

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“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation

Überblick über ein fachübergreifendes Verbundforschungsvorhaben

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



EnEff:Wärme

27. Wasserhygienetag | 07. Februar 2019 | Bad Elster



Mitförderer - alphabetisch



AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.



Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH i.A. des Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. – BDH



Geberit AG, Konzernbereich SA & RLS



HeiWaKo Arbeitsgemeinschaft Heiz- und Wasserkostenverteiler e.V.



Georg Fischer JRG AG



Gebr. Kemper GmbH + Co. KG, Metallwerke



SWM Stadtwerke München - Infrastruktur GmbH; Endkundenstrategie



Vattenfall Europe AG, Network Planning, Berlin



Viega GmbH & Co.KG

Verbundprojektpartner – wissenschaftlicher Beirat - Projektbegleitausschuss

Koordinator Technische Universität Dresden

Projektpartner

- GEWV** TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergie-technik u. Wärmeversorgung
Dr.-Ing. Karin Rühling, Dipl.-Inf. Regina Rothmann, Dipl.-Ing. Jan Löser, Dipl.-Math. Lars Haupt, Dipl.-Ing. Stefan Hoppe, Dipl.-Ing. (FH) Knut Gietzelt, Thomas Unger
- IHPH** Universität Bonn, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit
Prof. Dr. med. Thomas Kistemann, Dr. rer. nat. Christiane Schreiber, Heike Müller MSc., Nicole Zacharias BSc., Felix Wasser BSc
- IWW** Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH
Dr. rer. nat. Gabriela Schaule, Dr. Martin Strathmann, Dr. rer. nat. Jost Wingender, Dr. Andreas Nocker, Dietmar Pütz, Kathrin Wiede
- IMMH** TU Dresden, Institut f. Medizinische Mikrobiologie u. Hygiene
Dr. med. Christian Lück, Markus Petzold MSc. , Dipl.-Biol. Tetyana Koshkolda
- IEE** Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik Kassel
Dr. Dietrich Schmidt, Dipl.-Ing. Anna Marie Kallert

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.

Struktur - Interaktionen - 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.; Wengender, J.

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

Bechem, H.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.



Stand: 01. März 2018



Simulationsstudien (IEE, GEVV)

Trinkwasser-Installation (TWI) inkl. Wechselwirkungen

Trinkwasser kalt (TWK) und Trinkwarmwasser (TWW)

Kontext Gesamtsystem Mehrfamilienhaus und Wirkungen

Bilanzraum Deutschland

Felduntersuchungen (GEVV, IHPH, IMM, IWW)

Untersuchungsumfang in den 100 Objekten, Deskriptive Statistik,

Beispiel für Objektauswertung

Technikumsversuche (IMM, GEVV)

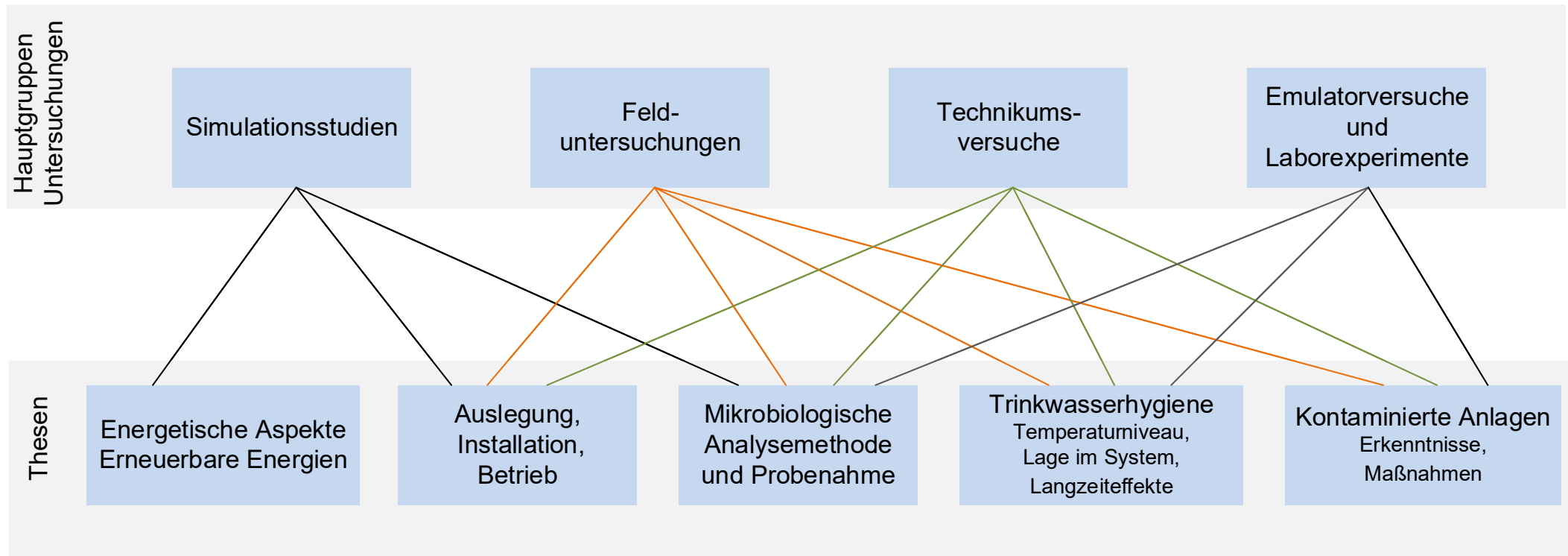
Trinkwasserinstallation Mehrfamilienhaus (6 Wohneinheiten)

Emulatorversuche und Laborexperimente

(IMM, IWW, GEVV)

Untersuchungen Werkstoffe und nicht zirkulierender, endständiger Bereich

Verflechtung Hauptgruppen der Untersuchungen und abgeleitete Thesen



Nachfolgend nur ein kurzer Einblick in ausgewählte Methoden und Ergebnisse

Simulationsstudie Gebäude

Simulationsstudie Gesamtsystem - Untersuchungsvarianten

Baualter-klasse	Anzahl WE x Personen je WE	Übergabe-system	Wärmeerzeuger	Speicher	TWE	TWW-Temp.
< 1978 (WSchVo77)	2 WE x 2 Pers. 2 WE x 4 Pers. 2 WE x 6 Pers.	Heizkörper	NT-Kessel Erdgas	TWW-Speicher	Speicherprinzip	60 °C
			Fernwärme			55 °C 50 °C
1978-1994		Heizkörper	NT-Kessel Erdgas	TWW-Speicher	Speicherprinzip	60 °C 55 °C 50 °C
			Brennwertkessel Erdgas			
			Fernwärme			
KfW70		Fußboden-heizung	Brennwertkessel Erdgas	TWW-Speicher	Speicherprinzip	60 °C 55 °C 50 °C
	Wärmepumpe Solarthermie		Heizungs-Pufferspeicher	Zentr. Durchflussprinzip		
	Fernwärme		TWW-Speicher	Speicherprinzip		
			-	Zentr. Durchflussprinzip		
Holzpellets Solarthermie	Heizungs-Pufferspeicher	Zentr. Durchflussprinzip				

Ziel

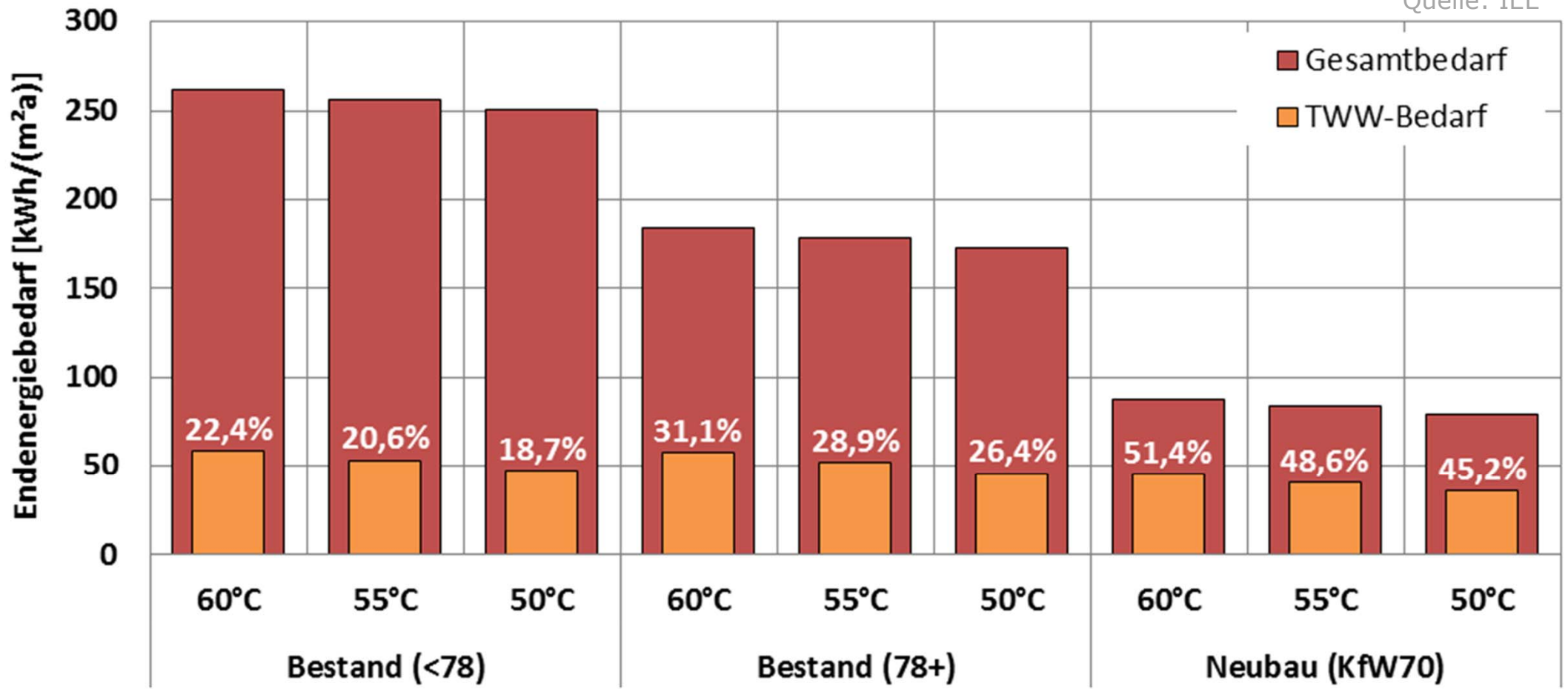
Quantifizierung des Einflusses der **Art der TWE** und der **Betriebsweise der TWI** auf

auf Energiebedarf und CO₂-Emissionen des Gesamtsystems bei gleicher Konfiguration der Wohneinheiten WE

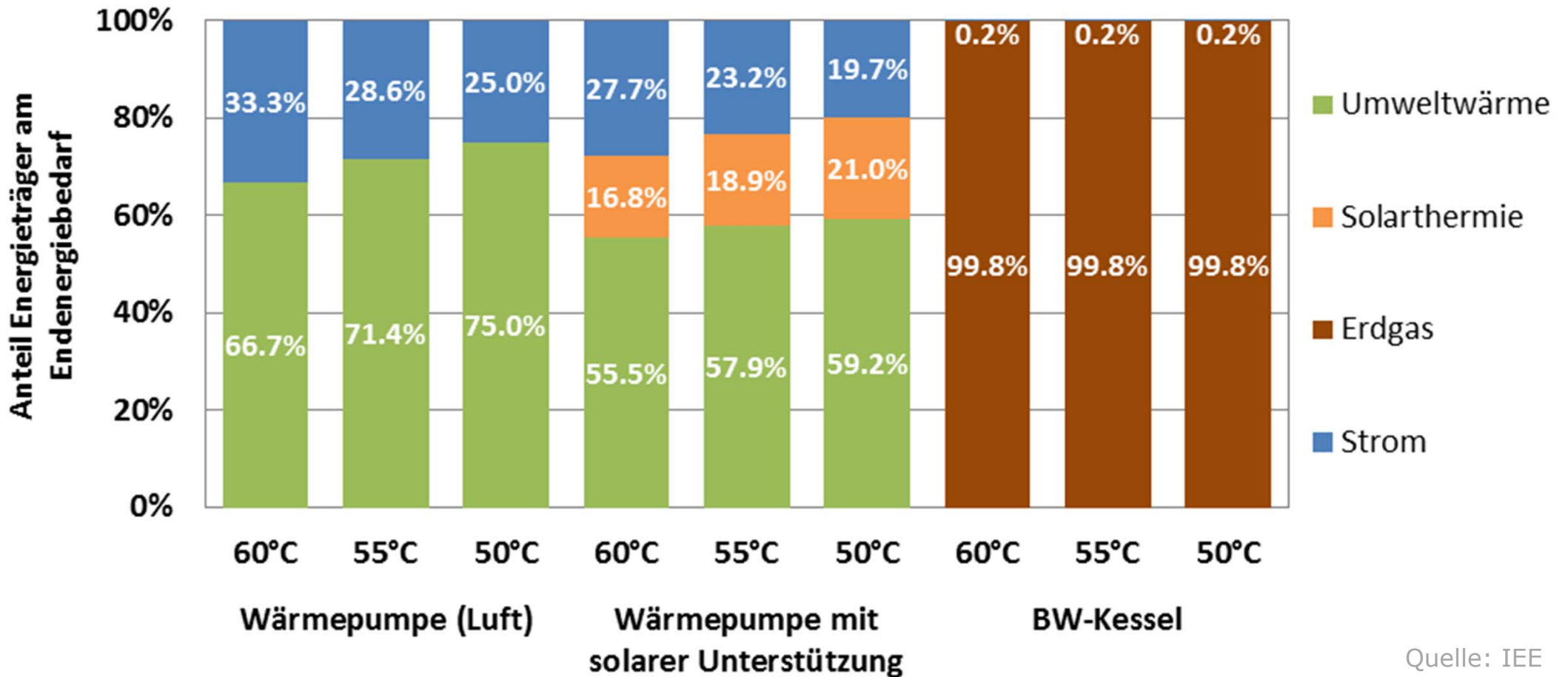
(Grün hinterlegt Referenzvariante; Temperatur des dem TWE zugeführten TWK $\vartheta_{TWK,TWE} = 10 \text{ °C}$)

Flächenbezogener Endenergiebedarfs eines MFH und Anteil der Trinkwassererwärmung

Quelle: IEE



Anteil regenerativer Energiebereitstellung am gesamten Endenergiebedarf Gebäude



Quelle: IEE

Felduntersuchungen

Felduntersuchungen

Ziel

Systematische Erfassung von konstruktiven, thermisch-hydraulischen und hygienisch-mikrobiologischen Daten von Trinkwasser-Installationen in 100 Bestandsobjekten

Basis: Mieter – und Betreiberinformation

Informationsmaterial inkl. Einverständnis- und Datenschutzerklärungen erarbeitet

Versand an alle Mitförderer, diverse Wohnungsgenossenschaften, potentielle „Objektlieferanten“ sowie Partner in Österreich und der Schweiz



Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



TU Dresden · Inst. f. Energietechnik · EE+HYG@TWI · 01062 Dresden

Institution: [redacted]
Bearbeiter: [redacted]
Telefon: [redacted]
E-Mail: EE_HYG_at_TWI@mailbox.tu-dresden.de

Vorgehensweise zur Untersuchung von Objekten

im Verbundvorhaben EnEff:Wärme

Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation

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

Sehr geehrte Betreiber einer Trinkwasser-Installation,

zunächst herzlichen Dank, dass Sie sich mit unserer Anfrage beschäftigen wollen und grundsätzlich bereit sind, uns mit Gebäuden zu unterstützen, an denen wir bis Ende 2015 sowohl 4 Wochen thermohydraulische Messungen als auch an einem Tag trinkwasserhygienische Untersuchungen vornehmen können.

Sicher interessieren Sie über die Kurzfassung unseres Forschungsprojektes hinaus die ganz konkreten Schritte, die wir Forscher an potentiellen Untersuchungsobjekten absolvieren möchten und welche Voraussetzung ein Gebäude benötigt, um im Rahmen dieses Verbundprojektes untersucht zu werden.

Gebäude-Voraussetzung

- Vorzugsweise **Mehrfamilienhäuser** oder Einfamilienhäuser und so genannte typische Nichtwohnhäuser (siehe nachfolgende Checkliste auf Seite 7).
- Im Gebäude sollte aktuell **keine Legionellenproblematik** bekannt sein
- **Pläne der Trinkwasser-Installation** sollten vorhanden bzw. gemeinsam mit unserem Team bei der ersten Begehung leicht erstellbar sein.
- Probenahmeventile im Umfeld des Trinkwasser-Erwärmers (Austritt TWE, Eintritt der Zirkulation in den TWE) sind vorhanden.

Felduntersuchungen – Trinkwasserhygienische Beprobung

Klassen der Kontamination nach Exner

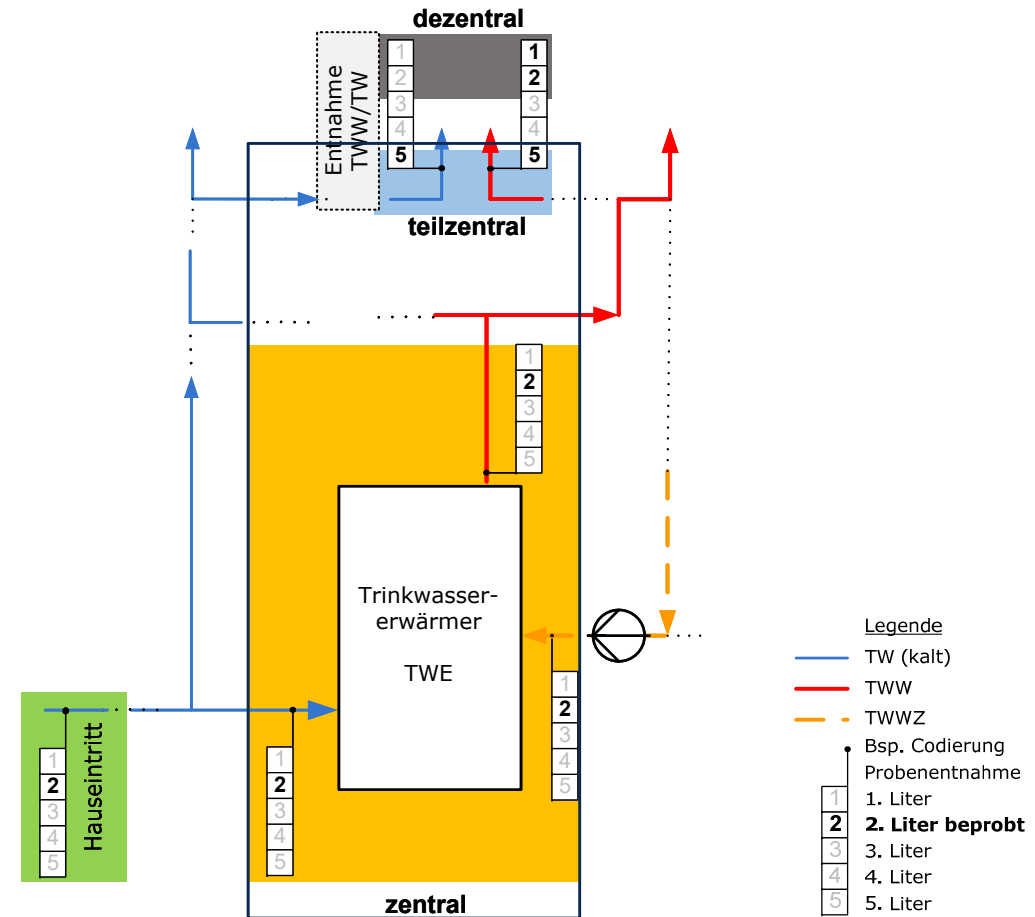
[Wasser und Gesundheit. Vortrag, Wasser Berlin 2011]

1. Kontamination aus zentraler Wasserversorgung
2. Zentrale Kontamination der Trinkwasser-Installation
3. Teilzentrale Kontamination
4. Dezentrale Kontamination

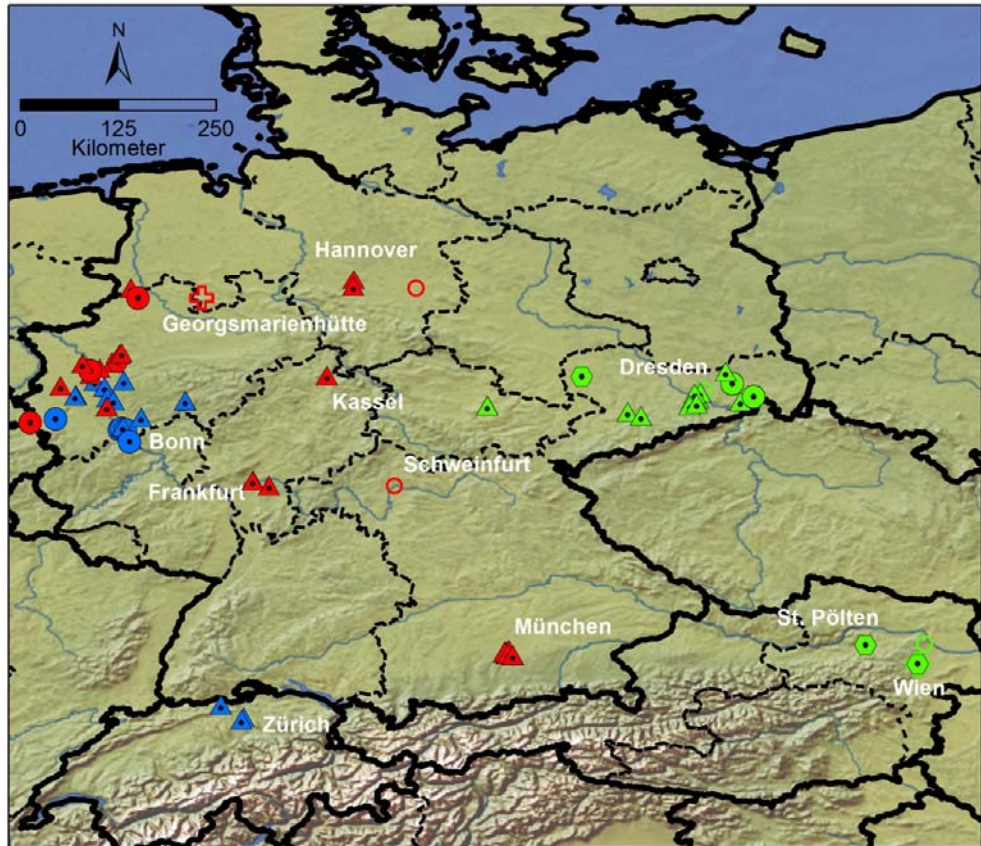
Systemische Kontamination

Untersuchungsumfang

- Entnahme 2. bzw. 5. Liter, teilw. auch 1. Liter
- Temperaturen zur Probenahme und in 1. und 10. Liter TWW
- Analytik auf *Legionella* spp. Kultur, qPCR (*Legionella* spp. + *L. pneumophila*), *Pseudomonas aeruginosa*



Geographische Verteilung der Objekte



Legende

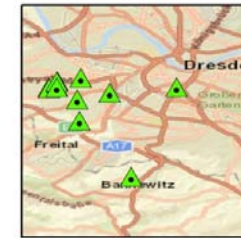
alle 100
Objekte

Beprobung durch

- IMMH (32)
- IHPH (32)
- IWW (36)

Objekttyp

- EFH (12)
- ▲ MFH (76)
- Gem.Unt. (4)
- ⊕ Pflegeh. (2)
- sonst. (6)



Dresden



Bonn

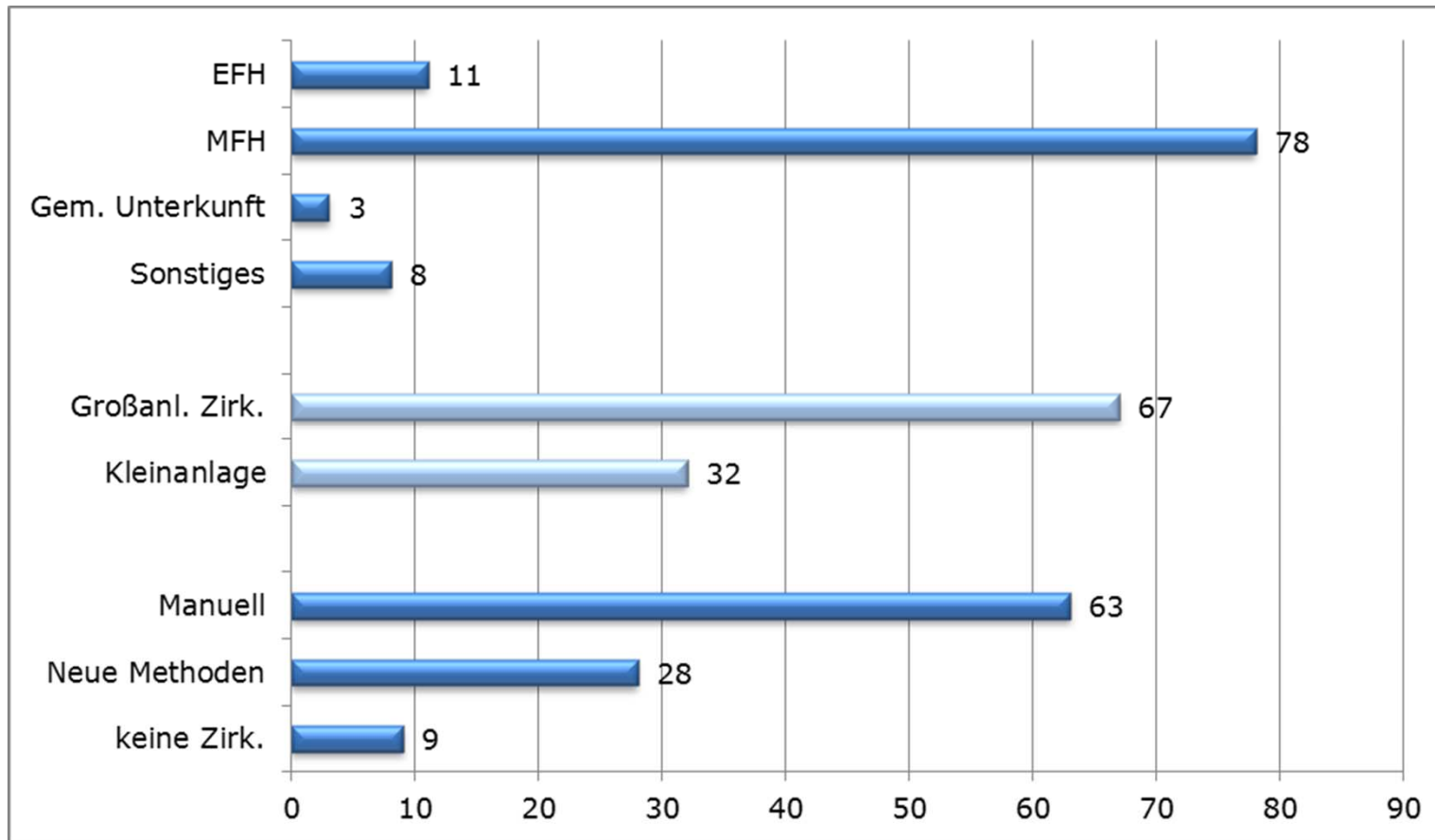


München

Kartographie: ihph, GeoHealth Centre, 2017, C. Höser
 Daten: Projekt EE+Hyg@TWI, September 2017
 Hintergrundkarte: Natural Earth, OSM Open Street Map

IST-Stand Objekte (Anzahl) 08/2017

Objektart, Einordnung nach DVGW W551 und Art Zirkulationsabgleich



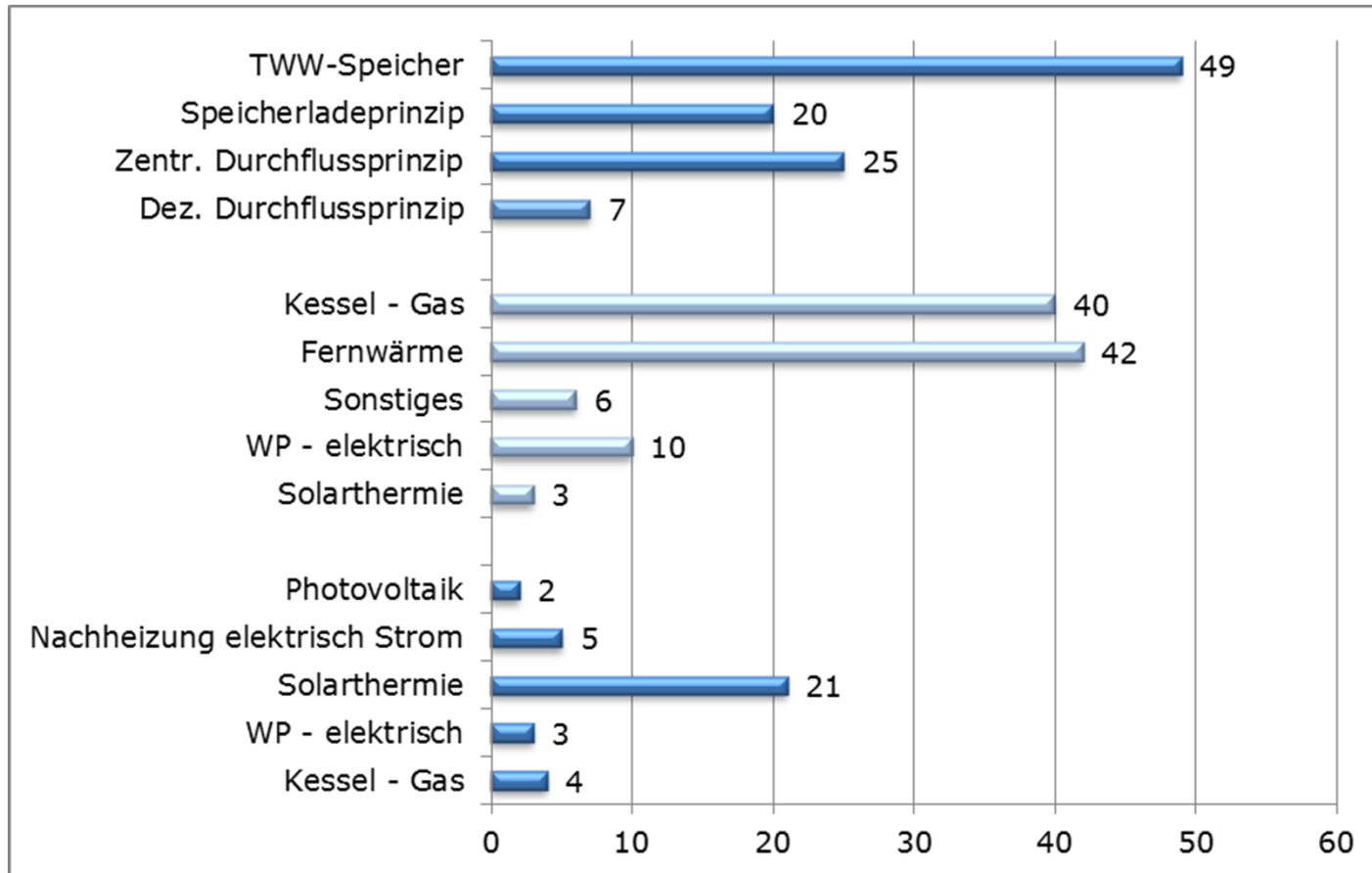
Objekte

- 116 Objekte in der Datenbank erfasst
- davon entfallen 15 Objekte (Betreiber abgesagt bzw. keine thermohydraulischen Messungen möglich)

Neue Methoden Zirkulationsabgleich

- JRG
- Kemper
- Oventrop
- Viega
- Thermostatventile

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



Temperatur am Austritt TWE (Mittelwert THM)

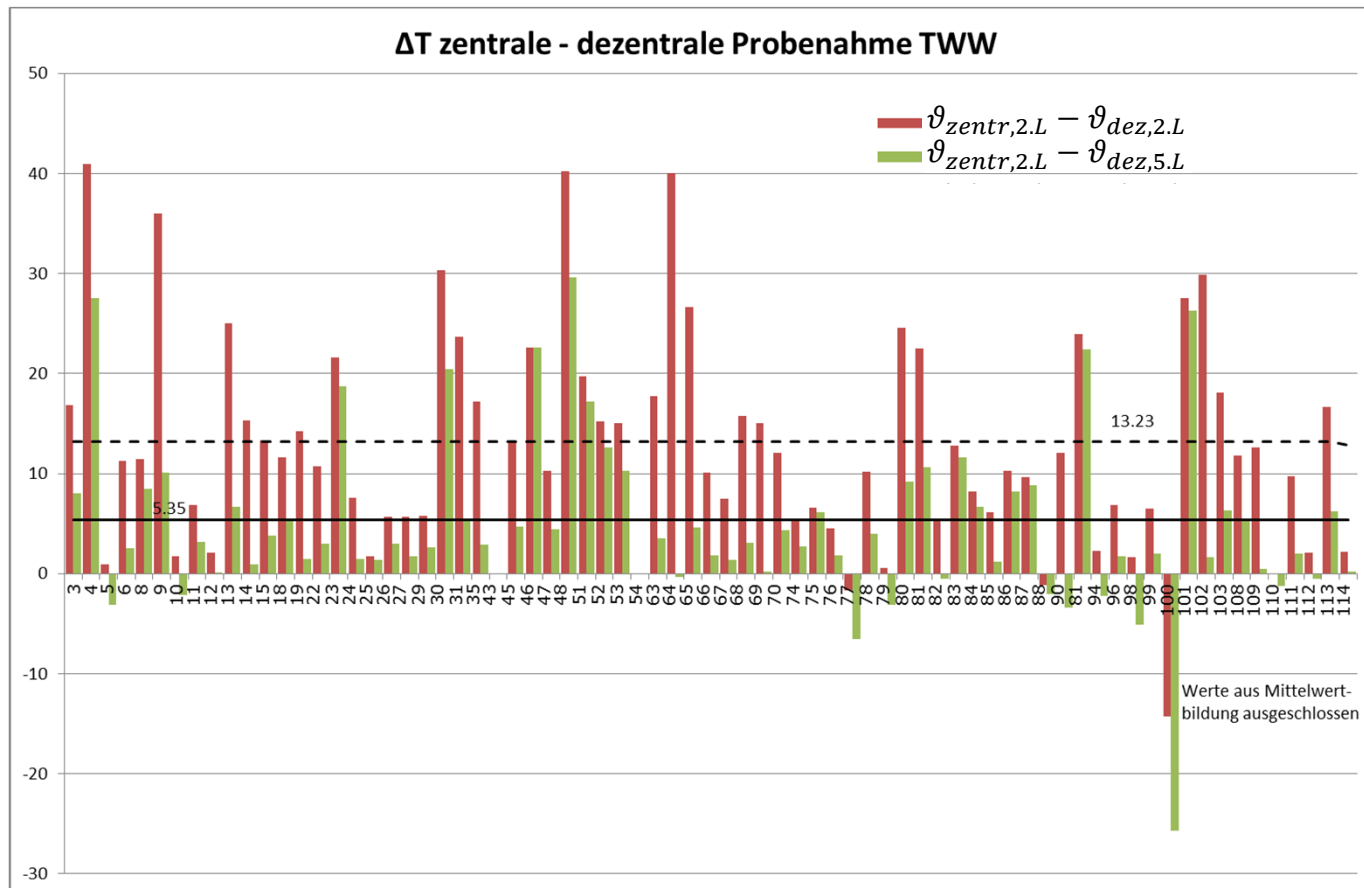
Temp. TWW	Anz. Objekte
> 65 °C	8
> 60 - 65 °C	32
> 55 - 60 °C	29
> 50 - 55 °C	9
≥ 45 - 50 °C	6
< 45 °C	7

Statistik MFH, Gemeinschaftsunterkunft und Studentenwohnheim (N=80): Temperaturen am Austritt TWE aus den THM und *Legionella* spp.-Befunde kulturell

Temp. TWW Austritt TWE (Median THM) °C	Anzahl Objekte im T-Bereich	davon Objekte > 0 KbE/ 100 mL		davon Objekte > 100 KbE/ 100 mL		TWW	TWK
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl (davon >100 KbE/100 mL)	Anzahl (davon >100 KbE/100 mL)
< 45	1	0	0	0	0	0	0
> 45 - 50	1	0	0	0	0	0	0
> 50 - 55	6	2	33,3	1	16,7	2 (1)	1
> 55 - 57	11	2	18,2	0	0	2	2
> 57 - 59	13	3	23,1	0	0	3	3
> 59 - 61	15	4	26,7	1	6,7	1 (1)	3
> 61 - 63	15	3	20	2	13,3	1 (1)	2 (1)
> 63 - 65	10	2	20	0	0	2	1
> 65	8	2	25	1	12,5	2 (1)	1
Gesamt	80	18	22,5	5	6,3	13	13

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

Temperaturdifferenz zentral - dezentral bei der Probenahme in MFH



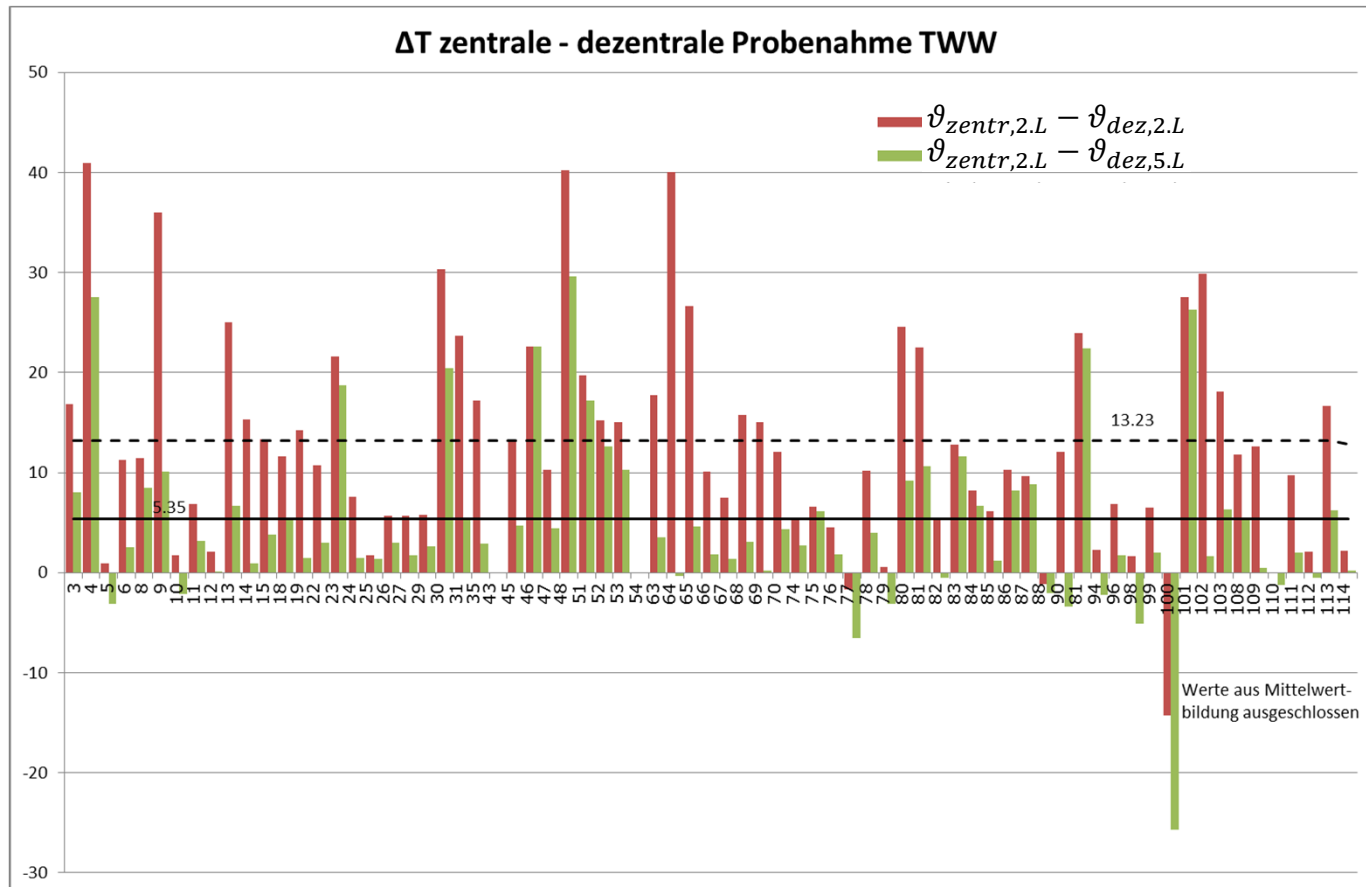
Differenz $\vartheta_{zentr,2.L}$ minus

- 2. Liter dezentral $\vartheta_{dez,2.L}$
- - - - Mittelwert
- 5. Liter dezentral $\vartheta_{dez,5.L}$
— Mittelwert

Wertung

- im Mittel weichen die Temperaturen im 2. L dezentral 13,2 K von der Temperatur am TWE ab
- im Mittel weichen die Temperaturen im 5. L dezentral 5,3 K von der Temperatur am TWE ab

Temperaturdifferenz zentral - dezentral bei der Probenahme in MFH in K







Fazit

- An dezentralen Entnahmestellen ist der 2. Liter nicht geeignet, sicher eine Probe aus dem Zirkulationssystem zu entnehmen und die Temperaturverteilung in der Zirkulation zu beurteilen. Für eine orientierende Untersuchung nach TrinkwV zur systemischen Beurteilung sollte daher dezentral wieder der **5. Liter** beprobt werden.

These 5.5

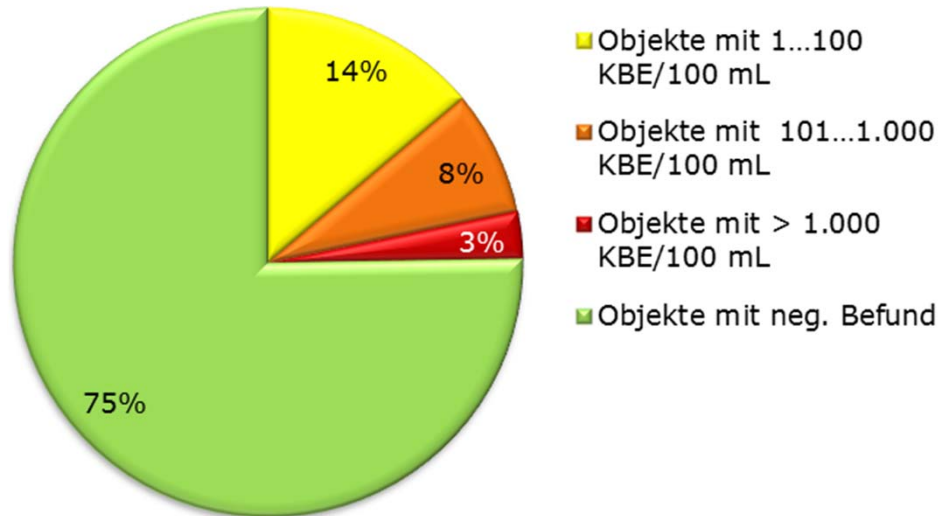
Auswertung Trinkwasserhygiene – Farbkodierung nach Befunden

	Kultureller Nachweis <i>Legionella spp.</i>*	qPCR <i>L. pneumophila</i>**
	negativ	≤ untere Nachweisgrenze (NGrenz) laborabhängig, hier mit 10 GU/500 mL gelabelt
	1 ... 100 KBE/100 mL	>untere Nachweisgrenze, jedoch ≤ Quantifizierungsgrenze (QGrenz) laborabhängig, hier mit 200 GU/500 mL gelabelt
	>100 ... 1.000 KBE/100 mL	> Quantifizierungsgrenze
	> 1.000 KBE/100 mL	

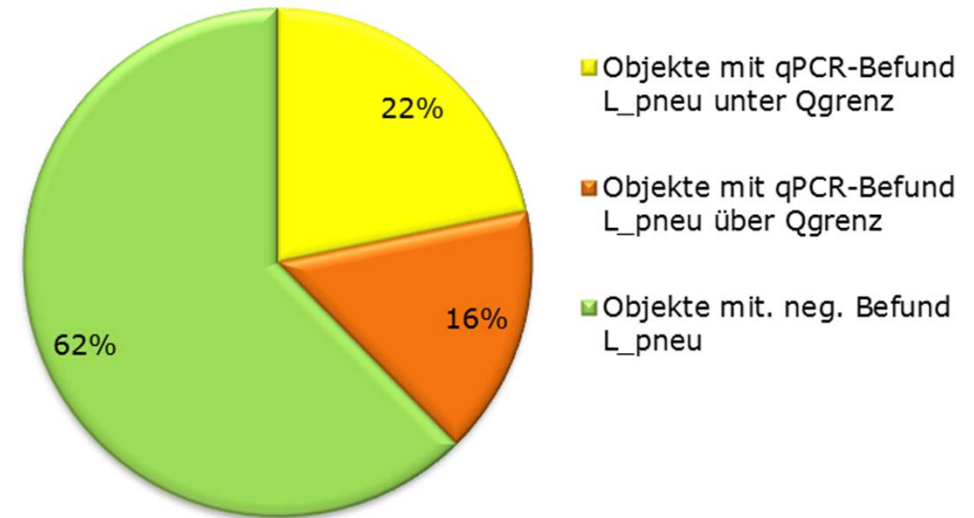
* Positive kulturelle Befunde fast ausschließlich *Legionella pneumophila*

** qPCR-Befunde *Legionella spp.* in fast allen Objekten positiv

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 über dem technischen Maßnahmewert
- qPCR *L. pneumophila* liefert häufiger positive Ergebnisse

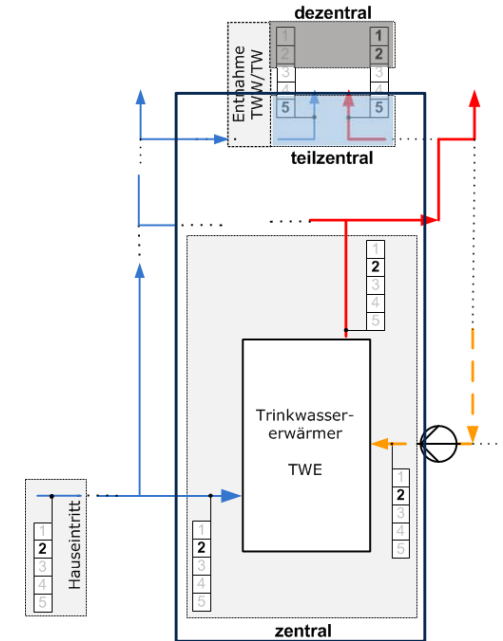
Auswertung Kategorien der Kontamination – kultureller Befund
 ≥ 1 KbE/100 mL, davon > 100 KbE/100 mL

Bezeichnung	≥ 1 KbE/100 mL	> 100 KbE/100 mL
Objekte mit positivem Befund	25	11*
- nur dezentral positive Befunde = dez. Kontamination	3	2
= Objekte mit pos. systemischen Befund	22	9
Objekte auch mit teilzentraler Kontamination	14	2

Fazit

- Größte Probleme teilzentral!

- *
 - 3 Objekte > 1.000 KbE/100 mL dezentral
 - max. Befund: 13.000 KbE/100 mL dezentral



Beispiel Objekt 015 – Mehrfamilienhaus - Übersicht

Objektcharakteristika

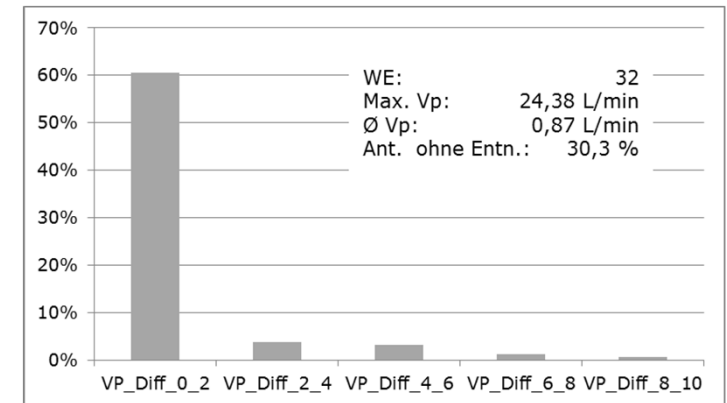
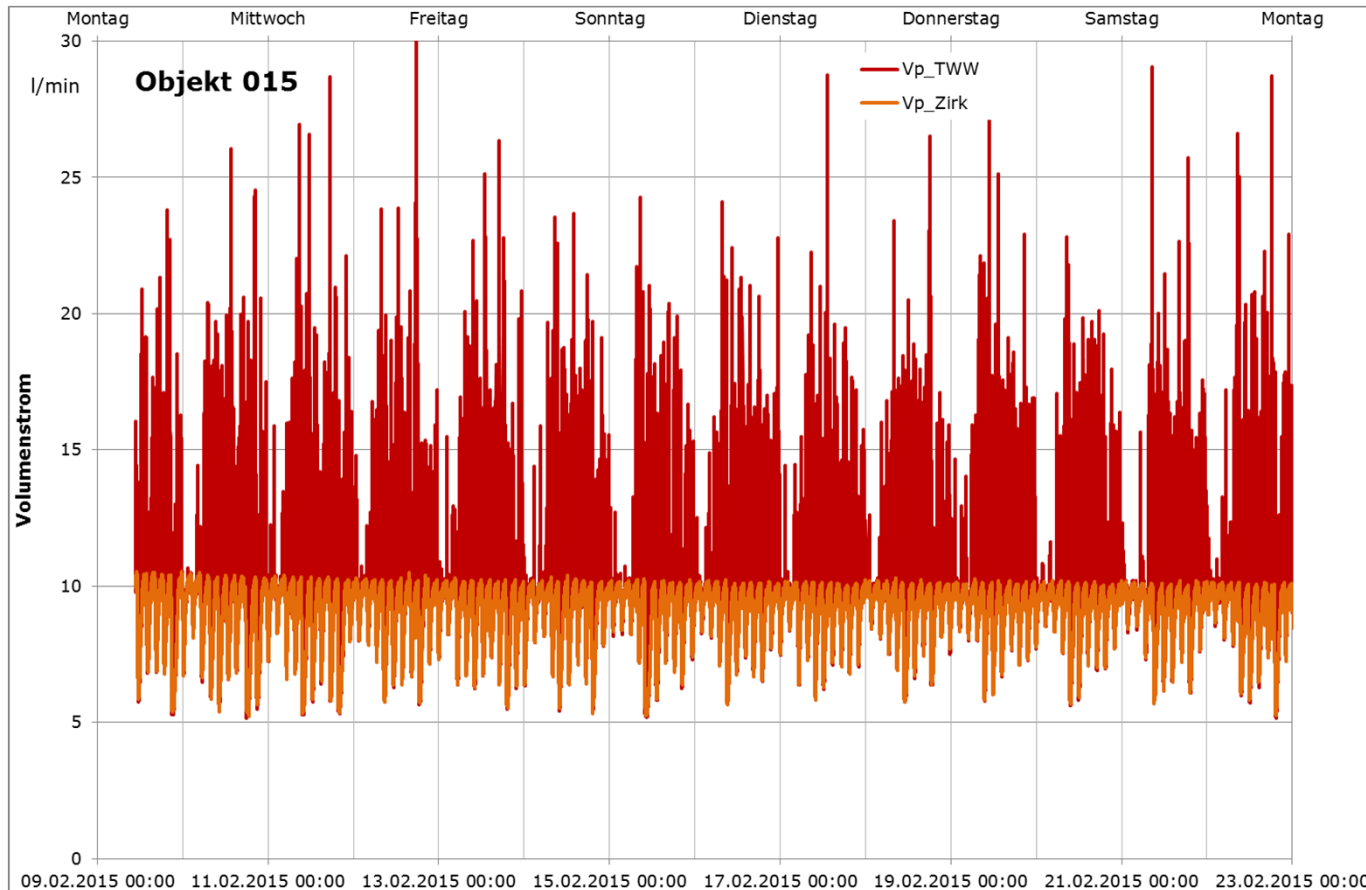
- Sollwert Temp. am Austritt TWE 60 °C
- Typ nach W 551 /TrinkwV Großanlage mit Zirkulation
- Art TWE Speicherladeprinzip
- hydraulischer Abgleich Zirkulation manuell
- Anzahl Wohneinheiten 32
- Erzeuger Fernwärme
- Speichervolumen TWW 500 L



Projektaktivitäten und Ergebnis Trinkwasserhygiene nach TrinkwV

- Thermohydraulische Messung Februar 2015
- Hyg.-Mikrobiologische Probenahme März 2015
- höchster kultureller Befund 100 KBE/100 mL (Serogruppe 1)
Ort TWW, 5. Liter, Entnahmestelle 1

Beispiel Objekt 015 – Mehrfamilienhaus - Volumenströme



Bsp. Bezeichnung:

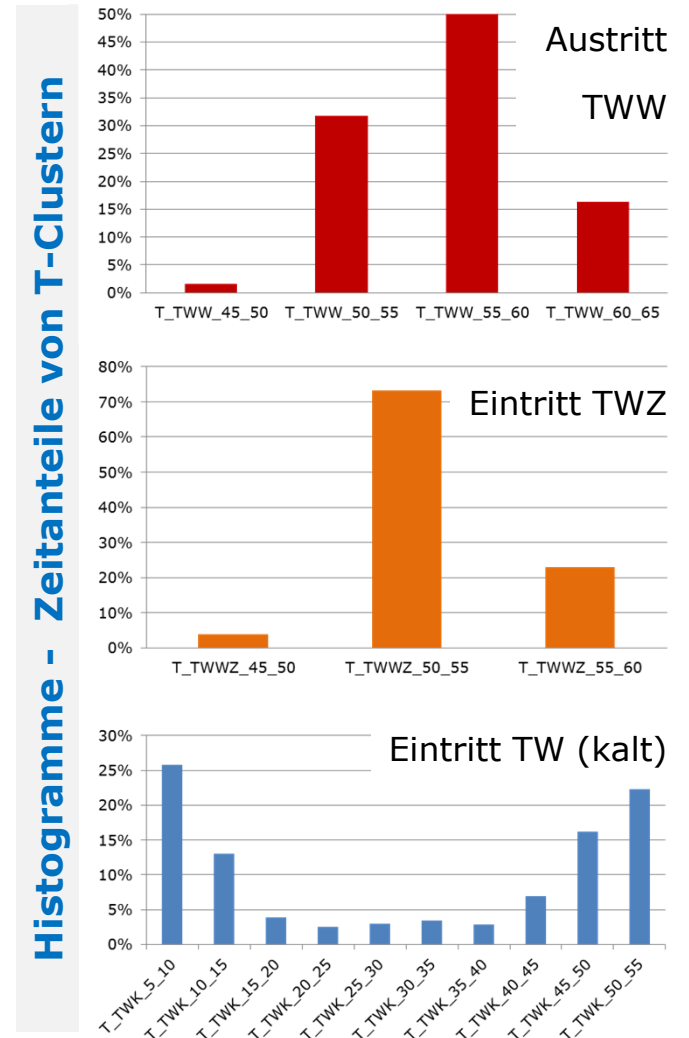
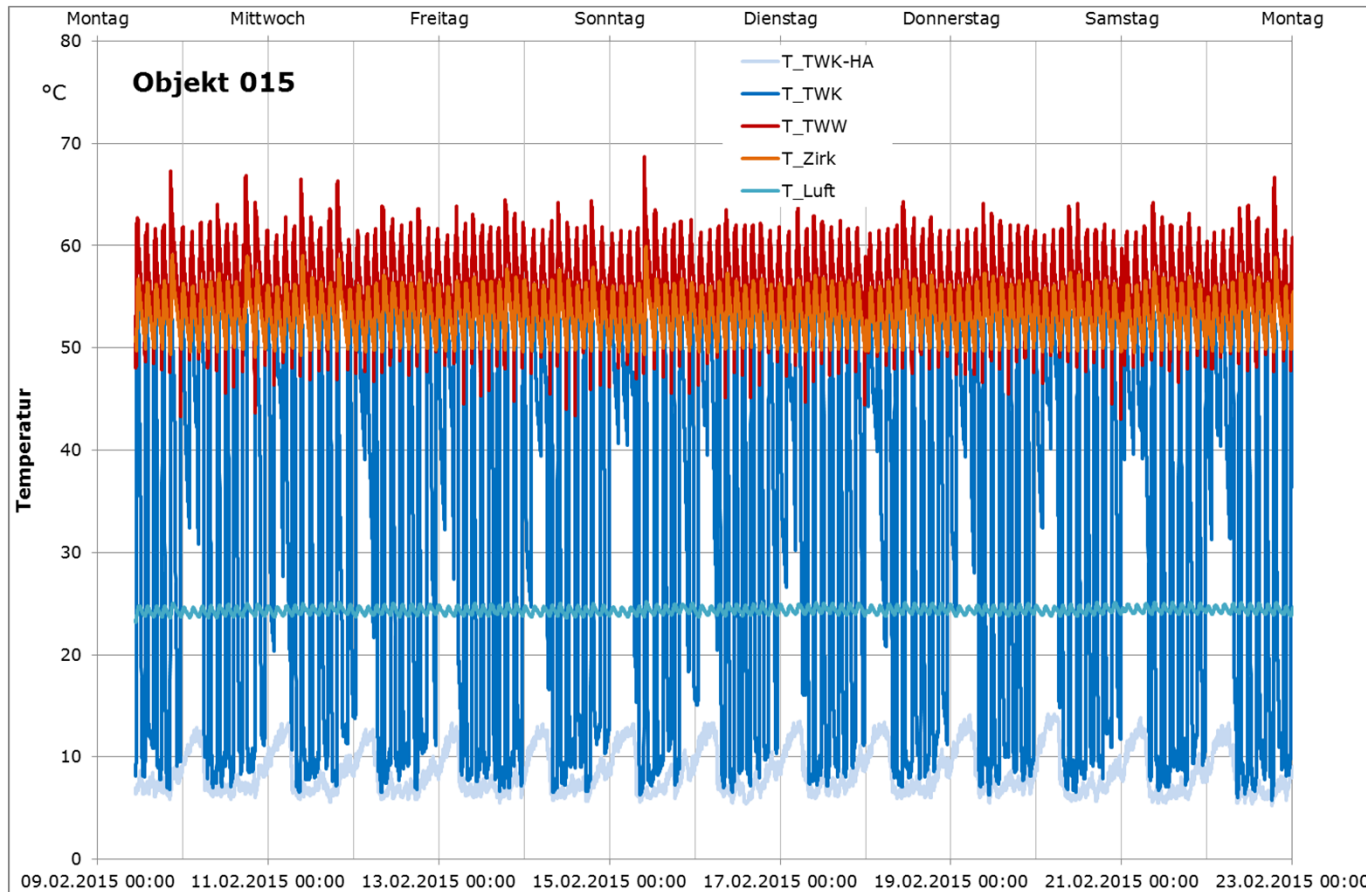
VP_Diff_0_2 = Volumenstrom im Bereich > 0 L/min und ≤ 2 L/min

Höchste Gleichzeitigkeit 32 WE
bei Annahme eines max.
Auslegungsvolumenstroms von
10 L/(min WE)

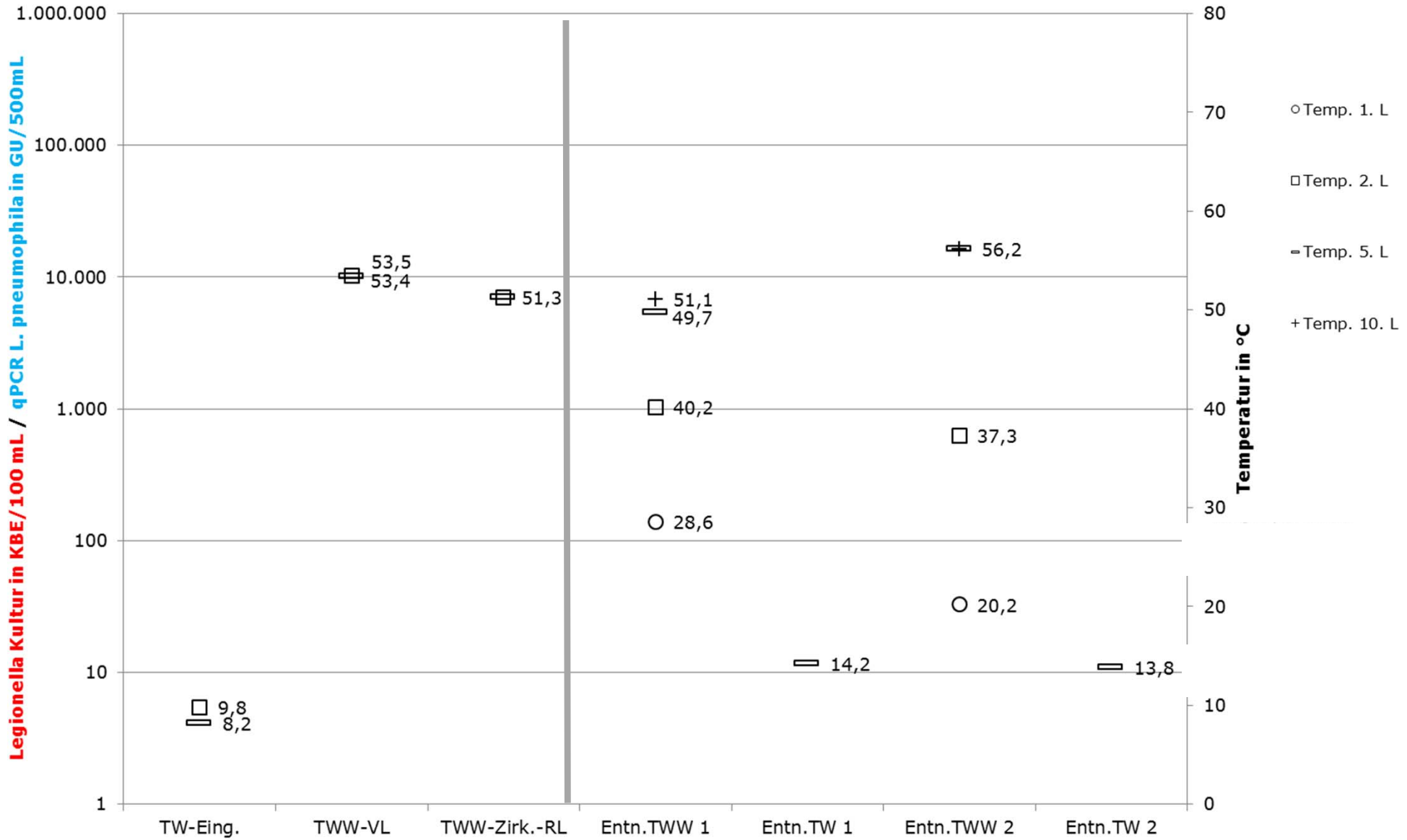
= 0,08

8 % der Wohnungen (= 2,6 WE)
entnehmen gleichzeitig 10 L/min

Beispiel Objekt 015 – Mehrfamilienhaus - Temperaturen

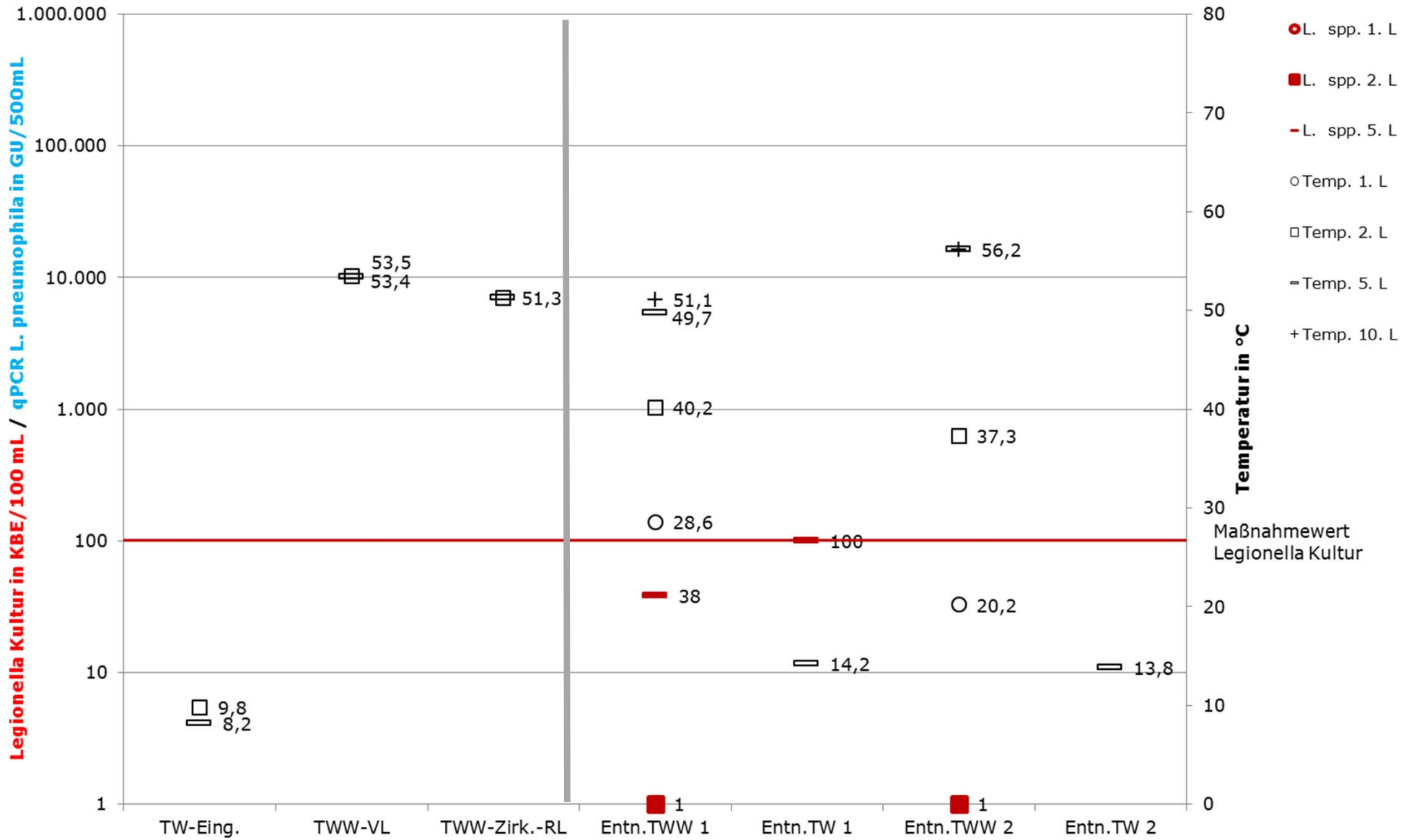


Ergebnisse Legionella-Nachweis in Objekt 015, MFH



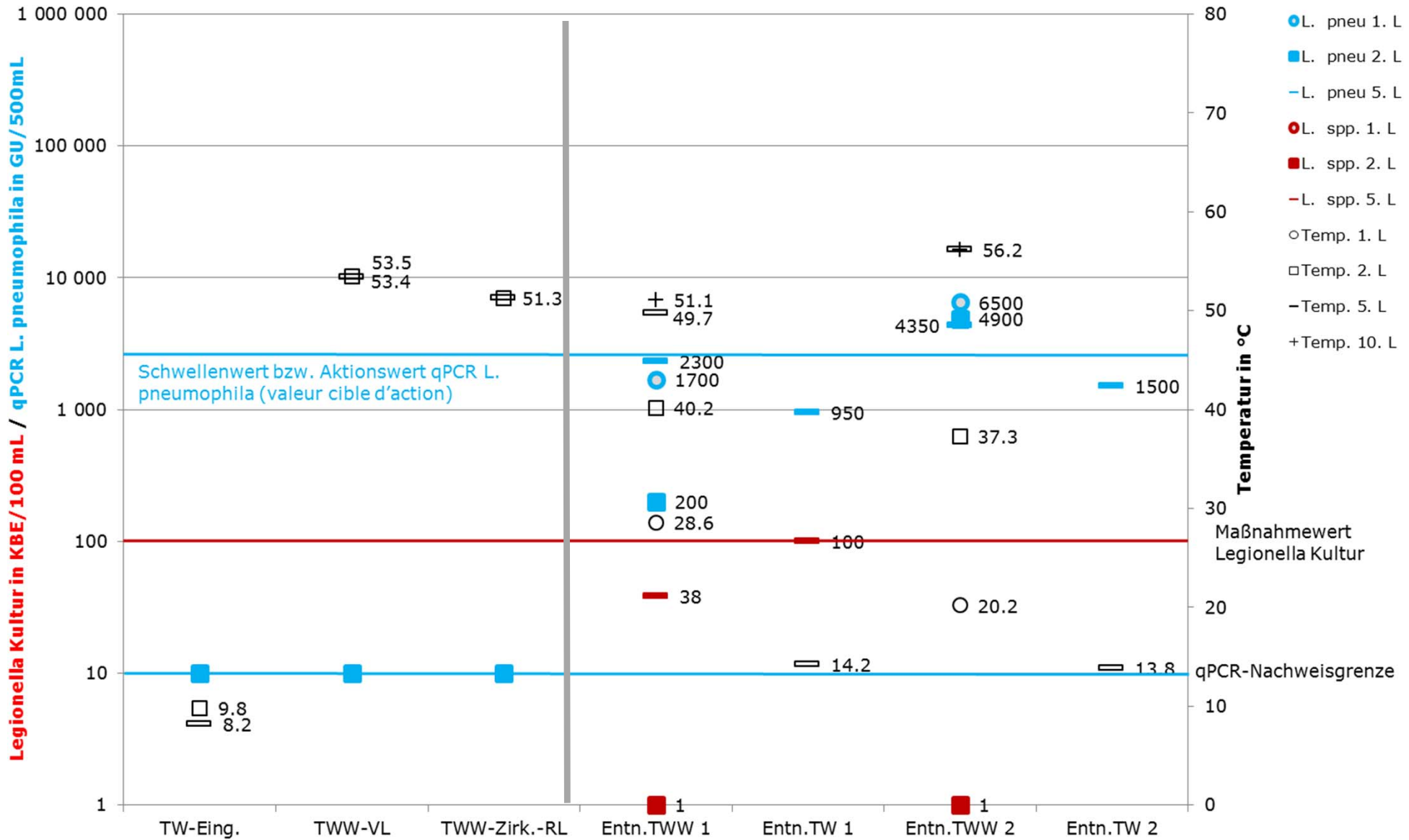
Beispiel Objekt 015 – Gesamtübersicht
hygienisch-mikrobiologische Untersuchung

Ergebnisse Legionella-Nachweis in Objekt 015, MFH



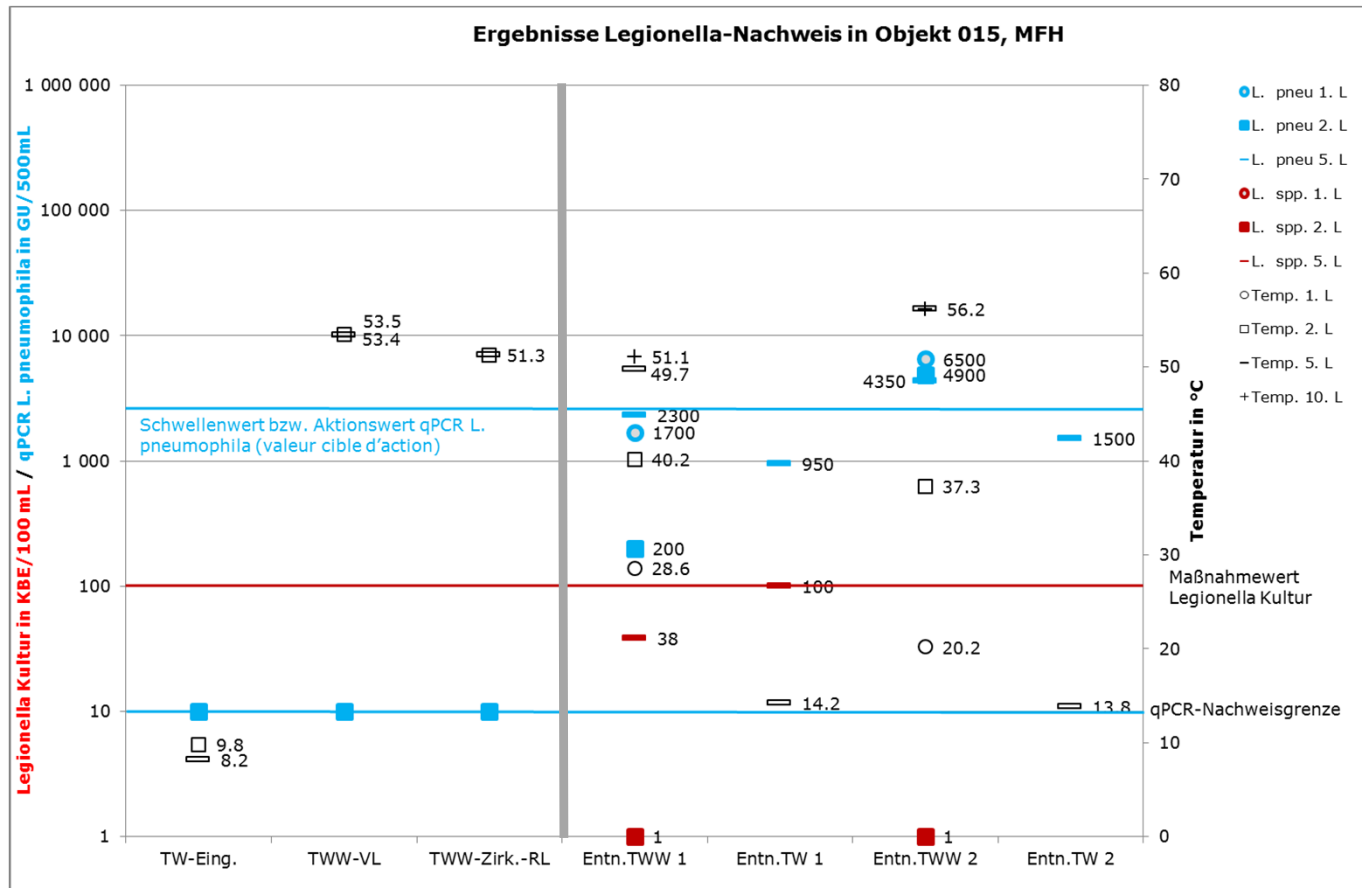
Beispiel Objekt 015 – Gesamtübersicht
hygienisch-mikrobiologische Untersuchung

Ergebnisse Legionella-Nachweis in Objekt 015, MFH



Beispiel Objekt 015 – Gesamtübersicht
hygienisch-mikrobiologische Untersuchung

Beispiel Objekt 015 – Gesamtübersicht hygienisch-mikrobiologische Untersuchung



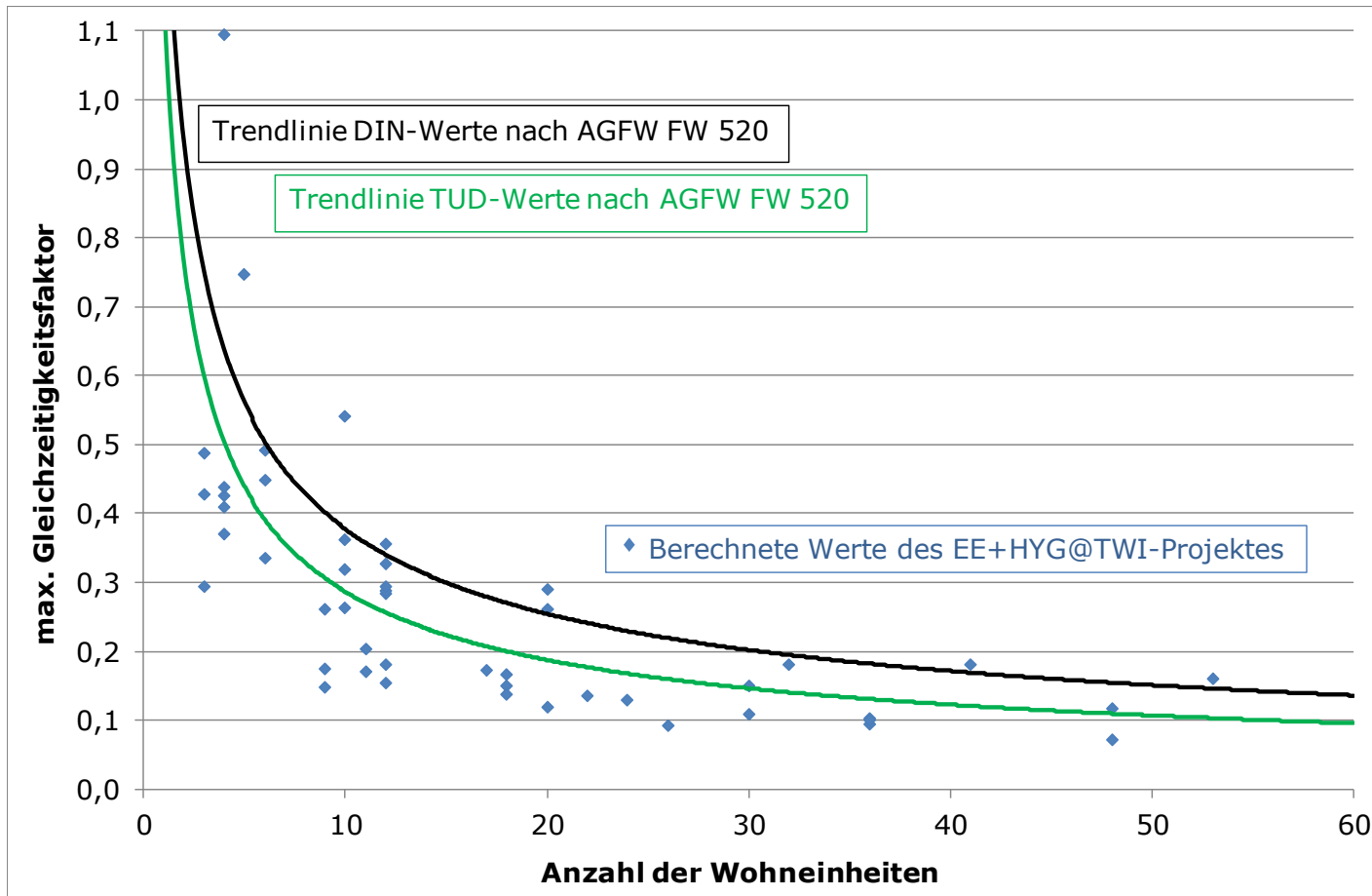
Wertung

- Maßnahmewert nach TrinkwV nicht überschritten
- Höchster kultureller *Legionella spp.*-Befund im im TWK
- qPCR überschreitet dezentral deutlich die Quantifizierungsgrenze

Fazit

- Teilzentrale Kontamination

Gleichzeitigkeit Felduntersuchungen 101 Objekte - Überblick



Fazit

Die heutigen Annahmen zur **Gleichzeitigkeit** der Entnahme von Trinkwarmwasser bei Auslegung und Sanierung einer Trinkwasser-Installation (z. B. DIN 1988-200, -300) sind für den untersuchten Gebäudebestand im Wohnungsbau als **tendenziell zu hoch** einzustufen.

These 4.6

Technikumsversuche

Versuchsstand Trinkwasserinstallation im Zentrum für Energietechnik der TU Dresden

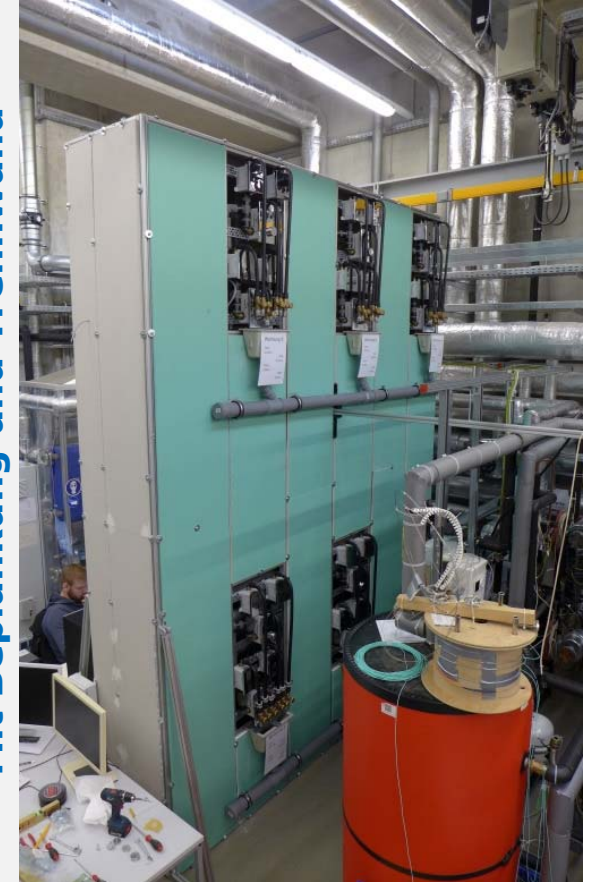
Ohne Beplankung



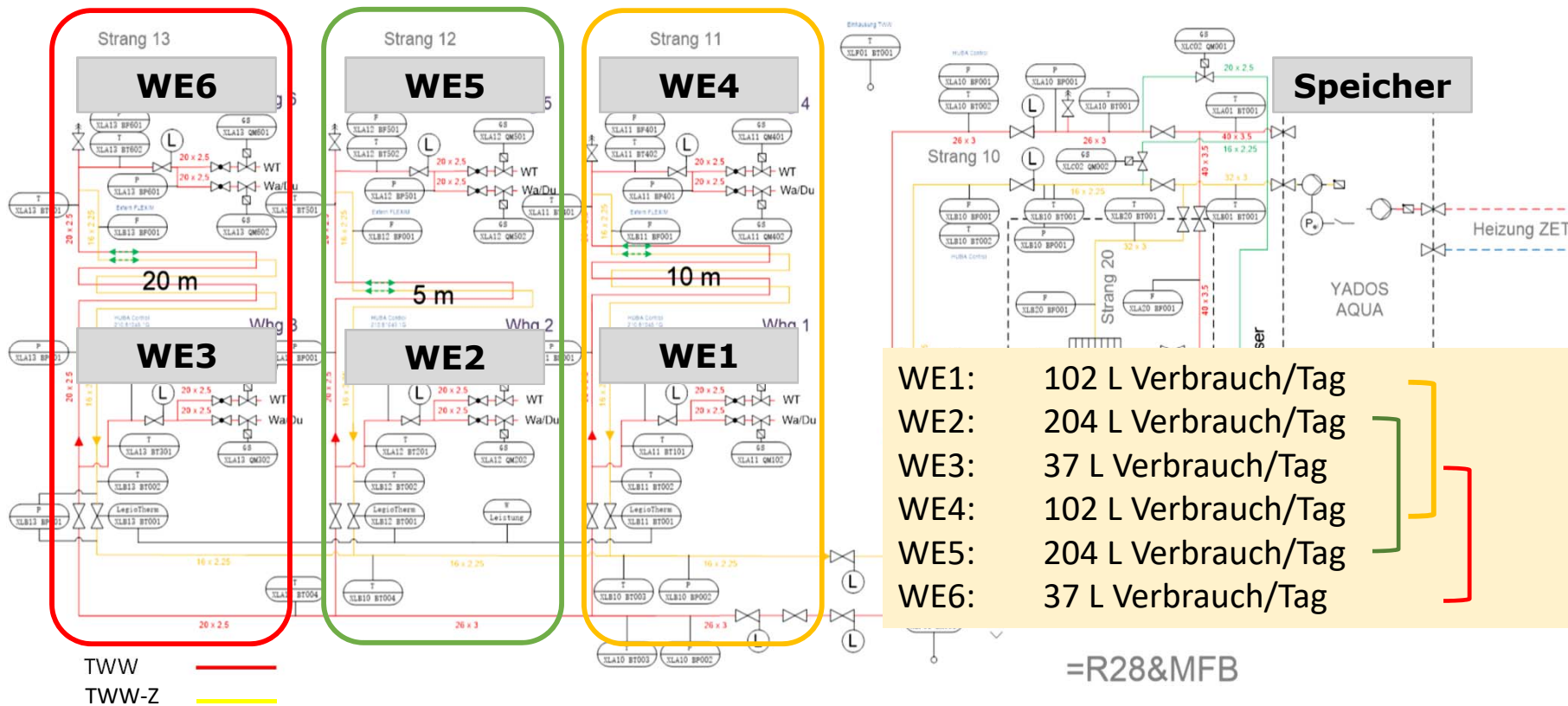
Mit Beplankung



Mit Beplankung und Trennwand



TWW-Seite der TWI-Versuchsanlage – Entnahmemengen bei 60 °C TWW



Versuchsstand Trinkwasserinstallation im Zentrum für Energietechnik der TU Dresden

- **Nachbau der TWI eines 6-Familienhauses**
Trinkwarmwasser- (TWW), Zirkulations- (TWZ) und Kaltwassernetzes (TWK)
- **6 Wohnungen**
in 2 Etagen an 3 Steigsträngen unterschiedlicher Länge (5 m, 10 m, 20 m)
- **Zapfstellen je Wohnung**
2x TWK, 2x TWW, 2x Mix (diese momentan unbenutzt)
- **eingestellte Zapfraten**
von jeweils 5,0 L/min und 10,0 L/min
- **Messdatenerfassung**
von Druck, Temperatur und Volumenstrom
- **Programmgesteuertes Fahren der EU-reference tapping cycles**
oder jedes anderen, beliebigen Profils

TWW
10 L/min

TWK
10 L/min

Mix

TWW
5 L/min

TWK
5 L/min

Mix



Versuchsstand Trinkwasserinstallation im ZET der TU Dresden

Realitätsnahe Entnahmedauer/ -volumina / -energiemengen

TWW: EU-reference tapping cycles

- 3 Typtage unterschiedlichen Verbrauchs
- typ1: 37 L, typ2: 102 L, typ3: 204 L bei 60 °C in 14,5 h
→ 9,5 h Stagnation perpher!

Umsetzung

- 3 Wohnungen (1-3): typ1, typ2, typ3 versetzt um 120 s bzw. 270 s
- 3 Wohnungen (4-6): typ1, typ2, typ3 versetzt um 10 min zu 1-3
- plausible Verteilung über das Netz
- plausible Gleichzeitigkeit

TW (kalt) Profile selbst generieren

- in vernünftiger Deckung zum EU-r.t.c.
- Gemäß Festlegung zum 3. Projekttreffen: Adaption DVGW Arbeitsblatt W 510/ erweiterte W 512-Prüfung, April 2004

Umsetzung

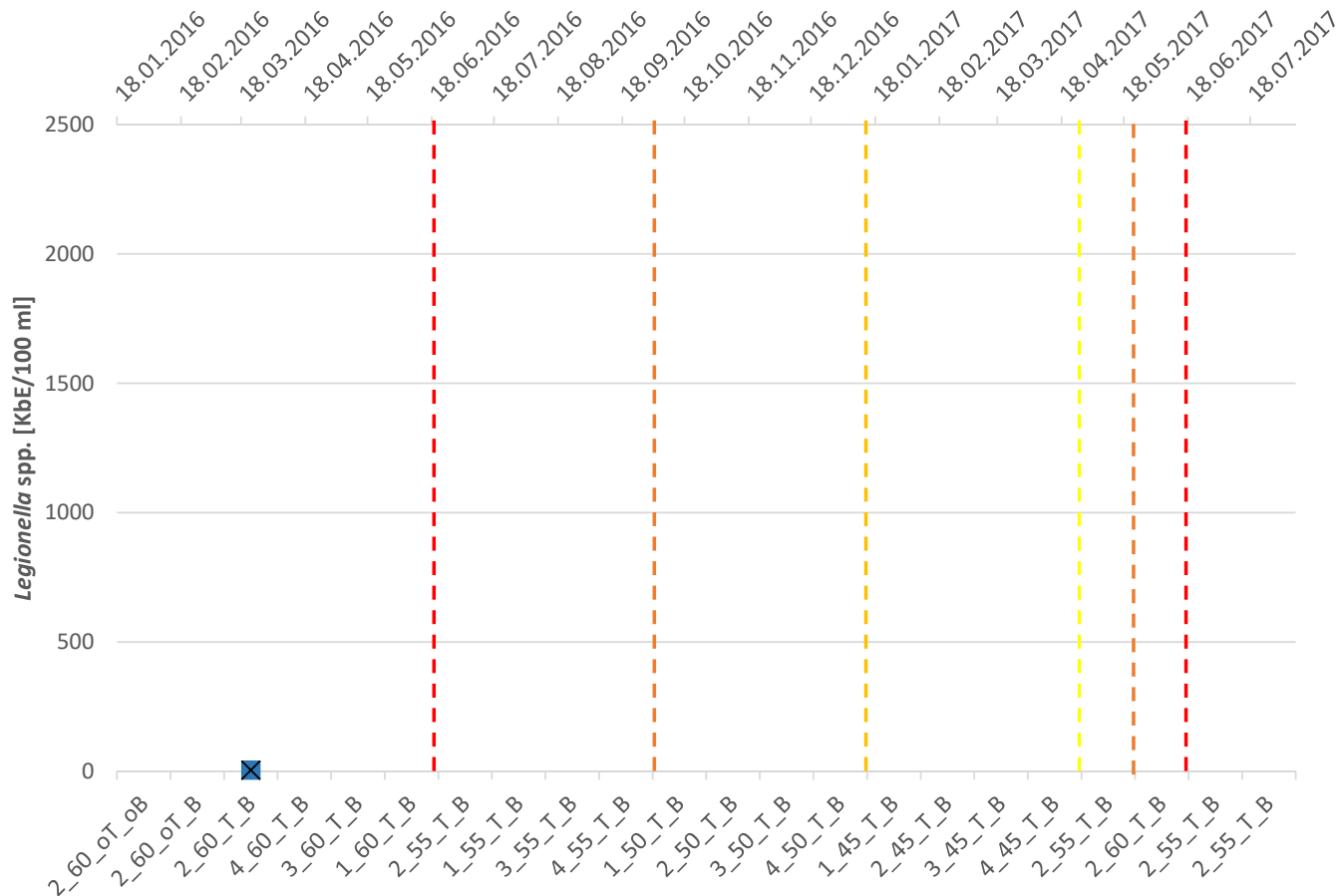
- **TWK1**: Ist das TW zur Erreichung einer Mischtemperatur von 45 °C im TWW-Entnahmefall nach - EU-reference tapping cycles
- **TWK2**: Hier werden für den übrigen TW-Verbrauch die DVGW W510-Profile niedrig und mittel genutzt sowie teilweise angepasst, wobei generell die in der DVGW enthaltenen TWW-Entnahmen entfallen.

Versuchsstand Trinkwasserinstallation im ZET der TU Dresden IV

- Was wurde im Laufe der Versuche variiert?
 - hydraulische Abgleichmethode bzw. Betrieb mit elektrischer Begleitheizung (Heizband)
 - Temperatur des TWW: beginnend mit 60 °C in Schritten zu 5 K bis 45 °C
- Kennung der Versuche:
 - A_XY_T_B
 - mit Beplankung
 - mit Trennwand
 - Temperatur TWW (60, 55, 50, 45) °C
 - Art hydraulischer Abgleich Zirkulation
 - 1 – manueller
 - 2 – thermo-elektrisch
 - 3 – thermomechanisch
 - 4 - elektr. Begleitheizband o. Zirk.

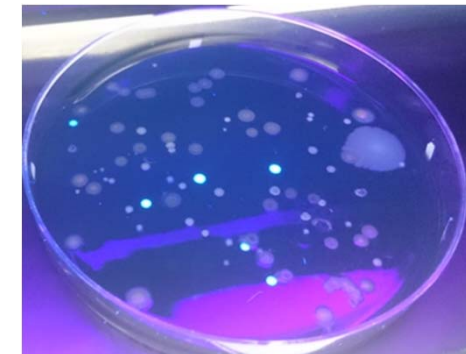
Temperatur TWW	Abgleichmethode	Zeitraum	Kennung
60 °C	1	19.05. – 06.06.2016	1_60_T_B
	2	18.03. – 04.04.2016	2_60_T_B
	3	27.04. – 17.05.2016	3_60_T_B
	4	08.04. – 25.04.2016	4_60_T_B
55 °C	1	01.07. – 18.07.2016	1_55_T_B
	2	08.06. – 27.06.2016	2_55_T_B
	3	19.07. – 08.08.2016	3_55_T_B
	4	11.08. – 29.08.2016	4_55_T_B
50 °C	1	30.08. – 15.09.2016	1_50_T_B
	2	19.09. – 10.10.2016	2_50_T_B
	3	11.10. – 01.11.2016	3_50_T_B
	4	02.11. – 21.11.2016	4_50_T_B
45 °C	1	22.11. – 14.12.2016	1_45_T_B
	2	09.01. – 30.01.2017	2_45_T_B
	3	15.12. – 09.01.2017	3_45_T_B
	4	31.01. – 20.02.2017	4_45_T_B

Ergebnisse – Kultur – Beprobung immer im worst case nach 9,5 h Stagnation



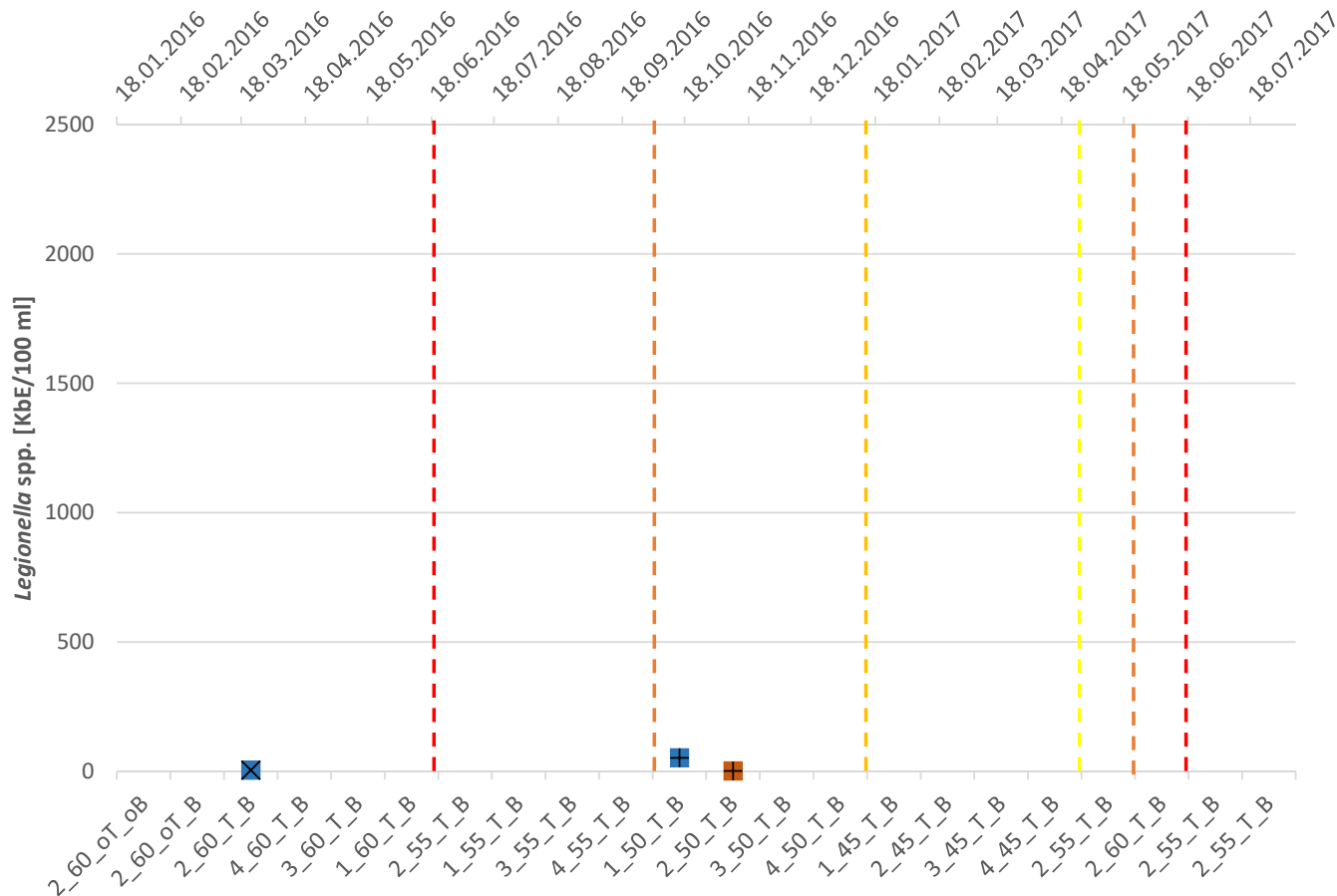
Kulturbefunde:

- 60 °C: Wenige Kolonien (5KbE/100ml) *L. anisa* in
- WE 4, 5, 6 im **TW**



Hellblau leuchtende Kolonien von *L. anisa* unter UV-Licht

Ergebnisse – Kultur sowie Biofilmbeprobung und Ergebnis Anreicherungsversuch Labor



Befunde:

- 60 °C:
 - Wenige Kolonien (5KbE/100ml) *L. anisa* in WE4-6 im **TW**
- 50 °C:
 - *L. erythra* auf BiofilmMonitor **TW** WE6 (53 KbE/cm²)
- 50 °C:
 - *L. shakespearei* im Anreicherungs-versuch (bei 37 °C) aus WE6 **TWW**

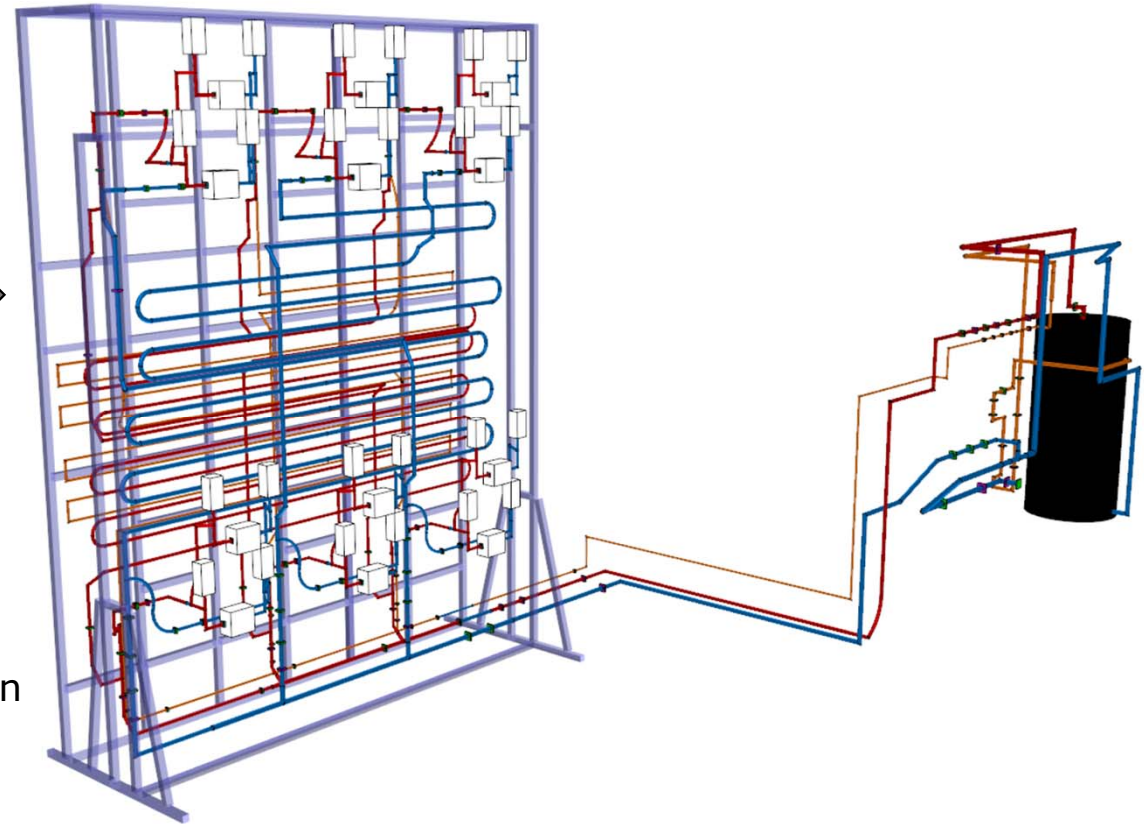
Simulationsstudie TWI

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

reale TWI am ZET

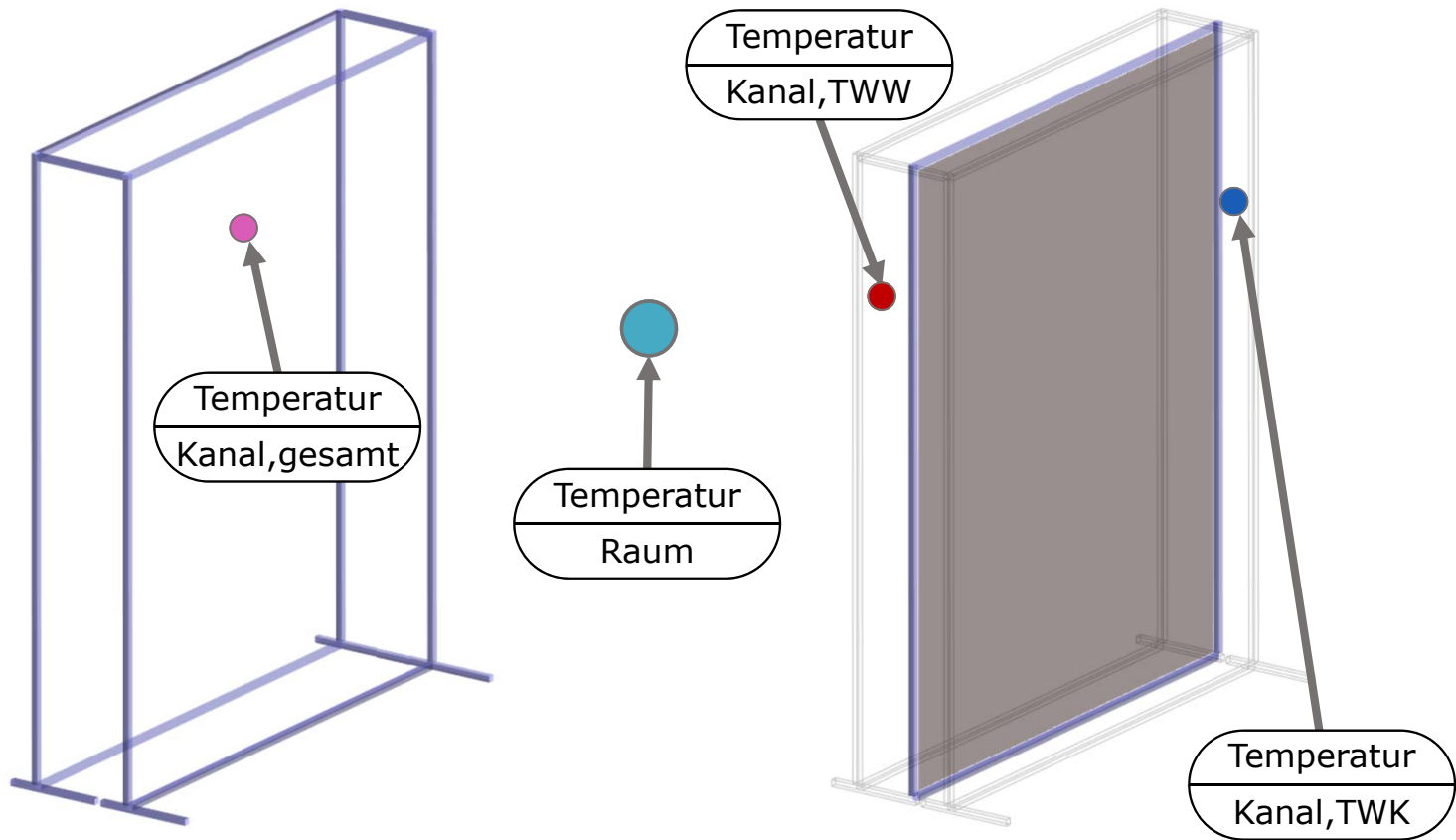


virtuelle TWI in TRNSYS-TUD



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

Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand



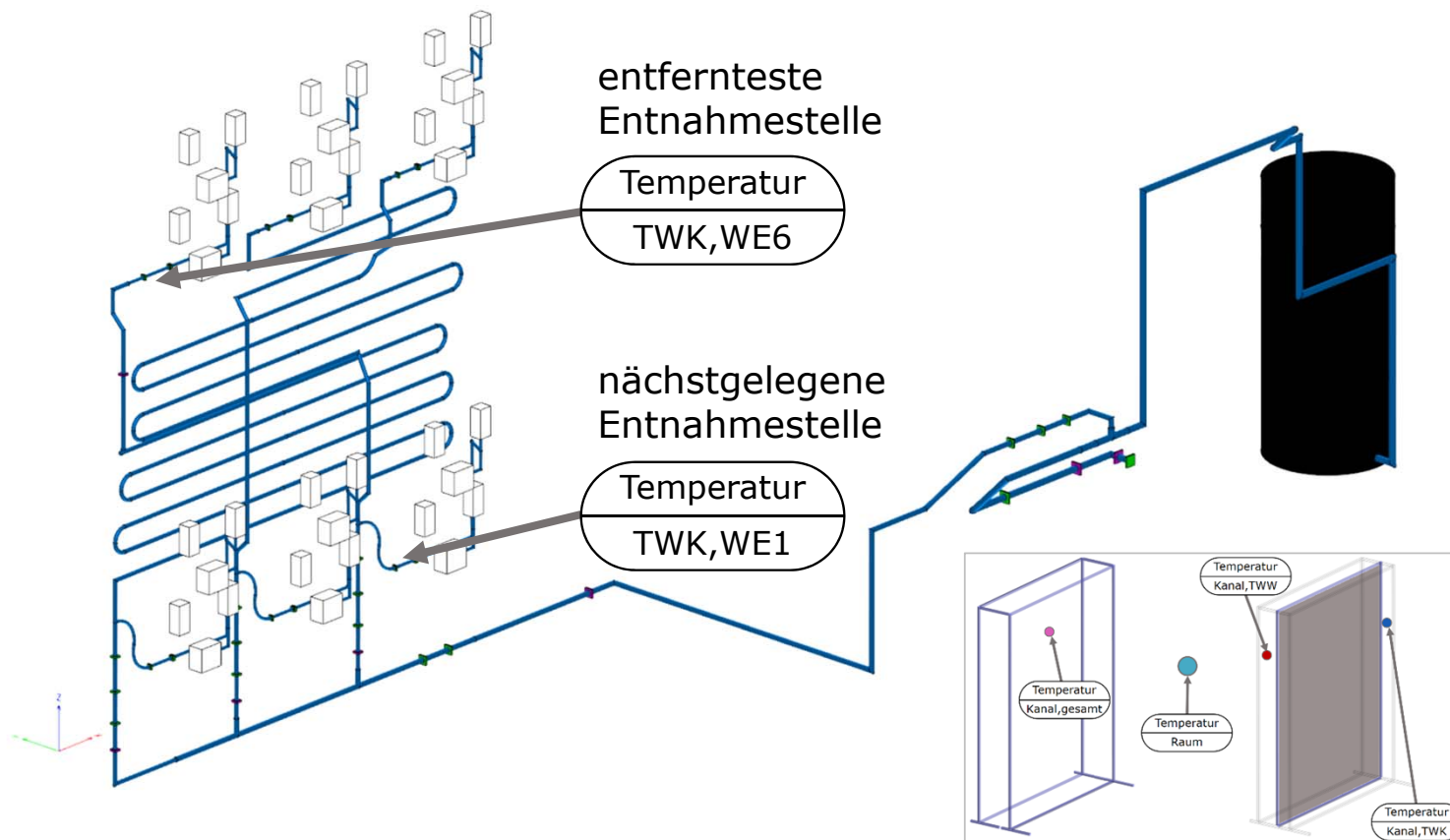
Simulationsstudie – Varianten mit besonderer Relevanz

Temperatur am Austritt Trinkwassererwärmer ϑ_{TWW}		Szenario	Temperatur am Hausanschluss $\vartheta_{TW,HA}$		Temperatur Raumluft ϑ_{Raum}	
Werte in Simulation	Bemerkung	Bemerkung	Werte in Simulation	Bemerkung	Werte in Simulation	Bemerkung
70; 60; 55; 50; 45	Variiert in der Realität wenig, ist von der Betriebsweise und nicht vom Standort abhängig.	Extremfall - Kalt	10	Variiert in der Realität und ist standortabhängig vom Jahreszeiteinfluss dominiert	17	Variiert in der Realität und ist vom Gebäudetyp, dem Nutzerverhalten und der Jahreszeit beeinflusst. Und kann in der Realität noch deutlich über 24°C liegen (Sommer)
		Durchschnitt	15		20	
		Extremfall - Warm	25		24	

Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand – Auswirkung auf Temperaturen TWK

Mittelwertvergleich ausgewählter Temperaturen ohne und mit Kanaltrennwand											
Temperatur			Kanal			Nächstgelegene Entnahmestelle			Entfernteste Entnahmestelle		
-			ohne -	mit - Trennwand		ohne -	mit -	-	ohne -	mit -	-
ϑ_{TWW}	$\vartheta_{TW,HA}$	ϑ_{Raum}	$\bar{\vartheta}_{Kanal,ges.}$	$\bar{\vartheta}_{Kanal,TWW}$	$\bar{\vartheta}_{Kanal,TWK}$	$\bar{\vartheta}_{TWK,WE1}$	$\bar{\vartheta}_{TWK,WE1}$	$\Delta\bar{\vartheta}$	$\bar{\vartheta}_{TWK,WE6}$	$\bar{\vartheta}_{TWK,WE6}$	$\Delta\bar{\vartheta}$
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

Simulationsstudie – Einfluss Kanal-Trennwand – Auswirkung auf Temperaturen TWK



Ergebnis

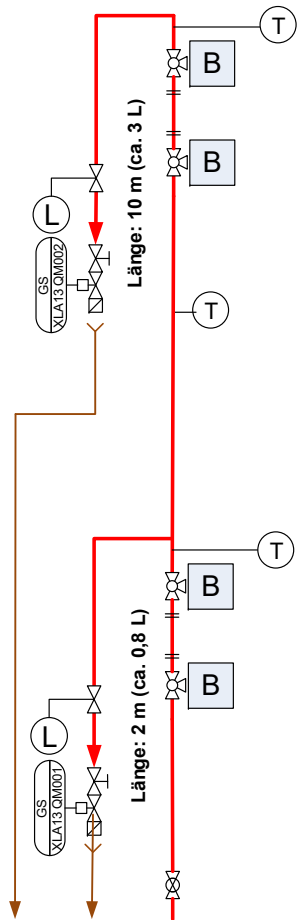
- Die Installation einer Kanaltrennwand bei identisch gewählten Randbedingungen reduziert die Aufwärmung im TWK deutlich (4-6 K)

Fazit

- Die Installation einer Kanaltrennwand ist zwingend erforderlich

Emulatorversuche endständiger, nicht zirkulierender Bereich mit künstlicher Kontamination *Legionella* spp.

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

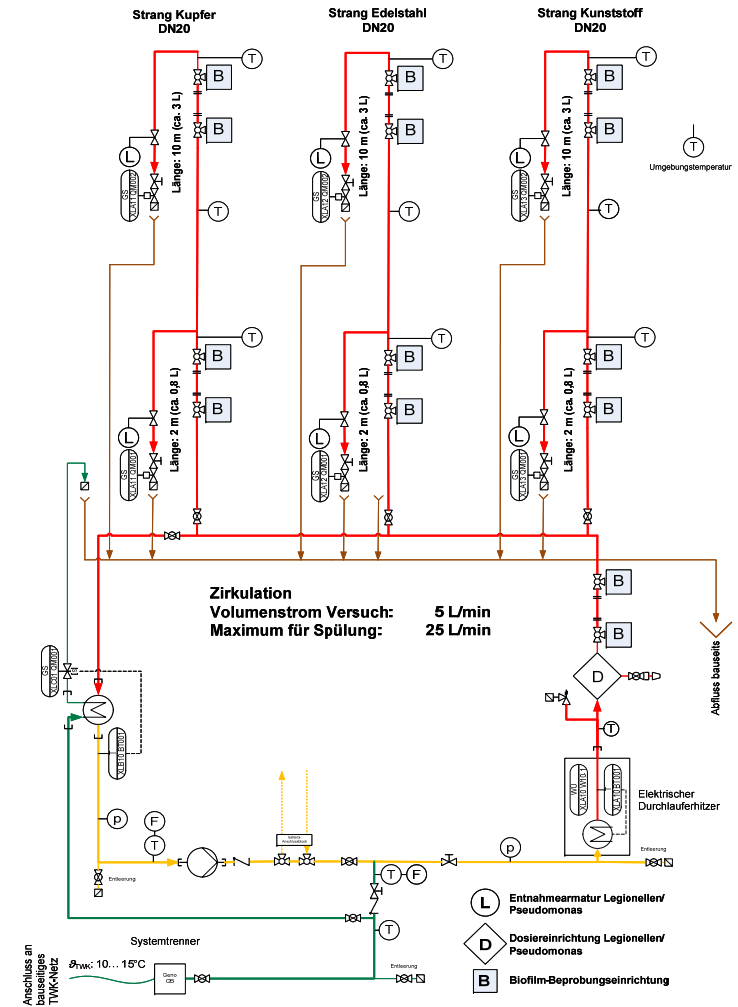
- Volumenstrom 5 L/min
- Niedrige Entnahme ETC

Variierte Parameter

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

Kontamination

- *L. pneumophila* (IMMH) → Ergebnisse ff
- *Pseudomonas aeruginosa* (IWW), aber wegen geringer CU-Gehalte keine Etablierung möglich



Emulationsmodule - © TUD-GEWV Löser-Rühling

Status:

Versuchsbetrieb mit gezielter Kontamination

- Start mit Beimpfung/
Biofilmetablerung
- Betrieb über jeweils 2
Wochen bei 45, 50, 55
und 60 °C
- Kontinuierlich Messwert-
erfassung im 2s-Takt
- Komplexe Beprobung
zum Start sowie jeweils
nach 1, 7 und 14 Tagen
- Beprobung auch hier
immer im worst case
nach 9,5 h
Entnahmepause

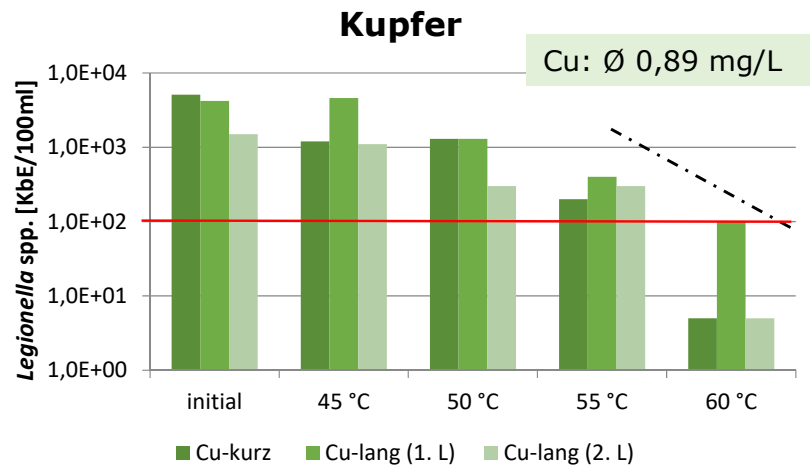
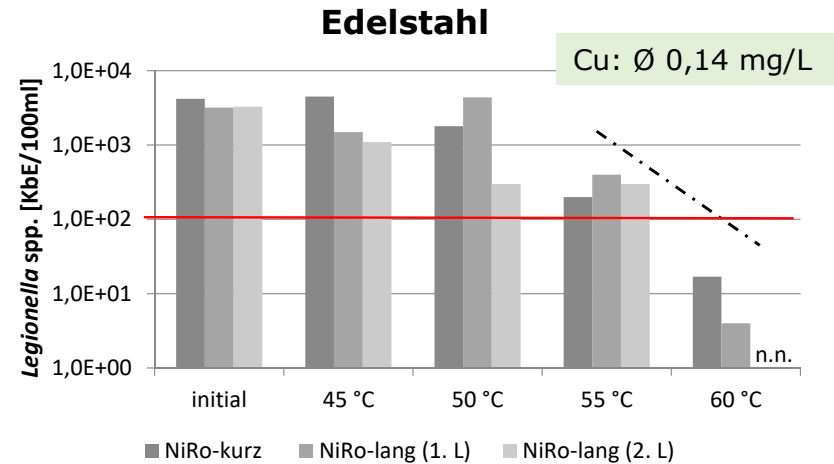
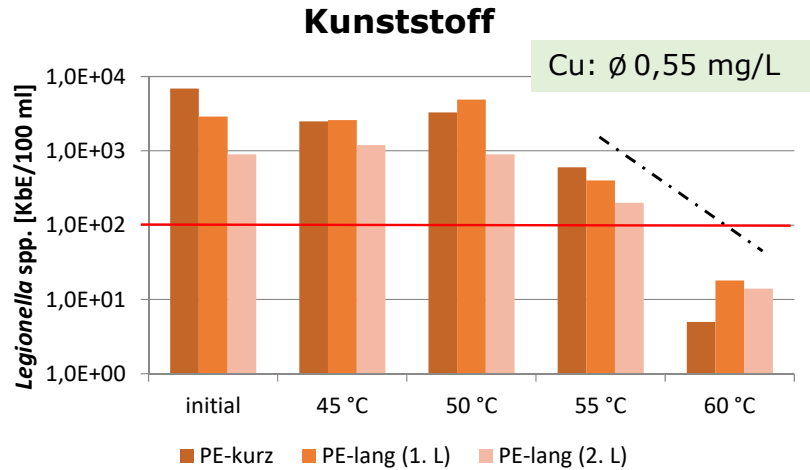


Emulationsmodule – Temperaturverteilung – Zeitanteile

Temperaturphase	Aufteilung	Zirkulation (vor Pumpe)	Zirkulation	PE kurz	PE lang Mitte	PE lang	Cu kurz	Cu lang Mitte	Cu lang	NiRo kurz	NiRo lang Mitte	NiRo lang
45 °C	<25	0,0	0,0	15,9	13,0	21,1	24,8	23,7	30,3	23,1	18,0	25,4
	≥25-45	68,7	84,9	84,0	87,0	78,9	75,2	76,3	69,7	76,8	82,0	74,6
	≥45-50	31,3	15,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	≥50-55	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	≥55-60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	≥60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50 °C	<25	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	13,6	8,1	21,5	12,8	0,0	16,1
	≥25-45	0,0	0,5	93,4	97,3	89,3	77,0	88,0	76,8	76,4	93,3	81,4
	≥45-50	68,8	82,7	6,5	2,7	0,8	9,3	3,9	1,8	10,7	6,7	2,5
	≥50-55	31,2	16,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	≥55-60	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	≥60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55 °C	<25	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,7	0,0	17,9	0,0	0,0	6,2
	≥25-45	0,0	0,0	77,9	86,9	93,3	78,0	88,0	76,9	77,1	84,4	87,4
	≥45-50	0,0	0,7	17,6	11,4	3,4	14,2	9,7	4,3	14,2	12,1	4,8
	≥50-55	65,5	78,5	4,5	1,6	0,5	7,2	2,3	1,0	8,7	3,5	1,7
	≥55-60	34,5	20,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	≥60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60 °C	<25	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	15,7	0,0	0,0	12,1
	≥25-45	0,0	0,0	67,1	77,9	82,4	70,6	82,0	75,5	70,1	76,7	78,3
	≥45-50	0,0	0,0	17,4	15,2	5,1	12,1	11,2	4,6	11,9	14,1	4,8
	≥50-55	0,0	0,7	12,5	5,9	1,7	11,7	5,6	3,4	11,6	7,1	3,8
	≥55-60	62,2	73,7	3,0	0,9	0,1	5,6	1,2	0,7	6,3	2,1	1,0
	≥60	37,8	25,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

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

Abhängigkeit von Temperatur und Material bei gezielt eingebrachter Kontamination

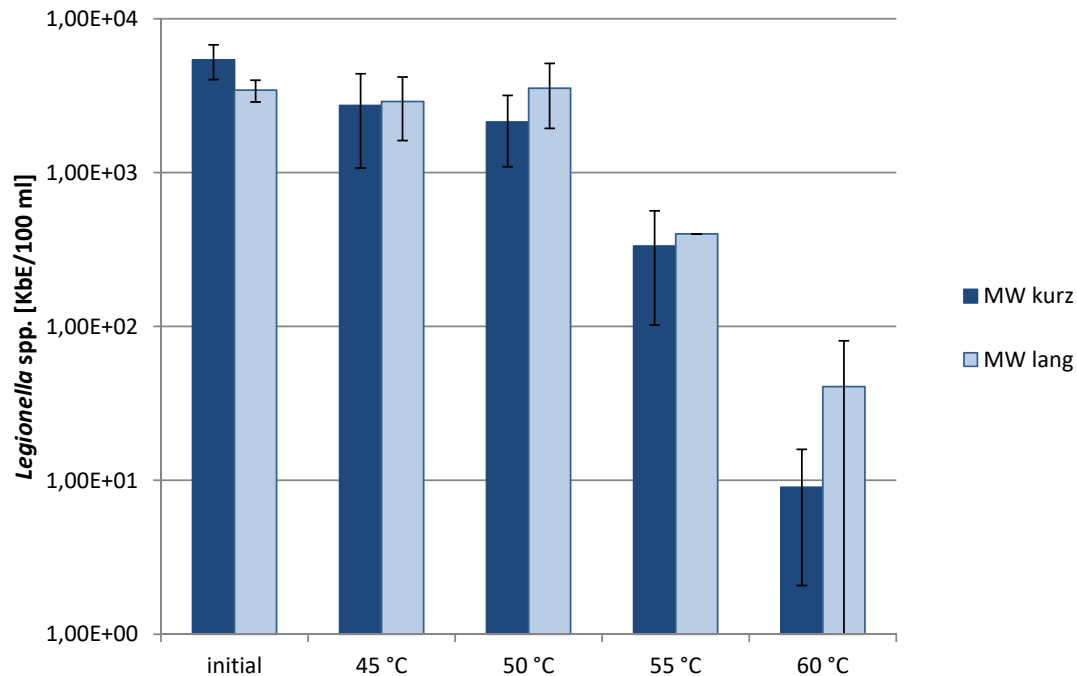


Fazit:

- Einfluss von Temperatur erkennbar (ab 55 °C eindeutig)
- Kein Einfluss von Material
- Kein Eintrag von Cu aus TW-System
 - Cu-Werte in Strängen > Cu-Wert im TW-Eingang (\varnothing 0,07 mg/L)

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

Abhängigkeit von Temperatur und Material bei gezielt eingebrachter Kontamination



Wertung

- Temperaturabhängige Abnahme der Koloniezahl in allen Strängen (kurz/lang)

Fazit

- Effiziente Wirkung von hohen Temperaturen (≥ 55 °C) in den Strängen (kurz/lang)
- Kein eindeutiger Einfluss der Stranglänge

Ausgewählte Thesen des Projektes

Ausgewählte Thesen mit Relevanz für Regelwerk

Das Regelwerk Trinkwasser entspricht bzgl. der **Temperaturen des Trinkwassers (kalt)** nicht der Realität. Zur Auslegung der TWI sollte zukünftig als mittlere Temperatur für das Trinkwasser (kalt) **15 °C statt bisher 10 °C** angenommen werden. *(Felduntersuchungen, Technikumsversuche)*

Die **Qualität der Wärmedämmung der Rohrleitungen und Armaturen** der Trinkwasser-Installation beeinflusst bei den in der Praxis heute entgegen den a.a.R.d.T. noch oft vorzufindenden parallelen Führungen der TWW und der TWK-Installation in einem gemeinsamen Schacht signifikant die Aufwärmung des Trinkwassers (kalt) aus der Trinkwarmwasser-Installation bis zum Teil deutlich über 25 °C. *(Simulation, Technikumsversuche)*

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)*

Ausgewählte Thesen mit Relevanz für Regelwerk

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)*

In einer nach den a.a.R.d.T. gebauten und betriebenen TWI ist die Legionellenkonzentration nicht von der Art der eingesetzten Technik zur Erzielung des hydraulischen Zirkulationsabgleichs abhängig. *(Technikumsversuche)*

Es gibt keinen statistischen Zusammenhang zwischen der Einhaltung der sogenannten 5-K-Regel z. B. nach DVGW W 551 und Legionellen-Kontamination. *(Felduntersuchungen)*

Die **Wartung der TWI (z. B. nach VDI 6023) ist wichtig zur Vermeidung von Legionellen-Kontaminationen. Ein installiertes Trinkwarmwasser-Zirkulationssystem muss auch aktiv betrieben werden, da es sonst zu einer Erhöhung des Kontaminationsrisikos kommt.** *(Felduntersuchungen)*

Ausgewählte Thesen mit Relevanz für Regelwerk

Die Unternehmer oder sonstigen Inhaber einer Anlage (UsI) und auch die von Ihnen mit dem Betrieb und der Wartung Beauftragten verfügen oft nicht zuverlässig über ausreichende Informationen zu ihrer Trinkwasser-Installation und deren Betriebsweise. Es besteht ein hoher Aufklärungs- und Schulungsbedarf der Betreiber hinsichtlich der Vorgaben der TrinkwV einerseits und ihrer eigenen Anlagen andererseits. Für Neuanlagen und umfassende Sanierungen muss bei der Übergabe der Anlage eine entsprechende Dokumentation inkl. einer mikrobiologischen Beprobung zwingend abgefordert werden (siehe z. B. VDI 6023). (Felduntersuchungen)

Molekularbiologische und durchflusszytometrische Methoden können das etablierte und nach TrinkwV geforderte Kultivierungsverfahren bei der Überwachung von TWI hinsichtlich Legionellen derzeit unterstützen, aber nicht ersetzen. (Felduntersuchungen, Emulatorversuche und Laborexperimente)

Die Zirkulationsstranglänge (Länge der TWW- und der Zirkulationsleitung) und das Entnahmeverhalten beeinflussen das Legionellenvorkommen. Periphere Probenahmestellen (PNS) mit großen Zirkulationsstranglängen sowie PNS mit geringem Verbrauch sind häufiger und stärker mit Legionellen kontaminiert. Solche PNS erlauben mit höherer Sicherheit die Erkennung von Legionellen-Kontaminationen in der TWI. (Technikumsversuche)

Ausgewählte Thesen mit Relevanz für Regelwerk

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)*

An **dezentralen Entnahmestellen ist der 2. Liter nicht geeignet**, sicher eine Probe aus dem Zirkulationssystem zu entnehmen und die Temperaturverteilung in der Zirkulation zu beurteilen. Für eine **orientierende Untersuchung** nach TrinkwV zur **systemischen Beurteilung** sollte daher dezentral wieder der 5. Liter beprobt werden. *(Felduntersuchungen)*

Der 2. Liter der Probenahme an dezentralen Stellen ist geeignet, dezentrale Kontaminationen zu erfassen und deshalb für **weiterführende Untersuchungen** gut geeignet. *(Felduntersuchungen)*

Ausgewählte Thesen mit Relevanz für Regelwerk

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 Maßnahmewertes) 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)*

Wichtige Anregung aus dem Projekt heraus.

Generell ist der altbekannte Grundsatz zu beachten **“Wasser muss fließen“**.

Das heißt: eine noch so gut geplante, gebaute und systemisch korrekt betriebene Trinkwasser-Installation wird zur trinkwasserhygienischen Problemanlage, wenn eine oder mehrere Entnahmestellen selten oder nie benutzt werden.

In den Regelwerken ist zwar der Rückbau dieser Abschnitte vorgesehen und im Bereich des Leerstandes können Spülpläne umgesetzt werden.

Aber was ist mit dem vermieteten Bereich? Könnte hier ein aktenkundiger Hinweis bei Übergabe der Wohnung hilfreich sein, der auf das Ablaufen weniger Liter vor Nutzung nach den täglichen Phasen der Nichtnutzung und auf kräftiges Spülen nach längerer Abwesenheit hinweist und zur Mitwirkungspflicht erhebt?

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 Dr. med. Christian Lück
T.: +49 (0) 351 - 463 3 2375 +49 (0) 351 - 468 1 6850

Verantwortliche Datenbank

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

Projekt- E-Mail und Hotline

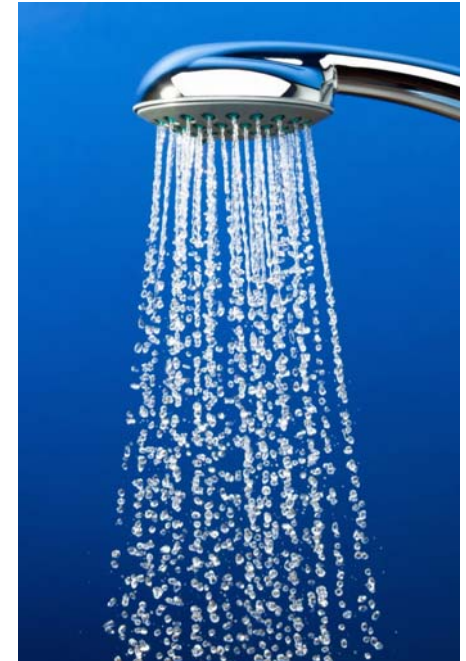
EE_HYG_at_TWI@mailbox.tu-dresden.de

Downloadbereich

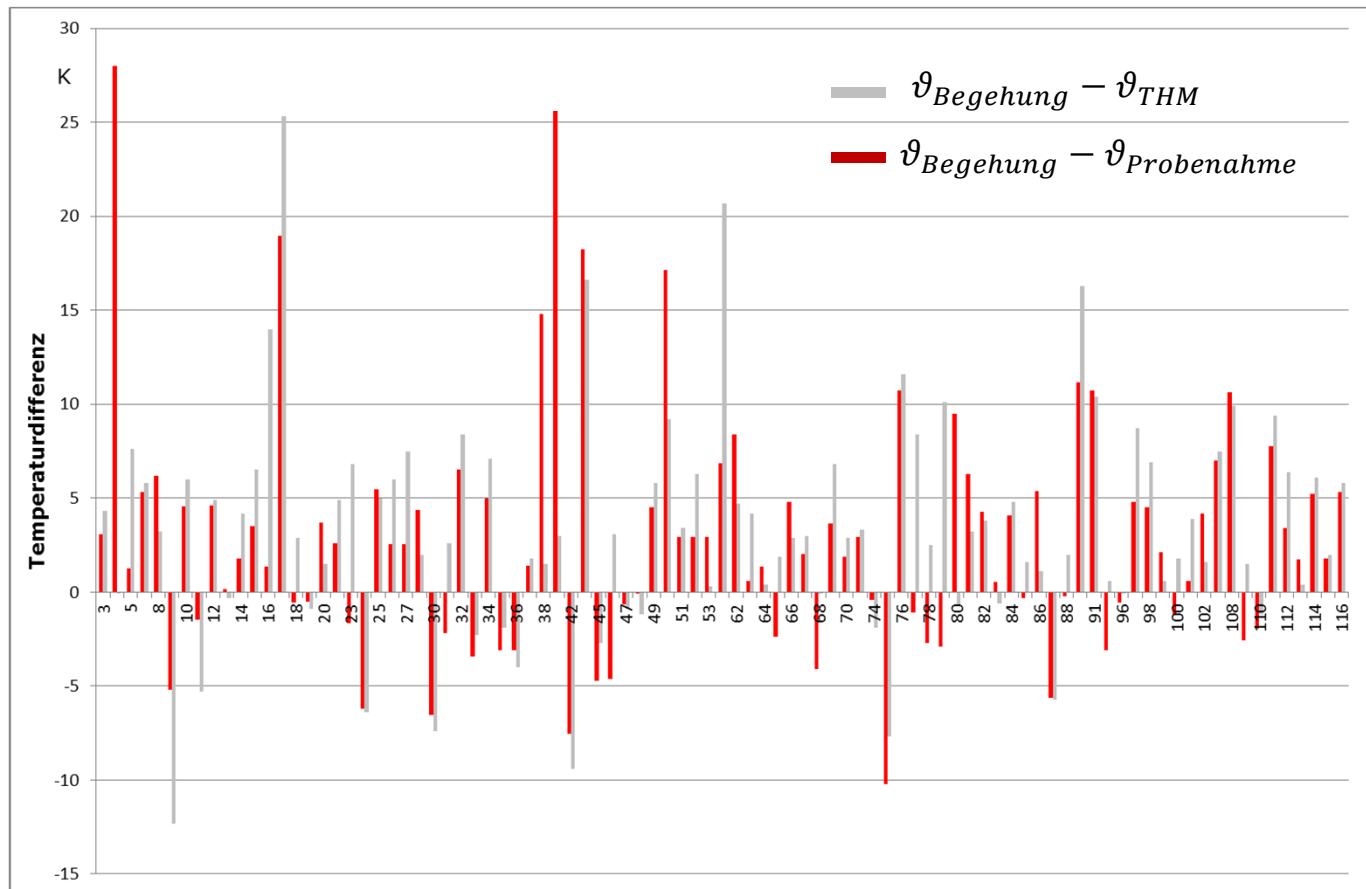
Stichwort EE+HYG@TWI

oder direkt

https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/forschung/forschungsprojekte/eneff_waerme_ee_hyg_twi



Vergleich der Temperaturangaben TWW am Austritt TWE Betreiberangaben Begehung $\vartheta_{\text{Begehung}}$, THM ϑ_{THM} und Probenahme $\vartheta_{\text{Probenahme}}$



Wertung

- im statistischen Mittel über alle Objekte weichen zwar die Temperaturangaben der Betreiber kaum von THM ab
- jedoch starke Schwankungen in einzelnen Objekten

Fazit

- Kenntnisse der Betreiber über TWE nicht ausreichend → hoher Aufklärungs- und Schulungsbedarf

Beispiel Objekt 015 – Mehrfamilienhaus – Temperaturen THM über 14 Tage in °C

Alle Temperaturen des Messzeitraums

	T_TWW	T_TWWZ	T_TWK
Min	43,0	49,1	5,8
Max	68,1	60,0	55,7
Mittelwert	56,7	53,2	30,4
Median	56,5	53,0	32,9

Temperaturen bei Nichtentnahme

- Anteil ohne Entnahme: 30,5 %

	T_TWW	T_TWWZ
Min	44,5	49,1
Max	68,6	60,0
Mittelwert	56,9	53,7
Median	56,9	53,7

TWW-Temperaturwerte 08 – 18 Uhr

	T_TWW
Min	43,4
Max	68,7
Mittelwert	56,9

Fazit für Beispielobjekt

- geringe Unterschiede der Temperaturen über gesamten Messbereich, Zeiten der Nichtentnahme und Temperaturen im Zeitbereich der Probenahme