KBE/100 mL (dav. > 100 KBE/100 mL)	
		davon im TWW	davon im TWK
< 45 °C	1	0 % (0 %)	
		0 % (0 %)	0 % (0 %)
> 45 °C ... = 55 °C	7	28,6 % (14,3 %)	
		28,6 % (14,3 %)	14,3 % (0 %)
> 55 °C ... = 59 °C	24	20,8 % (0 %)	
		20,8 % (0 %)	20,8 % (0 %)
> 59 °C ... = 63 °C	30	23,3 % (10 %)	
		6,7 % (6,7 %)	16,6 % (3,3 %)
> 63 °C	18	22,2 % (5,5 %)	
		22,2 % (5,5 %)	11,1 % (0 %)

Pos. kulturelle Legionellenbefunden geclustert in Bereiche der 14-tägigen Mittelwerte der Temperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers – **Gesamtanteil** und Anteil im **TWW** bzw. im kalten Trinkwasser **TWK** ([5. Liter, beprobt nach TWW!](#))

Fazit

Die Temperatureinhaltung am Austritt TWE allein ist kein Garant für Vermeidung positiver Legionellenbefunde und das TWK ist mehr zu beachten!

Gleichzeitigkeit Felduntersuchungen 101 Objekte – Überblick



- 10-Sekunden Spitzenwerte
- ohne jegliche Bereinigung

Fazit

Die heutigen Annahmen zur **Gleichzeitigkeit** der Entnahme von Trinkwarmwasser bei Auslegung und Sanierung einer Trinkwasser-Installation sind für den untersuchten Gebäudebestand im Wohnungsbau als **tendenziell zu hoch** einzustufen.

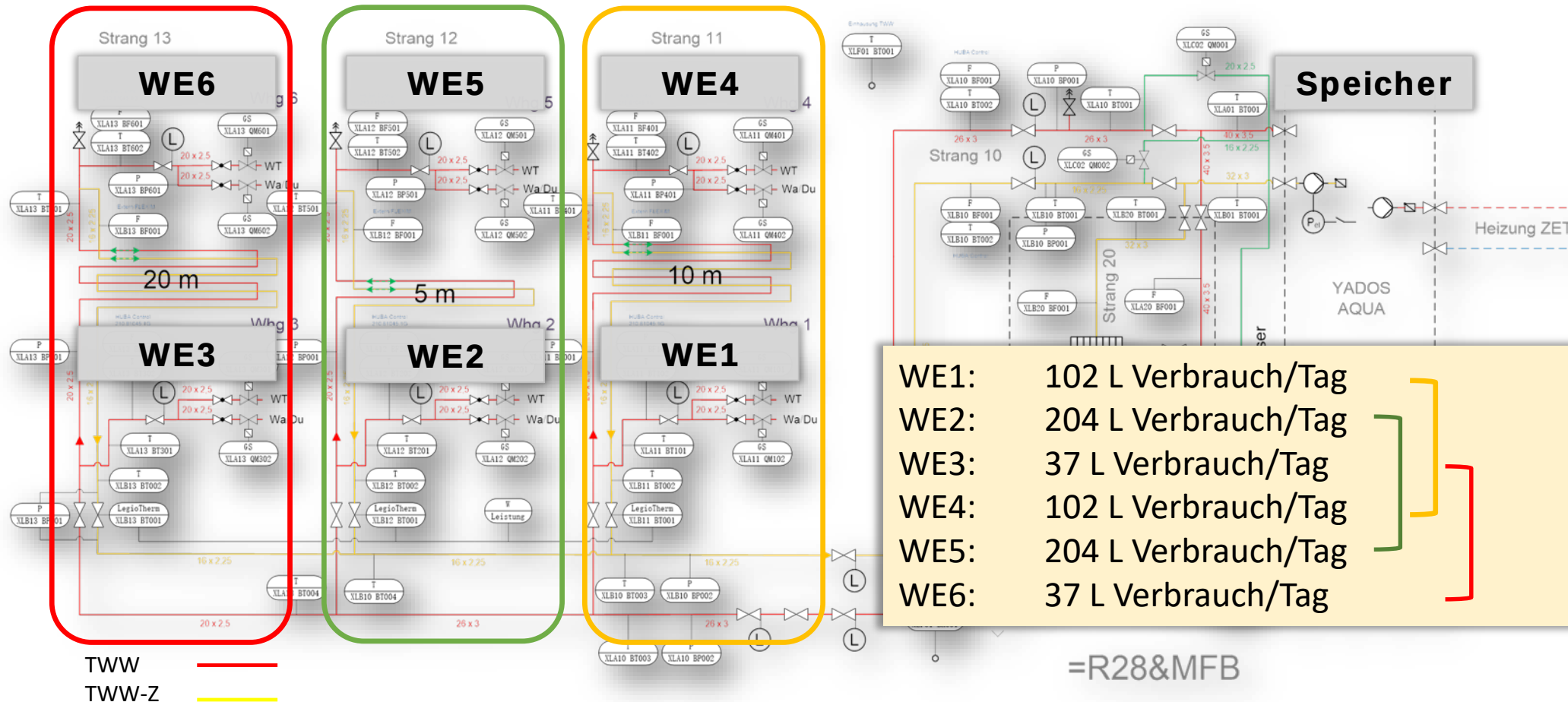
Anmerkung: 30 s- Mittelwerte liegen noch deutlich niedriger → Anfrage an Ausschuss DIN 1988-200 welche Mittelung relevant für Auslegung bislang ohne Antwort!

Technikumsversuche

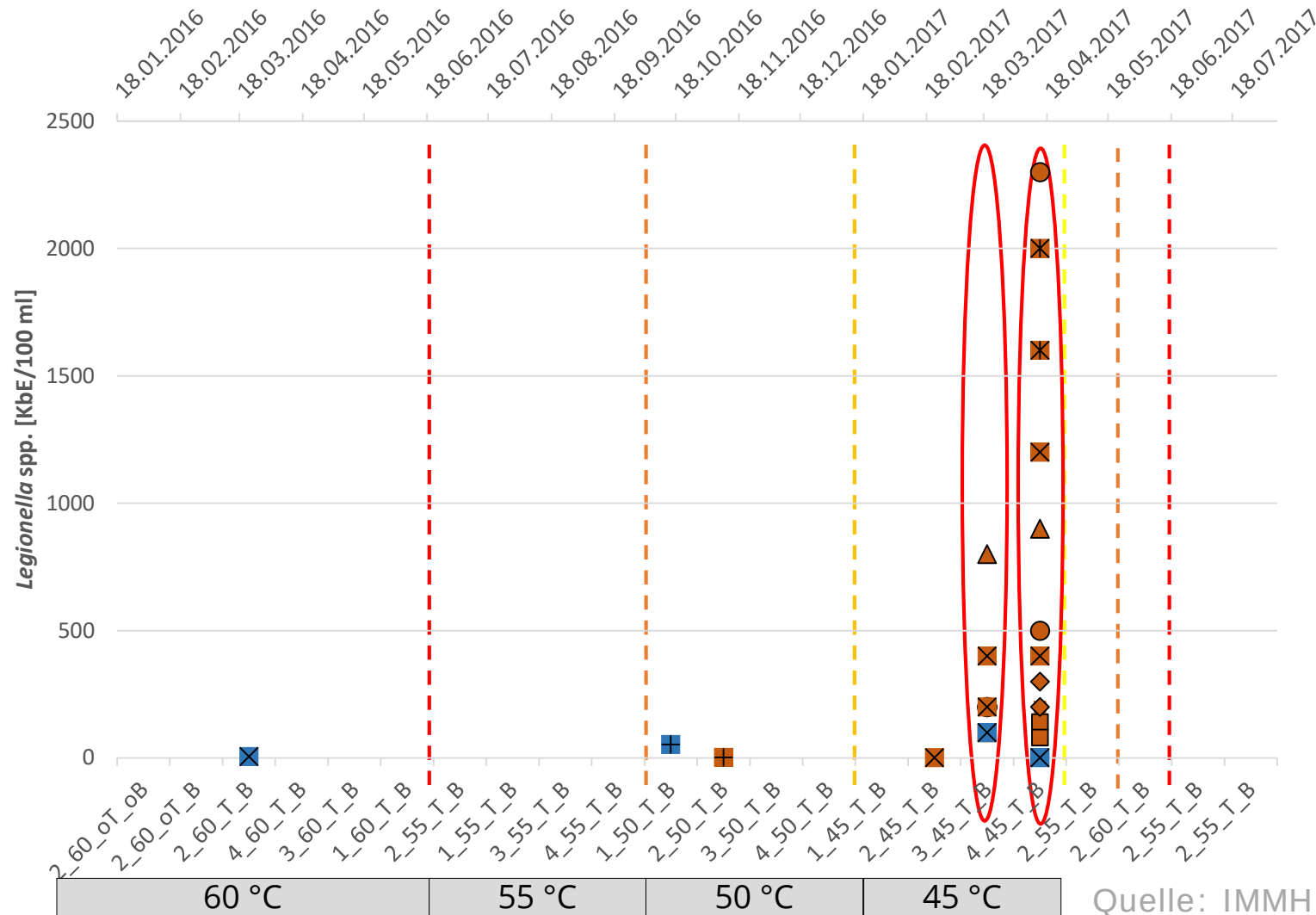


Zentrum für Energietechnik der TU Dresden
Versuchsfeld Rationelle Energieanwendung/Regenerative Energien
mit TWI-Versuchstand – Emulation Mehrfamilienhaus 6 WE

TWW-Seite der TWI-Versuchsanlage – Entnahmemengen bei 60 °C TWW eu.r.t.c.



TWI-Technikumsversuchsstand: Ergebnisse *Legionella* spp. – Kulturelle Befunde



60 °C

5 KBE/100 mL *L. anisa* im **TWK** in Wohnung 4-6

55 °C

n. n.

45 °C:

- *L. pneumophila* SG1 **über technischen Maßnahmenwert** im **TWW** (alle WE, Speicher und Zirkulation) und **TWK** WE6
- qPCR *L. pneumophila* max. 4×10^4 GU/500 mL

Kurzzeitig 60 °C

(ohne Spülen, chem. oder therm. Desinfizieren)

n. n.

1 a Betrieb bei 55 °C

- Legionella KBE <10 KBE/100 mL
- qPCR *L. pneumophila* max. 2×10^2 GU/500 mL

Simulationsstudie Trinkwasserinstallation

Simulation TWI, da weder TWK noch Raumtemperatur für alle Versuche konstant

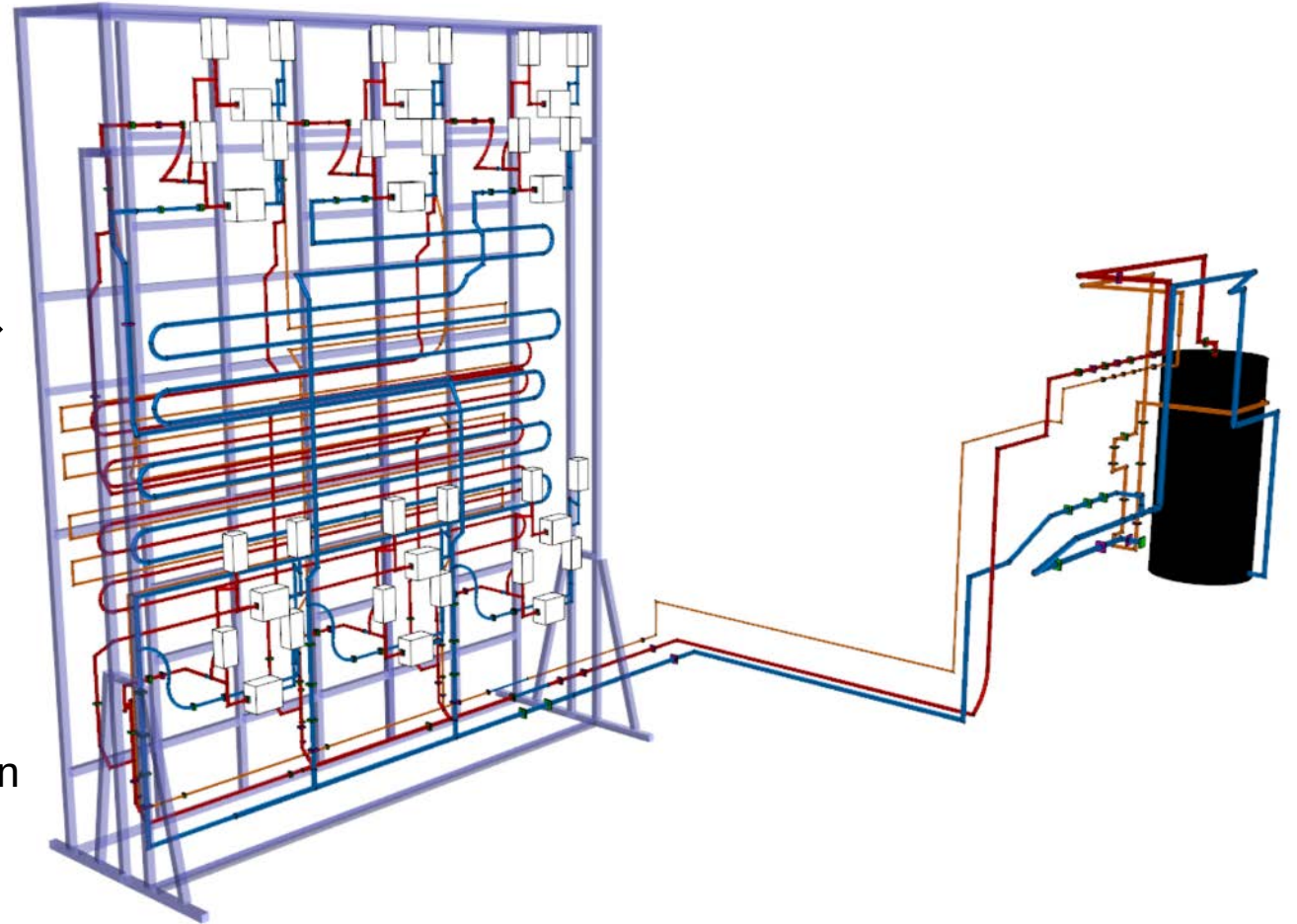
reale TWI am ZET

virtuelle TWI in TRNSYS-TUD

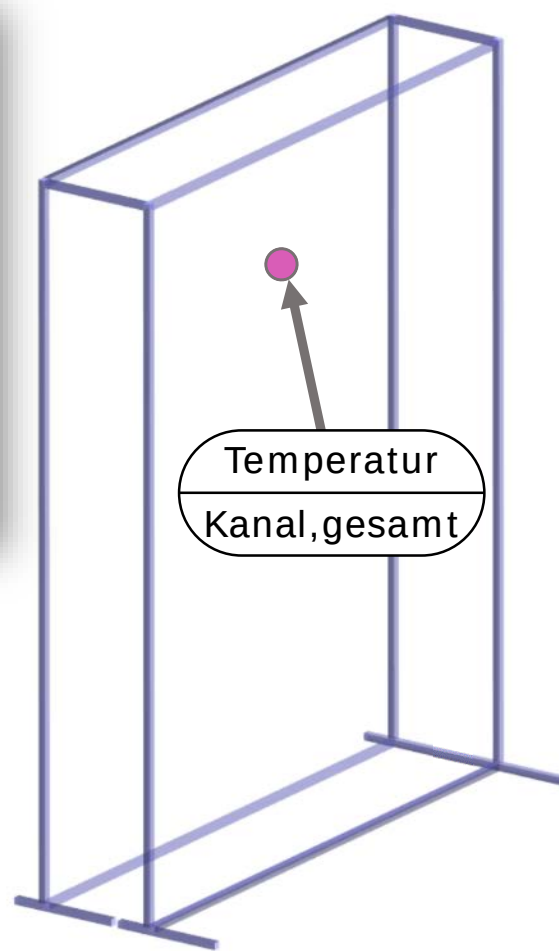


- Gesamte Installation vollständig 3D erfasst
- Thermohydraulische Simulation und Kopplung an Kanal- und Raumsimulation in

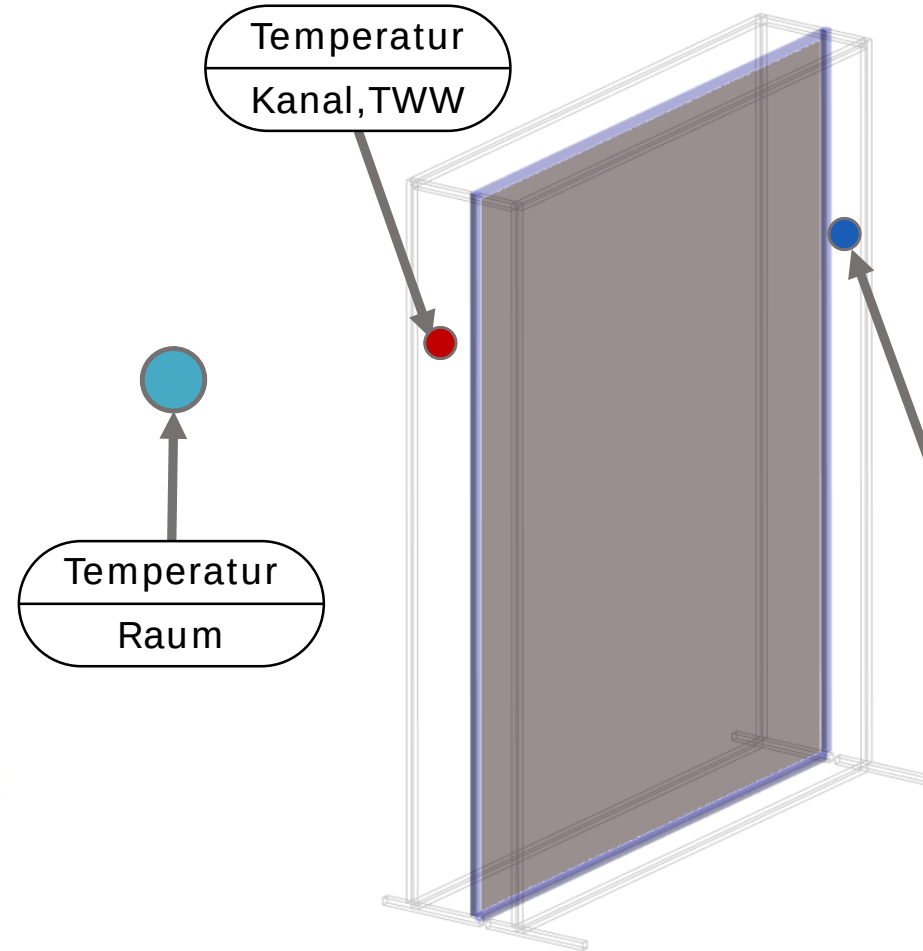
TRNSYS-TUD



Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand



ohne



mit



Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand – Auswirkung auf Tagesmitteltemp. TWK

Mittelwertvergleich ausgewählter Temperaturen ohne und mit Kanaltrennwand									
Temperatur			Kanal		Nächstgelegene Entnahmestelle			Entfernteste Entnahmestelle	
-			ohne -	mit - Trennwand	ohne -	mit -	-	ohne -	mit -
ϑ_{TWK}	$\vartheta_{\text{TW,HA}}$	ϑ_{Raum}	$\bar{\vartheta}_{\text{Kanal,ges.}}$		$\bar{\vartheta}_{\text{TWK,WE1}}$			$\bar{\vartheta}_{\text{TWK,WE6}}$	
70	15	20	28,0		19,1			23,0	
60			26,3		18,6			22,0	
55			25,5		18,4			21,6	
50			24,6		18,2			21,1	
45			23,8		18,3			21,0	
70	25	24	31,7		27,0			29,1	
60			30,0		26,5			28,1	
55			29,2		26,3			27,6	
50			28,4		26,0			27,1	
45			27,5		25,9			26,7	

Ø Jahr

Sommer

Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand – Auswirkung auf Tagesmitteltemp. TWK

Mittelwertvergleich ausgewählter Temperaturen ohne und mit Kanaltrennwand											
Temperatur			Kanal			Nächstgelegene Entnahmestelle			Entfernteste Entnahmestelle		
-			ohne -	mit - Trennwand		ohne -	mit -	-	ohne -	mit -	-
̑ _{TWW}	̑ _{TW,HA}	̑ _{Raum}	̑̄ _{Kanal,ges.}	̑̄ _{Kanal,TWW}	̑̄ _{Kanal,TWK}	̑̄ _{TWK,WE1}	̑̄ _{TWK,WE1}	Δ̑̄	̑̄ _{TWK,WE6}	̑̄ _{TWK,WE6}	Δ̑̄
70	15	20	28,0	31,2	20,8	19,1	16,9	2,2	23,0	18,6	4,4
60			26,3	29,0	20,5	18,6	16,8	1,8	22,0	18,5	3,5
55			25,5	27,8	20,4	18,4	16,8	1,6	21,6	18,4	3,2
50			24,6	26,7	20,3	18,2	16,8	1,4	21,1	18,3	2,8
45			23,8	25,6	20,1	18,3	17,0	1,3	21,0	18,5	2,5
70	25	24	31,7	34,3	25,5	27,0	25,1	1,9	29,1	25,3	3,8
60			30,0	32,1	25,2	26,5	25,0	1,5	28,1	25,1	3,0
55			29,2	30,9	25,0	26,3	25,0	1,3	27,6	25,0	2,6
50			28,4	29,8	24,9	26,0	24,9	1,1	27,1	24,9	2,2
45			27,5	28,7	24,7	25,9	24,9	1,0	26,7	24,8	1,9

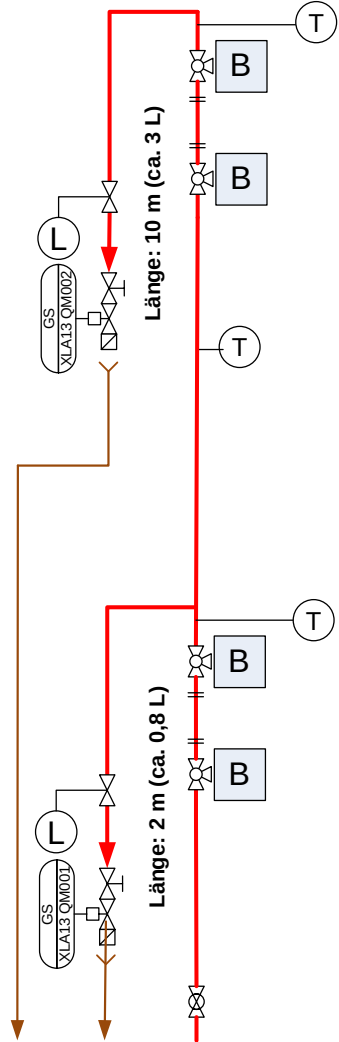
Ø Jahr

Sommer



Emulatorversuche endständiger, nicht
zirkulierender Bereich
mit künstlicher Kontamination *Legionella* spp.
Prüfung 3-Liter-Regel

Emulationsmodule - © TUD-GEVV Löser-Rühling



Ziel

Gezielte Untersuchung des endständigen, nicht zirkulierenden Bereiches mit Variation Volumen

- ca. 0,8 L
- ca. 3 L

Bei gezielter Kontamination des TW

Fixe Parameter

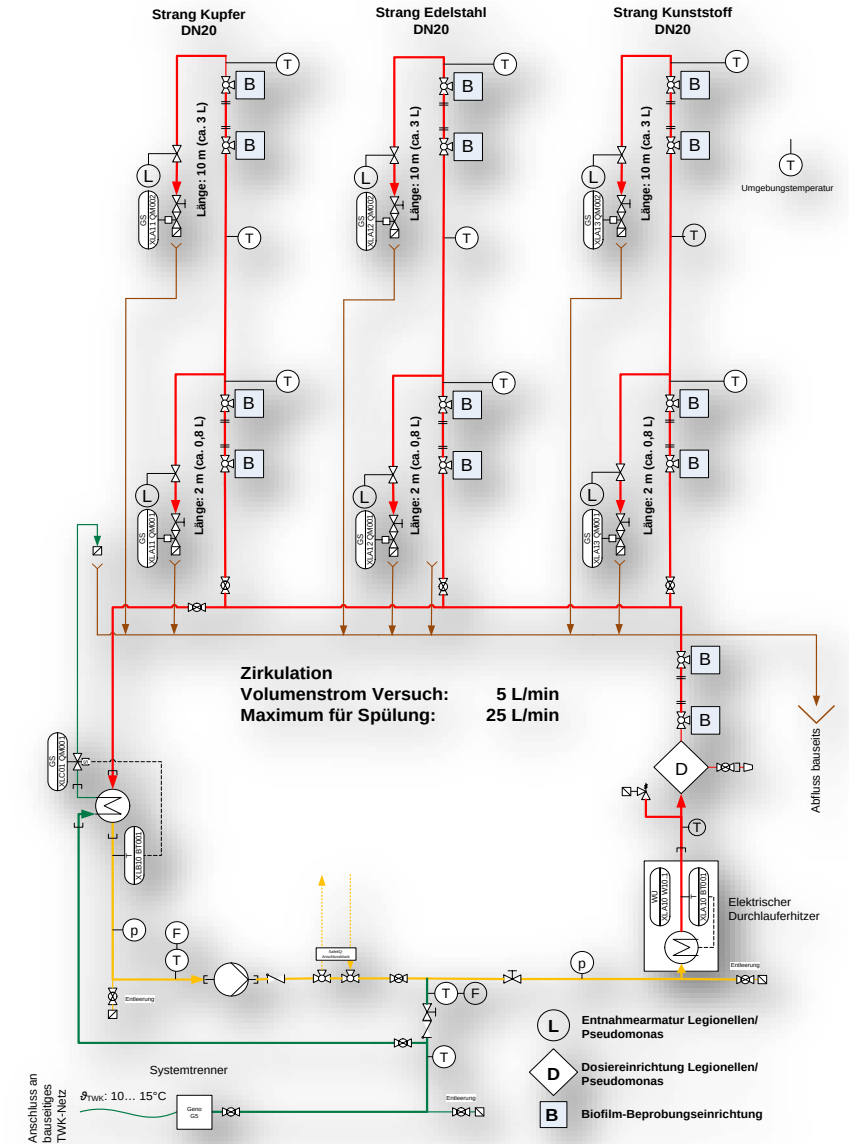
- Volumenstrom 5 L/min
- Niedrige Entnahme eu.r.tc.

Weitere variierte Parameter

- Werkstoff (Cu, NiRo, Kunststoff)
- Inhaltsvolumen (ca. 0,8 und 3 L)
- Temperatur (45 ... 60 °C)

Kontamination

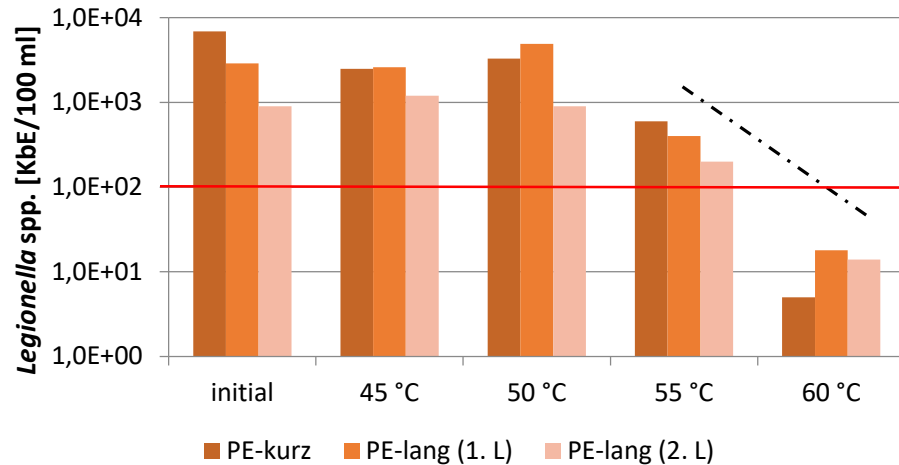
- *L. pneumophila* (IMMH) → Ergebnisse ff
- *Pseudomonas aeruginosa* (IWW), aber wegen Cu-Gehalten (minimal für Realität) keine Etablierung möglich



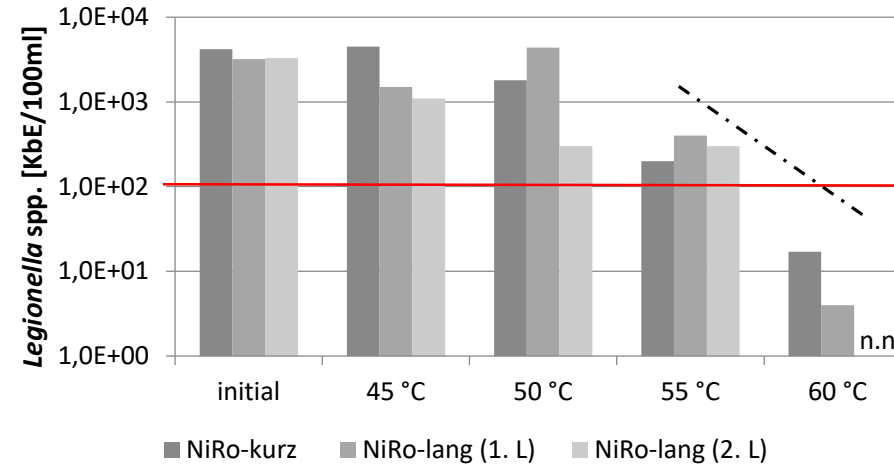
Kultur: *Legionella* spp./*L. pneumophila*

Abhängigkeit von Temperatur und Werkstoff bei gezielt eingebrachter Kontamination

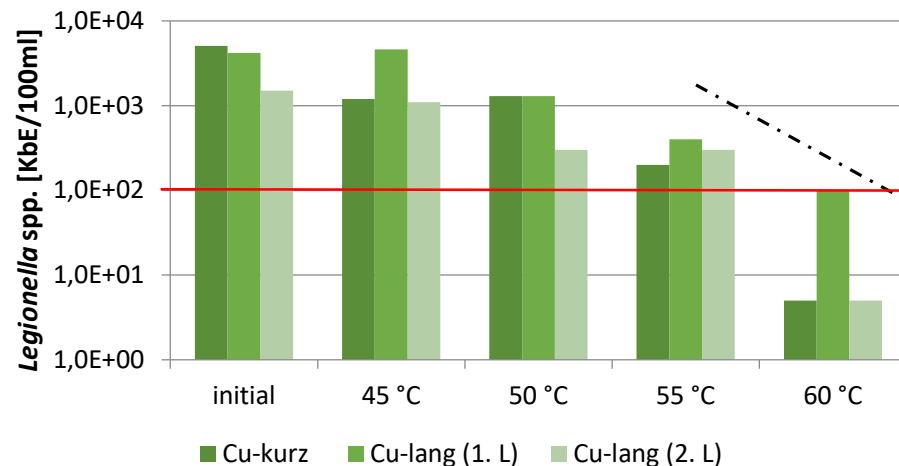
Kunststoff



NiRo



Kupfer



- Initiale Kontamination im endständigen Bereich 1.000 ... 10.000 KBE/ 100 mL
- Stufenweise Steigerung der TWW-Temperatur

Fazit endständig nach Kontamination

- Einfluss von Temperatur erkennbar (ab 55 °C eindeutig)
- Kein signifikanter Einfluss des Werkstoffs ableitbar
- Kein signifikanter Einfluss 0,8 / 3 L Volumen

Ausgewählte Thesen des Projektes

Ausgewählte Thesen mit besonderer Relevanz

Die Qualität der **Ausführung einer Kanaltrennung von TWW und TWK** ist für die Vermeidung der Aufwärmung des kalten Trinkwassers **wesentlich wichtiger als die Absenkung der Vorlauftemperatur** des Trinkwarmwassers. Architekten, Planer und Bauherren müssen die Ausführung einer ausreichend gedämmten Trennwand der TWK-Installation zur TWW-Installation und anderen warmgehenden Leitungen (Heizung, Solarthermie etc.) realisieren bzw. **die räumlich getrennte Führung des TWK umsetzen**. (*Simulation, Technikumsversuche, Felduntersuchungen*)

Der Betrieb des TWW-Systems mit **70 °C** am Austritt des TWE bewirkt eine Aufwärmung des TWK in einen trinkwasserhygienisch kritischen Bereich und erhöht die Zirkulationswärmeverluste signifikant. **Ein vorbeugender Einsatz ohne gleichzeitiges Spülen an den Entnahmestellen ist deshalb abzulehnen**. (*Simulation, Felduntersuchungen*)

Es gibt keinen statistischen Zusammenhang zwischen der Einhaltung der sogenannten **5-K-Regel** z. B. nach DVGW W 551 und Legionellen-Kontamination, *wenn bestimmte Temperatur im TWWZ nicht unterschritten werden*. (*Felduntersuchungen*)

In Trinkwasser-Installationen sind auch im **kalten Trinkwasser (TWK) Legionellen** in nicht zu vernachlässigender Häufigkeit und Konzentration zu finden. Daher ist das TWK in die Überwachung verbindlich einzubeziehen. (*Felduntersuchungen*)

Ausgewählte Thesen

In einer **nach den a.a.R.d.T. gebauten und betriebenen TWI** sollte die TWE-Temperatur über 55 °C liegen, um einen Schutz vor Legionellen (Einhaltung des technischen Maßnahmenwertes) zu gewährleisten. *(Technikumsversuche)*

Eine Grenztemperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers, unterhalb welcher es zur Kontamination kommt, bzw. oberhalb derer eine Kontamination ausgeschlossen werden kann, lässt sich **für Bestandsobjekte** nicht ableiten. Erst die Kombination von Temperaturen und Analysen diverser weiterer Systemparameter bietet ein aussagekräftigeres Bild zur Beurteilung einer TWI. *(Felduntersuchungen)*

Kontaminierte Anlagen

Bei Versuchen mit einem Legionellen-kontaminierten Emulator ist für eine deutliche Reduktion der Legionellen (≤ 100 KBE/100 mL) in den nicht zirkulierenden endständigen Bereichen eine TWW-Temperatur von ≥ 60 °C am TWE notwendig. *(Emulatorversuche)*



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



TZW

Technologiezentrum
Wasser

UNIVERSITÄT



IWW



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03ET1617A-E

Was wird noch untersucht?

EnOB: ULTRA-F – Ultrafiltration als Element der Energieeffizienz in der Trinkwasserhygiene

Mögliche Einbauorte der Ultrafiltrationsanlagen

UF1

Gesamter TWK-
Volumenstrom der
Liegenschaft

UF2

Gesamter TWK-
Volumenstrom am Eintritt
TWE

UF3

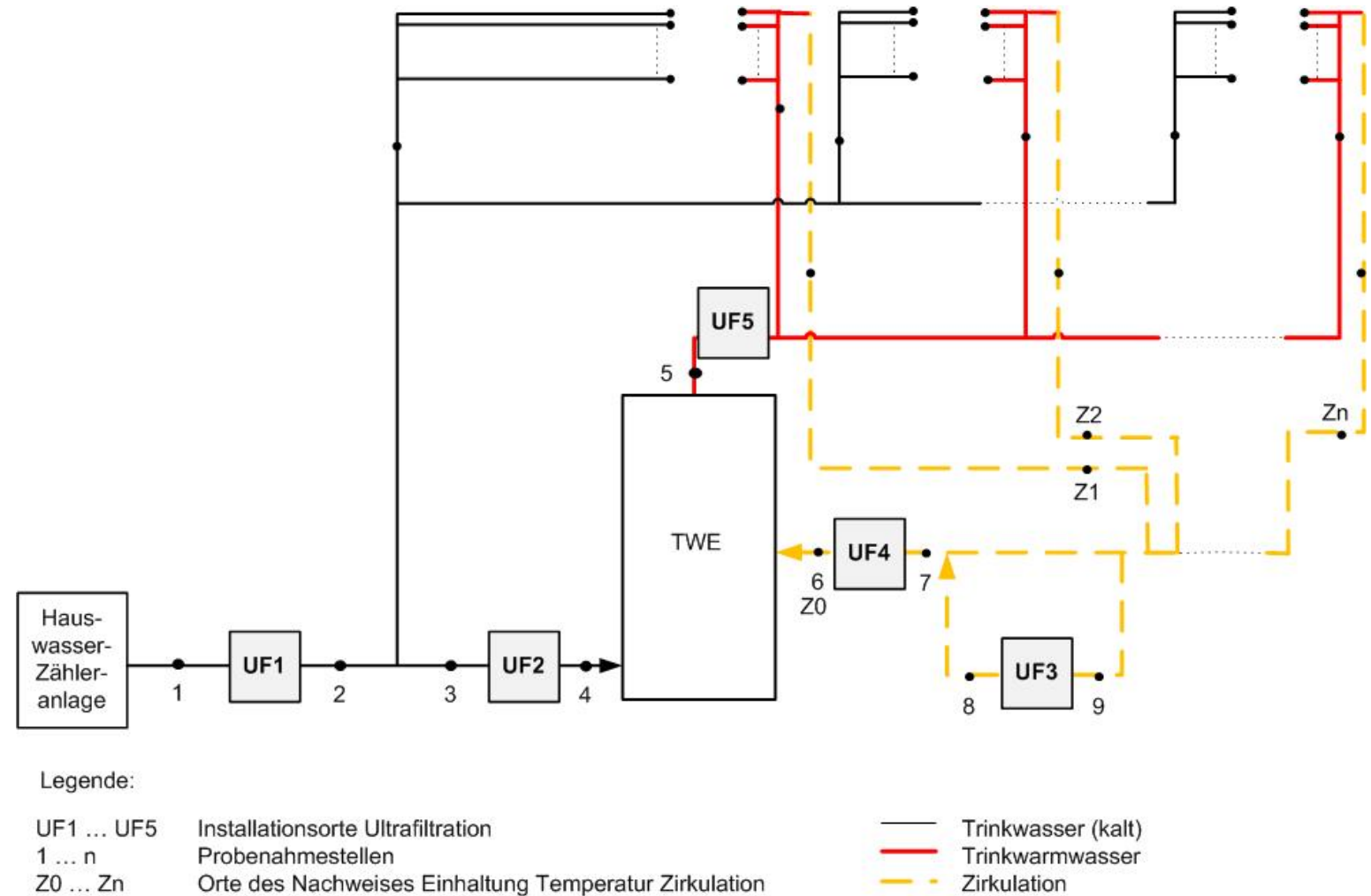
Teilvolumenstrom der
Zirkulation vor Eintritt TWE

UF4

Gesamter Volumenstrom
der Zirkulation vor Eintritt
TWE

UF5

Gesamter TWW-
Volumenstrom nach
Austritt TWE



Grundsätzliches Ziel des FuE-Vorhabens ULTRA-F

Was ist schon erreicht?

Die **EE+HYG@TWI-Ergebnisse** zeigen, dass eine risikolose Absenkung von Trinkwarmwasser-Temperaturen unter die Schwellentemperaturen von $\vartheta_{TWE,aus}/\vartheta_{Zirk,min} = 55\text{ °C}/50\text{ °C}$ aus trinkwasserhygienischer Sicht weder in Neubau- noch in Bestandsinstallationen empfohlen werden kann. **Dies ist zwar ein erster 5-K-Schritt, beschränkt aber energetische, primärenergetische und CO₂-emissionsseitige Beiträge zur Wärmewende 2030 sowie das Potential zur verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energiequellen, die bei einer Absenkung auf 50 oder gar 45 °C erreichbar wären.**

Was ist noch zu tun?

Ziel des Vorhabens ist die ganzheitliche und systematische Untersuchung von Trinkwasser-Installationen im Labor, im Technikum sowie im Feldversuch **mit dem Ziel des Nachweises der Wirksamkeit der Ultrafiltration hinsichtlich der Sicherung eines hygienisch einwandfreien Betriebes bei abgesenkten Trinkwarmwasser-Temperaturen sowie der primärenergetischen Wirkungen und der Effekte der CO₂-Emissionsminderung.**

Achtung! Der Nachweis ist noch nicht erbracht, auch wenn manche Firmen dies behaupten!

Ansprechpartner/ Kontakte

Verbundprojektkoordinator

Technische Universität Dresden
Professur für Gebäudeenergie-technik
und Wärmeversorgung
01062 Dresden

Leiter der Professur

Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann
T.: +49 (0) 351 - 463 3 2145 (Sekretariat)

Verbundprojektleitung

Dr.-Ing. Karin Rühling
T.: +49 (0) 351 - 463 3 2375

Verantwortliche Datenbank

Dipl.-Inf. Regina Rothmann
T.: +49 (0) 351 - 463 3 2611 direkt

Projekt- E-Mail und Hotline

UltraF@mailbox.tu-dresden.de

Wasser muss fließen!



Fragen?

Downloadbereich Vortrag

(Bei Problemen bitte Umbrüche entfernen)

<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/forschung/forschungsprojekte/ultra-f>