

Ultrafiltration als Element der Energieeffizienz in der Trinkwasserhygiene



**Grundlagen, ausgewählte Erkenntnisse und
Schlussfolgerungen zum Einsatz von
Ultrafiltrationsanlagen in der
Trinkwasserinstallation**

Grundlagen, ausgewählte Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zum Einsatz von Ultrafiltrationsanlagen in der Trinkwasserinstallation¹



Zum EnOB-Verbundvorhaben:

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

FKZ: 03ET1617

Akronym: ULTRA-F

Koordination: Dr.-Ing. Karin Rühling

Autoren:

Hippelein, M.

Christian Albrechts Universität Kiel, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein - Campus Kiel, Institut für Infektionsmedizin, Institut für Krankenhaus- und Umwelthygiene

Rühling, K.; Rothmann, R.; Hoppe, S.

Technische Universität Dresden, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Wricke, B.; Rybicki, M.; Petzoldt, H.; Korth, A.

DVGW-Technologiezentrum Wasser Dresden

Kistemann, T.; Zacharias, N.

Universitätsklinikum Bonn, Institut für Hygiene und Public Health

Bendinger, B.; Nahrstedt, A.; Meyer, B.; Nocker, A.; Pannekens, M.

IWW Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

Petzold, M.

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der Technischen Universität Dresden, Institut für Medizinische Mikrobiologie und Virologie

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autorinnen und Autoren.

15. Mai 2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



¹ Jede auszugsweise Vervielfältigung oder Zitierung bedarf der schriftlichen Genehmigung durch das ULTRA-F-Konsortium

Neben den Autoren haben an der Erarbeitung der Ergebnisse mitgewirkt:

Kobert, P.; Löser, J.; Unger, T.

Technische Universität Dresden, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Christiansen, B.; Fickenscher, H.

Christian Albrechts Universität Kiel, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein - Campus Kiel, Institut für Infektionsmedizin, Institut für Krankenhaus- und Umwelthygiene

Lüchtefeld, C.; Müller, H.

Universitätsklinikum Bonn, Institut für Hygiene und Public Health

Schröter, A.; Angermann, J.

DVGW-Technologiezentrum Wasser Dresden

Freier, L.

IWW Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

Koshkolda, T.; Lück, C.; Wünsche, S.

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der Technischen Universität Dresden, Institut für Medizinische Mikrobiologie und Virologie

Danksagung

Das Projekt Ultra-F wurde maßgeblich vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Das Projekt wurde weiterhin finanziell unterstützt von: DVGW e.V. Wasserwirtschaft, -güte und -verwendung, Geberit International AG, Georg Fischer JRG AG, Gebr. Kemper GmbH + Co. KG Metallwerke, Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH, GTS Green Technology Solutions GmbH, Hans Sasserath GmbH & Co. KG, Kebos Hygienic Solutions GmbH, Seccua GmbH, Solvis GmbH, Viega Technology GmbH & Co. KG.

Das gesamte Team des Forschungsprojektes ULTRA-F bedankt sich auch für die Begleitung insbesondere bei den Verantwortlichen des Projektträgers Jülich und die fachliche Mitwirkung des Wissenschaftlichen Beirats: Herrn Bechem, Frau Dr. Förster, Herrn Hentschel, Herrn Dr. Suchenwirth und Frau Wippermann.

Wir bedanken uns auch bei den Labormitarbeitenden, Probenehmenden, den Betreibern der Objekte, Mietern, Haustechnikern, den Projektverantwortlichen und den zuständigen Mitarbeitenden in den Gesundheitsämtern.

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Grundfunktionen der Ultrafiltrationstechnik.....	1
3	Grundanforderungen an die TWI vor Einsatz der UF-Technologie in Modellprojekten mit dem Ziel einer Absenkung der TWW-Temperatur	3
4	Grundlagen und Randbedingungen für die Vermehrung von Legionellen in der TWI	4
5	Wirkung der UF- und AF-Technologie in der TWI	5
5.1	UF als Barriere oder Senke	5
5.2	Wirkung als mikrobielle Barriere	5
5.3	Rückhalt von Nährstoffen	5
5.4	Besonderheiten Adsorptionsanlagen.....	6
6	Ergebnisse aus den Feldobjekten.....	6
6.1	Untersuchungsumfang.....	6
6.1.1	Mikrobiologische Untersuchungen	6
6.1.2	Thermohydraulische Untersuchungen, Trübungs- und Druckmessungen.....	7
6.2	Versuchsablauf	7
6.3	Ergebnisse der ULTRA-F Feldobjekte.....	8
6.3.1	Überblick Feldobjekte und ausgewählte Resultate.....	8
6.3.2	Ultrafiltration im Trinkwasser kalt nach dem Hauswasserzähler (UF1).....	11
6.3.3	Ultrafiltration im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF3)	12
6.3.4	Ultrafiltration im Trinkwasser (kalt) und im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF1 und UF3).....	12
6.3.5	Adsorptionsfiltration im TWW am Austritt des Trinkwassererwärmers (AF5)	12
6.4	Assoziierte Untersuchungen: UF3 in Neuinstallationen.....	13
7	Weitere trinkwasserhygienische Ergebnisse des Projektes.....	14
7.1	Legionellenzytometrie	14
7.2	Bewertung kultivierungsunabhängiger Analyseparameter	15
7.3	Wirkung einer UF-Anlage auf die Gesamtzellzahlen in der TWI.....	15
7.4	Temperaturabsenkung des TWW ohne Ultrafiltration	16
7.5	Wiederanheben der TWW-Temperatur nach Auftreten einer Legionellenkontamination.....	17
8	Energetische Wirkung einer Temperaturreduktion im TWW	17
8.1	Voraussetzung einer TWW-Temperaturabsenkung ohne Ultrafiltration.....	17

8.2	Ergebnisse der Messungen in den ULTRA-F Feldobjekten.....	18
9	Schlussfolgerungen	19
9.1	Trinkwasserhygiene bei Temperaturabsenkung.....	19
9.2	Risikobewertung.....	21
9.3	Anforderungen an UF-Anlagen und Adsorber	21
9.4	Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit.....	24
10	Empfehlungen für Normen und Regelwerke.....	24
10.1	Anpassung der DVGW-Rahmenbedingungen	24
10.2	<i>Legionella</i> non-pneumophila an peripheren Entnahmestellen	24
10.3	Umsetzung der Trinkwasserverordnung.....	25
11	Publikationen aus dem ULTRA-F-Projekt.....	26
	Ausgewählte Begriffsdefinitionen - Glossar	27

1 Einleitung

Ziel des Projektes ULTRA-F (2018-2023) war die ganzheitliche und systematische Untersuchung des Einsatzes von ausgewählten Ultrafiltrationsanlagen (UF-Anlagen) in Trinkwasserinstallationen (TWI) im Labor, im Technikum sowie im Feldversuch mit dem Ziel des Nachweises

- der Wirksamkeit von UF-Anlagen hinsichtlich der Sicherung eines hygienisch einwandfreien Betriebes von TWI bei abgesenkten Trinkwarmwasser (TWW)-Temperaturen sowie
- der primärenergetischen Wirkungen und der Effekte bezüglich CO₂-Emissionsminderung.

Aus hygienisch-mikrobiologischer Sicht war die Wirkung von UF-Anlagen auf das Vorkommen von Legionellen bei schrittweise abgesenkten TWW-Temperaturen der wichtigste Untersuchungsparameter. Dabei wurden verschiedene UF-Anlagen an verschiedenen Stellen in der TWI eingebaut (siehe Abbildung 2-1) und jeweils die Wirkungen auf die hygienisch-mikrobiologischen Ergebnisse in der TWI erfasst.

Eine Vielzahl neuer Erkenntnisse wurde generiert, die vollumfänglich im Abschlussbericht des Projektes (2024) dargestellt werden. Das hier vorliegende Papier bündelt wesentliche Aussagen des Projektes und richtet sich an Hersteller, Planer, Betreiber, Installateure und Gesundheitsämter.

2 Grundfunktionen der Ultrafiltrationstechnik

UF-Anlagen werden in der Wasseraufbereitung (z. B. zur Trinkwasserversorgung) seit den 1990er Jahren eingesetzt. Primärer Einsatzzweck ist der verlässliche Rückhalt von Partikeln mit einem mittleren Durchmesser von größer als ca. 0,02 µm. Der Rückhalt wird durch Siebwirkung (Größenausschluss) erwirkt. Ultrafiltrationsmembranen müssen definitionsgemäß (DVGW W 213-5) einen Rückhalt von mindestens 99,99 % gegenüber Viren aufweisen. Somit halten sie auch größere Organismen wie z. B. Legionellen und Amöben zurück.

Basierend auf dieser Wirkweise entstand die Idee, Trinkwasser vor Eintritt oder innerhalb der TWI mittels Ultrafiltration zu behandeln und auf diese Weise ein Potential zur Absenkung der Trinkwarmwasser (TWW)-Temperatur zu erschließen. Dadurch würde der Endenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung sinken und eine Steigerung der Effizienz beim Einsatz von erneuerbaren Energien möglich werden.

Mit dem gleichen Ziel haben Hersteller als Alternative die Adsorptionstechnologie (AF) für den Einsatz in der TWI entwickelt. Adsorptionsmechanismen können ihrem Wirkprinzip zu Folge für den Rückhalt von Mikroorganismen innerhalb eines durchströmten Filterbetts sorgen. Alle grundsätzlichen Anforderungen an UF-Anlagen gelten gleichermaßen für die Adsorptionstechnologie, sofern diese nicht spezifisch für die jeweilige UF-Technologie sind.

ULTRA-F: Vorläufige Grundlagen, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen

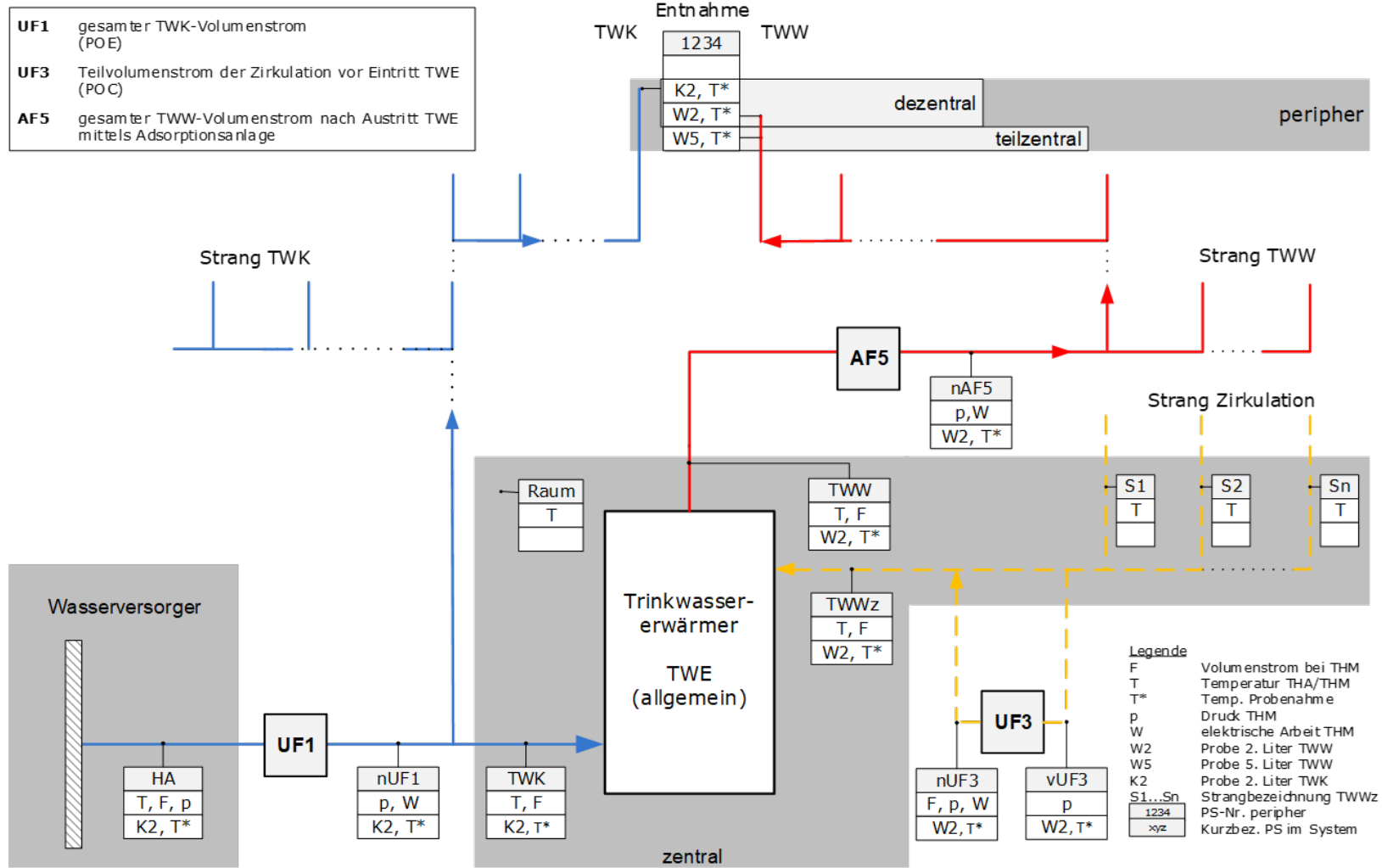


Abbildung 2-1: Untersuchte Einbauorte der Ultrafiltration, Probennahmestellen, entnommene Proben und thermohydraulische Messstellen (THA – thermohydraulischer Abgleich; THM – thermohydraulische Messungen)

3 Grundanforderungen an die TWI vor Einsatz der UF-Technologie in Modellprojekten mit dem Ziel einer Absenkung der TWW-Temperatur

Für die Durchführung von Felduntersuchungen wurden vorab durch den DVGW Rahmenbedingungen formuliert, die im Laufe des Projektes ergänzt wurden². Die Aufnahme von Feldobjekten in die Untersuchungen erfolgte nur unter diesen vorab definierten Voraussetzungen. Neben der Kontrolle der Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wurden folgende Grundanforderungen überprüft:

- 1 Die Anforderungen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV)³ müssen eingehalten werden.
- 2 Für die gesamte Prozesskette von der Installation bis zum Dauerbetrieb der UF-Anlagen müssen Aufgaben definiert und Verantwortliche benannt sein. Eine verantwortliche Person ist vom Betreiber der TWI zu benennen. Der Einsatz der UF-Anlagen ist beim zuständigen Gesundheitsamt anzuzeigen und die Verbraucher sind darüber zu informieren.
- 3 Für die Dauer des Betriebs einer UF-Anlage in der TWI muss ein Instandhaltungsvertrag für die UF-Anlage zwischen Betreiber und UF-Hersteller bzw. -Lieferant abgeschlossen werden.
- 4 Der Betreiber muss die Bewohner über das Untersuchungsprogramm informieren und deren Zustimmung zur Probenahme einholen.
- 5 Gültige Installationspläne der TWI müssen vorliegen und auf Aktualität geprüft sein. Dazu zählen Strangschemata sowie Schaltpläne der Trinkwassererwärmer (TWE) inklusive der Verknüpfung mit den Wärmeerzeugern.
- 6 Der TWE muss stabil 60 °C (Medianwert ± 1 K) warmes TWW bereitstellen können, um bei Ausfall der UF-Anlage oder unzulässiger Vermehrung von Legionellen einen Standardbetrieb der TWI zu ermöglichen.
- 7 Zirkulationsregulierventile und TWE müssen eine exakte Einstellung und einen stabilen Betrieb auch bei abgesenktem TWW-Temperaturniveau ermöglichen.
- 8 Der thermohydraulische Abgleich der Zirkulation muss erfolgreich durchgeführt worden sein. Der Nachweis ist über eine Messung der Strangtemperaturen sowie der Temperatur am Ausgang des TWE (mind. 15 min-Mittelwerte) über mindestens eine Woche zu erbringen.
- 9 Vor der Temperaturabsenkung unter Einsatz von UF-Anlagen in Bestandsobjekten dürfen in der TWI Legionellen kulturell im Trinkwarmwasser nicht nachweisbar sein. Im Trinkwasser kalt darf ein Wert von 100 KBE/100 ml an periphe-

² Rahmenbedingungen für die hygienisch sichere Erprobung der Ultrafiltration bei wissenschaftlich begleiteten Feldversuchen innerhalb von Forschungsprojekten, die vom DVGW begleitet werden.

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V., Juni 2022

³ Im ULTRA-F- Projekt fand durchgängig die TrinkwV in der Fassung von 2018 Anwendung; in künftigen Modellprojekten ist die jeweils aktuelle Fassung anzuwenden.

ren Entnahmestellen nicht überschritten werden. Die Beprobung darf nicht länger als 3 Monate zurückliegen und frühestens 6 Wochen nach installationstechnischen Veränderungen an der TWI erfolgen.

- 10 Bei Einsatz von UF-Anlagen in Neuinstallationen ist der Betrieb mit 60 °C zu beginnen. Die Bestätigung von negativen Legionellennachweisen nach TrinkwV darf frühestens 3 Monate nach der Inbetriebnahme erfolgen.

Im Verlauf des Forschungsprojektes wurden aufwendig 33 Feldobjekte akquiriert und bewertet. Fünf dieser Feldobjekte genügten nach Prüfung den definierten Anforderungen nicht und wurden deshalb ausgeschlossen. In keinem der 28 zunächst in das Projekt aufgenommenen Feldobjekte wurden die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu Beginn der Untersuchungen eingehalten. Nach Umsetzung objektspezifischer Maßnahmen zur Behebung von im Rahmen der Erstbegehung festgestellten Mängeln konnten Felduntersuchungen in 13 Objekten durchgeführt werden. Häufigste Mängel waren:

- ungenügende Konstanz der TWW-Temperatur am Ausgang des TWE,
- unzureichender thermohydraulischer Abgleich der Zirkulation sowie
- Legionellennachweise an peripheren Probennahmestellen.

4 Grundlagen und Randbedingungen für die Vermehrung von Legionellen in der TWI

Legionellen sind natürlicherweise im Wasser vorkommende Bakterien. Ihre Vermehrung in der TWI ist ein komplexer Prozess, der von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Hierzu gehören insbesondere folgende Aspekte:

- Biofilme sind die wesentliche Grundlage für das Vorkommen und die Vermehrung von Legionellen. Sämtliche Oberflächen einer TWI sind mit Biofilm besiedelt, in dem Mikroorganismen leben und sich vermehren können. Eine TWI ist nicht steril.
- Die Versorgung des Biofilms mit Nährstoffen erfolgt über Werkstoffe der TWI und das Trinkwasser. Das Nährstoffangebot bestimmt maßgeblich die Menge, den Aufbau und die Zusammensetzung des Biofilms.
- Weitere wesentliche Faktoren, die die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Biofilms beeinflussen, sind die Temperatur, die Fließgeschwindigkeit und die Aufenthaltszeit des Trinkwassers in der TWI.
- Die Vermehrung von Legionellen findet in bestimmten Amöbenspezies statt. Amöben ernähren sich durch das „Abweiden“ des Trinkwasserbiofilms. Daher sind Amöben überwiegend auf den mit Biofilmen bewachsenen Oberflächen zu finden. Die Besiedlungsdichte von Amöben im Trinkwasser-Biofilm nimmt mit zunehmender Menge an Biofilm auf den Oberflächen zu.
- Der Parameter Trinkwassertemperatur ist nach derzeitigem Wissenstand bei technisch einwandfreier TWI der wichtigste regulierende Faktor für die Vermehrung von Legionellen im Trinkwasser. Legionellen haben ideale Vermehrungsbedingungen im Temperaturbereich von 25 bis 45 °C.

5 Wirkung der UF- und AF-Technologie in der TWI

5.1 UF als Barriere oder Senke

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Ultrafiltration bzgl. der Hemmung der Legionellenvermehrung in der TWI wurden im Rahmen des Projektes zwei Thesen zur Wirkung überprüft:

- Mikrobielle Barriere
- Rückhalt von Nährstoffen

Die einzelne oder kombinierte Wirkung sollte die hygienische Sicherheit bei Temperaturabsenkung in der TWI gewährleisten. Dabei kann je nach Integration der UF-Anlage in der TWI diese als Barriere (z. B. UF1) oder als Senke (z. B. UF3) wirken.

5.2 Wirkung als mikrobielle Barriere

Bakterien können von der Zulaufseite der Membranoberfläche nicht auf die Filtratseite gelangen. Somit stellt die UF-Membran eine mikrobielle Barriere dar. Rückhaltegrade für Bakterien von über 1×10^7 auf Werte unterhalb der Nachweisgrenze der angewandten Tests wurden bestätigt. Dennoch ist das Trinkwasser nach der UF-Anlage nicht frei von Bakterien, da hier stets Bakterien vorhanden sind und sich vermehren können. Je nach Nährstoffangebot und Betriebsweise der UF-Anlage sowie der TWI kann sich auch auf der Filtratseite mit der Zeit ein Biofilm auf den Werkstoffoberflächen (von Membran, Modul etc.) ausbilden, der dann Bakterien in das Trinkwasser nach dem Filtrationsprozess freisetzt. Der Betrieb von UF-Anlagen wurde im Forschungsprojekt durch Messungen der Gesamtzellzahlen vor und nach der UF-Anlage überwacht. Eine Zunahme der Gesamtzellzahlen am Austritt der UF-Anlagen über die Bestimmungsgrenze⁴ hinaus, nach im Regelfall vollständiger Entfernung der Partikel und Zellen durch die UF-Membran, kann durch die fehlende Barrierefunktion auf Grund technischer Probleme oder durch eine retrograde Besiedlung der Filtratseite verursacht sein.

Die in ausgewählten Feldobjekten nachgewiesenen unterschiedlichen Zusammensetzungen der Bakteriengemeinschaften vor und nach der UF-Anlage bestätigen die beschriebene mikrobielle Barriere. Entsprechend werden Legionellen, die sich am Eintritt in die UF-Anlage im Trinkwasser befinden, zurückgehalten. Auf Legionellen, die in der nachgelagerten TWI bereits vorhanden sind („Bestandslegionellen“), wirken UF-Anlagen nicht direkt. Dies gilt insbesondere für die endständigen, nicht in die Zirkulation eingebundenen peripheren Bereiche der TWI.

5.3 Rückhalt von Nährstoffen

Das „Nährstoffkonzept“ beruht auf der Annahme, dass durch eine Ultrafiltration die Nährstoffkonzentration in der TWI verringert wird und dadurch langfristig die Biomasse von Mikroorganismen sowohl im Biofilm als auch in der Wasserphase reduziert wird. Dadurch könnte auch die Vermehrung von Legionellen unterdrückt werden.

⁴ ULTRA-F: Quantifizierungsgrenze 3.000 GZZ/ml

Im Trinkwasser sind Nährstoffe sowohl in gelöster als auch in partikulärer Form enthalten. Die gelösten Nährstoffe sind z. B. biologisch leicht verwertbare organische Kohlenstoffverbindungen (assimilierbarer organischer Kohlenstoff, engl. assimilable organic carbon, AOC). Die partikulären Nährstoffe sind größtenteils Mikroorganismen (z. B. Bakterien oder Amöben). Folgende Aussagen lassen sich zum Nährstoffkonzept treffen:

- Eine UF-Anlage hält Partikel mit einem mittleren Durchmesser von größer als 0,02 µm vollständig zurück. Somit werden partikuläre Nährstoffe aus dem Trinkwasser entfernt.
- Gelöste Substanzen können die UF-Anlage jedoch ungehindert passieren. Somit können gelöste Nährstoffe im Trinkwasser durch eine UF nicht reduziert werden.
- Installationsmaterialien können eine Nährstoffquelle in der TWI sein, die durch die UF nicht beeinflusst wird. Organische Werkstoffe können gelöste Nährstoffe ins Trinkwasser abgeben und direkt an ihren Oberflächen die Bildung von Biofilmen begünstigen.
- Während des UF-Betriebes werden auf der Zulaufseite der Membranoberfläche Bakterienzellen angereichert. Im Laufe der Zeit werden diese Zellen zerstört, wodurch gelöste Nährstoffe ins Filtrat abgegeben werden. Vor diesem Hintergrund ist eine Spülung der UF-Membran in kurzen Zeitintervallen notwendig.
- Die Messungen der Aufkeimungspotentiale und der Biofilmbildung ergaben, dass der Anteil an gelösten Nährstoffen nach der UF-Membran ausreicht, um eine Vermehrung von Bakterien in der TWI zu ermöglichen.

5.4 Besonderheiten Adsorptionsanlagen

Die Bewertung der Wirkung der Adsorptionstechnologie in der TWI erfolgte nach den DVGW-Rahmenbedingungen. Adsorptionsanlagen stellen keine mikrobielle Barriere dar, wirken jedoch als mikrobielle Senke (siehe Abschnitt 6.3.5). Die Beurteilung des Rückhalts von Nährstoffen durch AF-Anlagen war nicht Gegenstand des Forschungsprojektes.

6 Ergebnisse aus den Feldobjekten

6.1 Untersuchungsumfang

6.1.1 Mikrobiologische Untersuchungen

Folgende Proben wurden in den Feldobjekten je Probennahme entnommen (Abbildung 2-1): In der Zentrale, d. h. im Trinkwasser kalt am Hauseintritt (TWK_HA), nach der UF-Anlage (nUF, K2 bzw. W2), im Trinkwarmwasser am Austritt aus dem TWE (TWW), am Eintritt der Zirkulation in den TWE (TWWz) und wenn gegeben vor der UF-Anlage (vUF3) wurde immer der 2. Liter beprobt.

An den peripheren Stellen wurde immer erst der 2. Liter Trinkwasser kalt (K2) beprobt und im Anschluss die zwei Proben im Trinkwarmwasser (W2 und W5) im 2. und 5. Liter genommen.

In der Erstuntersuchung wurden folgende mikrobiologischen Parameter untersucht:

- Kulturell in jeder Probe: *Legionella* spp.⁵, *P. aeruginosa*, Koloniezahl bei 22 °C und 36 °C, *E. coli* und coliforme Bakterien.
- Mittels qPCR:
 - Genomeinheiten (Genomic Units - GU) von *Legionella* spp. in den Proben TWK_HA, TWWz und im zweiten Liter TWW der entferntesten peripheren Stelle
 - Genomeinheiten von *L. pneumophila* in jeder Probe
- Die Gesamtzellzahlen wurden mittels Durchflusszytometrie in jeder Probe bestimmt.

Im Betrieb (Routineuntersuchung) wurden die kulturellen Untersuchungen für *P. aeruginosa*, Koloniezahl bei 22 °C und 36 °C, *E. coli* und coliforme Bakterien nicht mehr durchgeführt. Die anderen Parameter wurden beibehalten.

An der Versuchsanlage im Zentrum für Energietechnik (ZET) wurde abweichend zu den Untersuchungen in den Feldobjekten peripher im TWW nur der 2. Liter beprobt.

6.1.2 Thermohydraulische Untersuchungen, Trübungs- und Druckmessungen

Das Umfeld des Trinkwassererwärmers wurde über einen Mindestzeitraum von einer Woche je Temperaturstufe mit einem mobilen thermohydraulischen Monitoringsystem (Abbildung 2-1) ausgestattet. Zum Nachweis des thermohydraulischen Abgleichs (THA) erfolgte die Ausstattung aller Zirkulationsstränge eines Objektes mit Temperatursensoren T_S1 ... T_Sn und die Erfassung und Auswertung der Messwerte im 2-s-Raster. In Objekten mit elektronischen Zirkulationsregulierventilen und Zugang zu deren Messwerterfassung wurden diese Daten (meist im ¼-h-Raster) zur Bewertung genutzt.

Die Volumenstrom-Sensoren des Ultraschall-Klemm-On-Verfahrens und die Temperatur-Sensoren wurden auf der Rohrwandung angebracht. Für die Druckmessungen am Austritt des TWE sowie im direkten Umfeld der UF-Anlage musste je ein T-Stück mit Kugelhahn eingebaut werden. Die Messungen wurden teilweise durch den Einbau und den einmonatigen Betrieb von Durchflussmessgeräten für die Wassertrübung sowie von Drucksensoren begleitet. Beides sollte Aufschluss zur Feststoffbelastung und mechanischen Beanspruchung der UF-Anlage geben.

6.2 Versuchsablauf

Nach Aufnahme der Feldobjekte in das Versuchsprogramm war nach DVGW-Rahmenbedingungen vorgesehen, eine vollumfängliche hygienisch-mikrobiologische Erstuntersuchung mit allen mikrobiologischen Parametern sowie thermohydraulische Messungen durchzuführen und anschließend die UF-Anlage in Betrieb zu nehmen. Nach einer weiteren Probennahme bei 60 °C (T_TWW) sollte eine schrittweise Temperaturabsenkung am Trinkwassererwärmer um jeweils 5 K bis 45 °C durchgeführt werden. Jede Temperaturstufe sollte über 15 Wochen mit je drei Probennahmen, ergänzend in der niedrigsten

⁵ Untersuchung und Bewertung nach TrinkwV und Empfehlung des Umweltbundesamtes: Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung - Probennahme, Untersuchungsgang und Angabe des Ergebnisses vom 18.12.2018, im weiteren Verlauf „Legionellen kulturell“ genannt

Temperaturstufe über 50 Wochen mit zwei zusätzlichen Probennahmen, untersucht werden. Der Einbau der UF-Anlage und jede Temperaturabsenkung wurden durch thermohydraulische Messungen begleitet. Jedes Feldobjekt sollte zwei Jahre beobachtet und untersucht werden. Im Verlauf des Forschungsprojektes ergaben sich für jedes Feldobjekt ein unterschiedlicher zeitlicher Verlauf sowie vom Versuchsplan abweichende Probenahmen und thermohydraulische Messungen. Gründe hierfür waren z. B. technische Unzulänglichkeiten sowohl initial als auch bei Temperaturabsenkung, Versuchsunterbrechungen auf Grund der Corona-Pandemie, Nachkontrollen auf Grund von Legionellen nachweisen und Mieterwechsel. In den 13 akquirierten Feldobjekten wurden 16 Versuchsreihen mit der Untersuchung von etwa 3.500 Proben mit bis zu 14 Einzelparametern durchgeführt. Die Laufzeiten der Versuchsreihen lagen zwischen 14 und 54 Monaten. Durch die hohe Variabilität der Randbedingungen ist jede Versuchsreihe der Feldobjekte als Einzelfall zu betrachten.

Für den Fortgang der Versuchsreihen wurden folgende Kriterien herangezogen und bewertet:

- Technischer Zustand der Trinkwasserinstallation und -erwärmung
- Ergebnisse der thermohydraulischen Messungen (z. B. Volumenströme, Drücke)
- Nachweis des thermohydraulischen Abgleichs der Zirkulationsstränge
- Besonderheiten im Nutzerverhalten (z. B. Leerstand, Mehr-/Minderverbrauch)
- Gemessene Temperaturen bei der Probennahme
- Häufigkeit positiver kultureller Legionellennachweise
- Auftreten von Legionellen im Trinkwasser kalt
- Auftreten von Legionellen in den zentralen oder peripheren Bereichen
- Wertung der Legionellenkonzentrationen nach Trinkwasserverordnung 2018
- Differenzierung zwischen *Legionella pneumophila* und *L. non-pneumophila*

6.3 Ergebnisse der ULTRA-F Feldobjekte

6.3.1 Überblick Feldobjekte und ausgewählte Resultate

In 14 der 16 Versuchsreihen waren Legionellen nachweisbar, wobei diese in allen Fällen sowohl im Trinkwasser kalt, als auch im Trinkwarmwasser auftraten. An den Hausanschlüssen waren kulturell keine Legionellen nachweisbar. Der Anteil positiver Legionellennachweise im Trinkwasser kalt in der TWI lag zwischen 3 und 79 % der Proben. Der Anteil positiver Nachweise im peripheren Trinkwasser kalt war oft höher als der Anteil positiver Nachweise im Trinkwarmwasser. In zwölf Versuchsreihen wurde der Technische Maßnahmenwert (TMW) im peripheren Trinkwasser kalt überschritten. Dies zeigt die wesentliche Rolle des Vorkommens von Legionellen im Trinkwasser kalt auf.

Tabelle 6-1 und Abbildung 6-1 zeigen in einer Übersicht die Eigenschaften und wichtige Ergebnisse der Versuchsreihen in den ULTRA-F-Feldobjekten sowie die Häufigkeit des Vorkommens von Legionellen, untersucht nach Trinkwasserverordnung.

ULTRA-F: Grundlagen, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen

Tabelle 6-1: Übersicht zu den durchgeführten Versuchsreihen der Feldobjekte, deren Ergebnisse und Empfehlungen zum Betrieb

Feld-objekt Nr.	UF/AF	Ort	Typ	WE	Stränge	Neubau	Altbau (un sanierte TWI)	Altbau (sanierte TWI)	THA thermoelektrisch	angestrebte Temperaturstufe TWW [°C]	Niedrigste Temp.stufe			Legionellen-vorkommen	Nachgewiesene Legionella Spezies	Versuchs-abbruch	Empfohlene Temp.stufe TWW/T _{Zirk,min} in °C bei Betrieb	
											Dauer in Wochen	TWW [°C]	ZMWZ [°C]				mit UF	ohne UF
1	UF1	Ochsenfurt	GH	14	6		x		x	45	33 W	59	53	nein	-	T	-	60/55
7a		Neuruppin	MFH	90	18		x			45	7 W	50	48	häufig	<i>L. non-p., L. p.</i>	L	-	60/55
10a		Kiel	MFH	10	2		x			45	6 W	56	51	häufig	<i>L. non-p., L. p.</i>	L	-	60/55
10b		Kiel	MFH	10	2			x		45	82 W	48	45	selten	<i>L. non-p., L. p.</i>	nein	48/45**	55/50**
11		Hamburg	GH	48	7		x			45	1 W	55	52	mittel	<i>L. non-p., L. p.</i>	T	-	60/55
16		Hamburg	MFH	32	10			x		45	124 W	48	44	mittel	<i>L. non-p.</i>	nein	48/45**	55/50**
18		Dresden	MFH	21	8	x ¹				45	12 W	50	49	häufig	<i>L. non-p.</i>	L	-	60/55
27		Hamburg	MFH	16	8			x	x	45	51 W	50	46	mittel	<i>L. non-p., L. p.</i>	nein	50/45	55/50*
28a		Hamburg	MFH	16	8			x	x	45	6 W	50	45	häufig	<i>L. non-p., L. p.</i>	L	55/50	60/55
33		München	GH	30	9	x ²				45	6 W	45	43	häufig	<i>L. non-p.</i>	L	-	60/55
5	UF3	Hameln	MFH	12	6			x		45	64 W	49	48	mittel	<i>L. non-p.</i>	nein	50/45**	55/50**
25		Bonn	MFH	16	4		x		x	45	21 W	45	42	nein	-	nein	48/45	55/50*
7b	UF1&3	Neuruppin	MFH	90	18		x			45	26 W	55	53	häufig	<i>L. non-p., L. p.</i>	L	-	60/55
28b		Hamburg	MFH	16	8			x	x	45	15 W	50	46	häufig	<i>L. non-p.</i>	L	-	60/55
13	AF5	Dresden	MFH	10	2	x				50	126 W	50	48	selten	<i>L. non-p.</i>	nein	-	55/50**
22		Berlin	MFH	42	9			x	x	45	73 W	46	43	mittel	<i>L. non-p.</i>	nein	-	55/50*

Legende: MFH = Mehrfamilienhaus, GH = Gemeinschaftsunterkunft/Hotel; WE = Anzahl Wohneinheiten; Versuchsabbruch T = aufgrund technischer Mängel, L = aufgrund Legionellenvermehrung; *: Empfohlene Temperaturstufe im TWW ohne UF aufgrund des technischen Zustands der TWI und der mikrobiologischen Ergebnisse, **: Zusätzliche Installation von elektronischen Zirkulationsregulierventilen ist für den thermohydraulischen Abgleich für die angegebene Temperaturstufe im TWW notwendig.

¹: Initiale Legionellennachweise im TWK peripher; ²: TWI wurde von Beginn an unter Einsatz einer UF1-Anlage in Betrieb genommen.

Legionellenvorkommen selten: < 10 % der Proben mit positivem Nachweis, nur im TWK

mittel: Nachweis in der Peripherie TWK (10 bis 30 % der Proben mit positivem Nachweis) und seltener Nachweis (< 10 %) im TWW

häufig: Nachweis im zentralen Bereich, häufiger Nachweis (> 30 % der Proben mit positivem Nachweis) im TWW und Nachweis im TWK

ULTRA-F: Grundlagen, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen

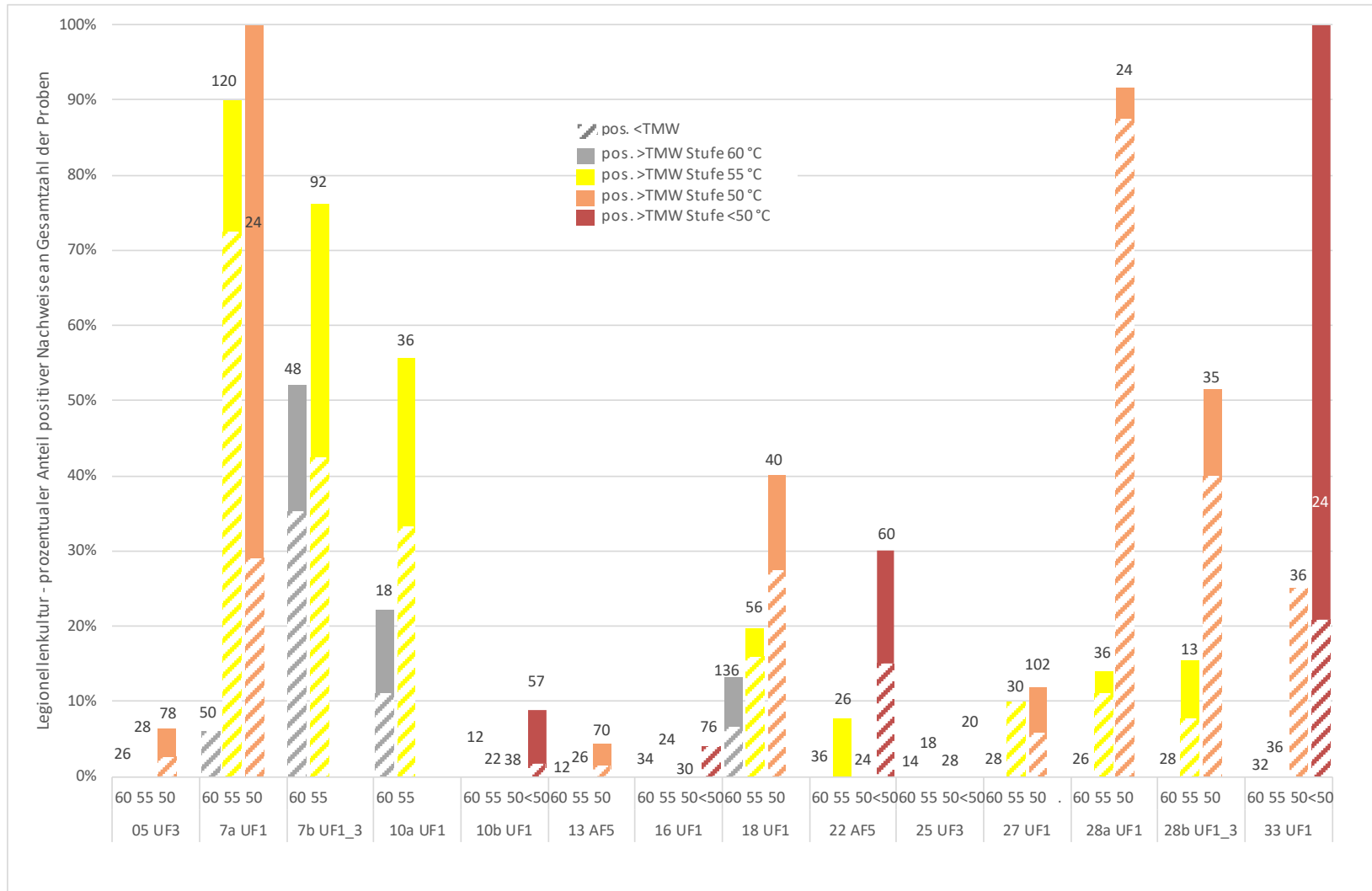


Abbildung 6-1: Gesamtanzahl der Proben und Häufigkeit des kulturellen Legionellennachweises in den Feldobjekten im TWW (zentral und peripher), geordnet nach durchgeführter Temperaturstufe unter Berücksichtigung des Technischen Maßnahmenwertes (TMW)

6.3.2 Ultrafiltration im Trinkwasser kalt nach dem Hauswasserzähler (UF1)

Bei einer TWW-Temperatur von 60 °C und hydraulischem Abgleich wurden im zentralen Bereich der Trinkwasserinstallation keine Legionellen nachgewiesen. Im peripheren Bereich waren in drei der zehn Objekte (Obj. 7, 10a und 18) an einzelnen Messstellen Legionellen nachweisbar, wobei im Objekt 18 an einer Messstelle der TMW überschritten wurde. Dabei ist zu beachten, dass bei dieser Temperaturstufe im Vergleich zum Betrieb mit niedrigeren Temperaturen nur wenige Probennahmen durchgeführt wurden.

Nach Absenkung der TWW-Temperatur am Austritt des TWE auf 55 °C wurden in zwei Objekten (Obj. 7 und 10a) sowohl im zentralen Bereich (TWW und TWWz) als auch an fast allen beprobten peripheren Entnahmestellen Legionellen nachgewiesen. Im peripheren Bereich lagen die Konzentrationen in beiden Objekten über dem TMW. Im Objekt 10a wurde daraufhin der Versuch abgebrochen, ein vorhandener Stragentlüfter ausgebaut, weitere technische und betriebliche Maßnahmen getroffen und danach der Versuch (Obj. 10b) neu gestartet. Bei erneuter Absenkung der Temperatur auf 55 °C (und danach schrittweise auf 47 °C) wurden dann im zentralen Bereich der Warmwasserinstallation keine Legionellen mehr nachgewiesen. Dies deutet darauf hin, dass in beiden Objekten (Obj. 7 und 10) im Zirkulationskreislauf Bereiche vorhanden waren bzw. sind (Objekt 7), die nicht richtig durchströmt werden und in denen eine Vermehrung von Legionellen stattfindet. Während wahrscheinlich bei einer TWW-Temperatur von 60 °C aus diesen Bereichen eingetragene Legionellen abgetötet bzw. inaktiviert werden, war dies bei 55 °C nicht mehr der Fall.

In allen anderen Objekten (Obj. 16, 18, 27, 28 und 33) wurden bei der TWW-Temperatur von 55 °C im zentralen Bereich, wie beim Betrieb mit einer TWW-Temperatur von 60 °C, keine Legionellen nachgewiesen. Im peripheren Bereich war eine Zunahme der Anzahl der Objekte (neu Obj. 28), bzw. in den bereits bei 60 °C betroffenen Objekten eine Zunahme der Anzahl der Probenahmestellen, in denen sporadisch Legionellen mit Konzentrationen oberhalb des TMW nachweisbar waren, zu verzeichnen.

Nach einer weiteren Absenkung der TWW-Temperatur auf 50 °C wurden in drei weiteren Objekten (Obj. 18, 28 und 33), in denen bei 55 °C im zentralen Bereich noch keine Legionellen nachweisbar waren, im TWW und TWWz Legionellen nachgewiesen. Ursache hierfür kann einerseits eine Vermehrung von Legionellen sein, die bereits bei Versuchsbeginn z. B. in nicht ordnungsgemäß durchströmten Bereichen in der Trinkwasserinstallation vorhanden waren (Bestandslegionellen). Andererseits kommen auch ein Eintrag von Legionellen und Amöben als Folge zeitweiser Umfahrung der UF-Anlage oder aus dem Trinkwasser kalt in das Trinkwarmwasser im peripheren Bereich als Ursachen in Betracht. Im Vergleich zum Betrieb mit einer TWW-Temperatur von 55 °C war ein weiterer Anstieg der Anzahl von sporadischen Legionellennachweisen und damit verbunden auch von Überschreitungen des TMW an betroffenen peripheren Messstellen festzustellen.

In zwei Objekten (Obj. 10b und 16) war eine Absenkung der TWW-Temperatur auf 47 bzw. 48 °C möglich, ohne dass im zentralen Bereich Legionellen nachweisbar waren. Im peripheren Bereich waren dann auch in diesen beiden Objekten, die bei 50 °C peripher noch ohne Legionellennachweis waren, vereinzelt Legionellen (im Objekt 10b auch mit Konzentrationen über dem TMW) zu verzeichnen. Dies zeigt die Notwendigkeit einer engmaschigeren Langzeitüberwachung von TWI mit TWW-Temperatur von < 50 °C an. Aus den Feldversuchen ergibt sich die Empfehlung, die Beprobungen aller drei Monate für zwei Jahre und anschließend mindestens jährlich durchzuführen.

6.3.3 Ultrafiltration im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF3)

Untersuchungen zu den Möglichkeiten des Betriebes mit niedrigeren TWW-Temperaturen bei Einsatz einer Ultrafiltration im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF3) wurden im Rahmen des ULTRA F-Projektes in zwei Objekten (Obj. 5 und 25) in Bestandsanlagen durchgeführt.

In den beiden Feldobjekten war eine Absenkung der TWW-Temperatur auf 49 °C (Obj. 5) bzw. 45 °C (Obj. 25) möglich, ohne dass im zentralen Bereich Legionellen nachgewiesen wurden. Im peripheren Bereich waren im Objekt 5 bei der Temperaturstufe 49 °C vereinzelt Legionellen mit Konzentrationen über dem TMW nachweisbar.

6.3.4 Ultrafiltration im Trinkwasser (kalt) und im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF1 und UF3)

In zwei Objekten (Obj. 7 und 28) wurde wegen positiver Legionellennachweise die TWW-Temperatur auf 60 °C erhöht und neben der UF1 am Hausanschluss in einer zweiten Versuchsreihe zusätzlich eine Ultrafiltrationsanlage im Teilstrom des Zirkulationsrücklaufes (UF3) eingebaut. Die vorhandenen Legionellennachweise konnten in diesen beiden Feldobjekten dadurch im zentralen Bereich um den Faktor 10 und in der Peripherie gegenüber dem Betrieb nur mit UF1 reduziert, jedoch nicht vollständig beseitigt werden. Eine Absenkung der TWW-Temperatur auf 55 °C führte im Objekt 07 mit saniertem Trinkwassererwärmer und sonst weitestgehend unsanierter TWI im zentralen und peripheren Bereich jeweils zu Überschreitungen des TMW. In Objekt 28b mit sanierter TWI und thermoelektrischem THA (Trinkwassererwärmer unsaniert) traten Legionellennachweise an peripheren Stellen im TWK bzw. TWW bei Absenkung der TWW-Temperatur auf 50 °C auf, die sporadisch oberhalb des TMW lagen.

6.3.5 Adsorptionsfiltration im TWW am Austritt des Trinkwassererwärmers (AF5)

Untersuchungen zum Einsatz von Adsorbentien im gesamten Volumenstrom des TWW am Austritt des TWE erfolgten in zwei Feldobjekten (Obj. 13 und 22). In beiden Objekten wurden bei einer schrittweisen Absenkung der TWW-Temperatur auf 50 °C (Obj. 13) bzw. auf 45 °C (Obj. 22) im zentralen Bereich keine Legionellen nachgewiesen. Im peripheren Bereich zeigte sich im Wesentlichen das gleiche Bild wie in den anderen Feldobjekten. Während in Objekt 22 innerhalb der regulären Laufzeit von 50 Wochen in der niedrigsten Temperaturstufe von 45 °C bereits Legionellen meist mit Konzentrationen über dem TMW

nachweisbar waren, traten in Objekt 13 erst im Anschluss an die reguläre Versuchslaufzeit im Rahmen der Langzeitüberwachung nach 92 Wochen bei 50 °C Legionellennachweise in Höhe des TMW und darüber auf. Die erst spät auftretenden Nachweise in Objekt 13 sowie stark gestiegene Legionellenkonzentrationen nach 73 Wochen in der Peripherie von Objekt 22 bei der Temperaturstufe 45 °C unterstreichen die Bedeutung der Langzeitüberwachung von TWIs, auch von Objekten bei Betrieb mit AF-Anlagen und abgesenkten Temperaturen von ≤ 50 °C (siehe auch Abschnitt 6.3.2).

6.4 Assoziierte Untersuchungen: UF3 in Neuinstallationen

Unter wissenschaftlicher Begleitung⁶ außerhalb des eigentlichen ULTRA-F-Projektes erfolgt seit März 2021 die deutschlandweite Erprobung des von der Viega GmbH & Co. KG entwickelten Trinkwasser-Management-Systems AquaVIP Solutions (AVS) in bislang 17 Modellprojekten mit Temperaturabsenkung (Stand: 31.12.2023). Bei allen AVS-Modellprojekten handelt es sich im Gegensatz zu den Ultra-F Feldobjekten um komplett neu errichtete Trinkwasserinstallationen in Neubauten. Untersucht wurden 9 Mehrfamilienhäuser mit 6 bis 26 Wohneinheiten und 8 Funktionsbauten (1 Kita, 2 Hotels, 1 Ferienanlage, 2 Sozialstationen, 1 Sportumkleidebau, 1 Seminargebäude) mit 2 bis 10 Strängen. Das AVS umfasst objektspezifisch den Einbau und Betrieb folgender Komponenten:

- Systemspezifischer Durchfluss-Trinkwassererwärmer (DTE)
- Elektronische Zirkulationsregulierventile
- Spüleinrichtungen für die Spülung der peripheren Warm- und Kaltwasserleitungen
- Ultrafiltrationsanlage im Teilstrom im Zirkulationsrücklauf (UF3)
- Steuerung über einen systemspezifischen AquaVIP Controller.

Formale Grundlage für die Durchführung der Modellprojekte bilden die DVGW-Rahmenbedingungen, spezifiziert durch eine von Viega in Abstimmung mit der wissenschaftlichen Begleitung erarbeitete Hersteller-Richtlinie⁷. Die mikrobiologischen Beprobungen umfassen regelhaft TWK, TWW, TWWz, vUF3 und UF3 sowie drei bis fünf repräsentative periphere Probenahmestellen.

Die Inbetriebnahme der TWI erfolgte jeweils bei 60/55 °C. Wenn bei der Erstbeprobung der TWI zwei Wochen nach der Inbetriebnahme *Legionella* spp. nicht nachgewiesen wurde, erfolgte die Temperaturabsenkung des Systems. Bei den ersten 6 Projekten wurde die Temperatur im 1. Schritt auf 55/50 °C abgesenkt und im 2. Schritt, nach 2 negativen Beprobungen, auf 47/45 °C⁸. Bei den folgenden 8 Projekten wurde die Temperatur im 1. Schritt auf 50/47 °C abgesenkt; im 2. Schritt jeweils auf 47/45 °C. Seit 2023 erfolgt die Temperaturabsenkung in bislang 3 Projekten in einem Schritt auf 47/45 °C. Nach jeder

⁶ Prof. Dr. Kistemann (Bonn), Dr. Wricke (Dresden)

⁷ Viega (2023): UFC-Herstellerrichtlinie für Pilotprojekte mit Einsatz der Ultrafiltrations-Technologie (UFC) des Trinkwasser-Management-Systems AquaVIP Solutions zur Absenkung der PWH/PWH-C-Temperatur, Stand 16.08.2023

⁸ Bei den ersten beiden Projekten wurde noch ein Zwischenschritt (50/47°C) mit konsekutiv 2 weiteren Beprobungen eingeschoben.

Temperaturabsenkung erfolgten in allen Projekten bislang mindestens zwei Beprobungen nach 2 bis zu 10 Wochen. Ein Jahr nach Inbetriebnahme erfolgte eine weitere Beprobung.

In 16 der 17 im Rahmen des AVS-Projektes bisher hygienisch-mikrobiologisch untersuchten Modellprojekte wurde die TWW-Temperatur auf 47 °C abgesenkt, ohne dass es an zentralen Probenahmestellen zu einem kulturellen Nachweis von *Legionella* spp. kam. In einem Objekt waren bei sommerlich hohen Temperaturen im Technikraum (40 °C) zweimal der TWK-Zulauf zum DTE sowie der DTE-TWW-Austritt kontaminiert (900 bzw. 1.300 KBE/100 ml, *L. non-pneumophila*).

In drei Objekten kam es bei abgesenkten Temperaturen zu einem temporären Legionellennachweis an jeweils 1-2 peripheren Probenahmestellen im TWW mit bis zu 1.000 KBE/100 ml. Es handelte sich dabei wiederum ausschließlich um *L. non-pneumophila*-Nachweise. In allen Fällen konnte die Kontamination durch objektspezifische technische Maßnahmen (temporäre Temperaturanhebung, Tausch von Waschtischarmaturen, Tausch des Hauseingangsfilters, Spülmaßnahmen) beseitigt werden. Auf Wunsch des Herstellers wurde außerdem jeweils eine thermische Desinfektion bei 70 °C durchgeführt. Die Ergebnisse der anschließenden erneuten Temperaturabsenkung stehen noch aus.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei negativem kulturellem Nachweis von *Legionella* spp. im Trinkwasser kalt am Hausanschluss und im Zulauf zum Trinkwassererwärmer sowie strikter Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik, insbesondere optimiertem thermohydraulischen Abgleich und Stagnationsvermeidung, wie dies insbesondere bei Neuinstallationen möglich ist, unter Einsatz des AVS-Systems mit einer UF3-Anlage eine Temperaturabsenkung auf $T_{\text{zirk,min}}^{15} \geq 45$ °C nicht mit vermehrten Legionellennachweisen im zentralen Bereich einhergeht.

7 Weitere trinkwasserhygienische Ergebnisse des Projektes

7.1 Legionellenzytometrie

Für die Bestimmung von Legionellen in Trinkwasser wurde ein neues, kommerziell erhältliches, zytometrisches Analyseverfahren zur Anwendung im Forschungsprojekt und in der Routineuntersuchung von Wasser getestet. Das Verfahren basiert auf der Reaktion des Filtrerrückstandes einer Wasserprobe mit an magnetischen Partikeln gebundenen Antikörpern, die spezifisch für Legionellen sein sollen. Nach einer immunomagnetischen Auftrennung erfolgt die Anfärbung der Probe und anschließende Quantifizierung mittels Zytometrie. Aufgrund erheblicher Unterschiede der Ergebnisse im Vergleich zur kulturellen Methode wurde die Zytometriemethode auf Basis des Entwicklungsstandes April 2021 im ULTRA-F-Projekt nicht weiter angewandt.

7.2 Bewertung kultivierungsunabhängiger Analyseparameter

Für eine Beurteilung der mikrobiologischen Analyseparameter Gesamtzellzahl und *Legionella* spp. mittels qPCR in der TWI sind immer die Werte am Hausanschluss als Referenz heranzuziehen. Die Gesamtzellzahlen am Hausanschluss der Feldobjekte lagen bei 5.000 bis 680.000 GZZ/ml. In der TWI sind ohne Einsatz einer UF-Anlage Gesamtzellzahlen von 50.000 bis 250.000 GZZ/ml als normal zu bewerten. Am Austritt der UF1- und UF3-Anlagen wurden meist Werte kleiner der Quantifizierungsgrenze⁴ festgestellt. Dieser Wert lag bei Auswertung des 75. Perzentils für die beprobten UF1- und UF3-Anlagen bei 4.000 GZZ/ml. Diese Gesamtzellzahl wird als Zielwert für einen einwandfreien Betrieb von UF-Anlagen angesehen. Die Gesamtzellzahlen am Austritt der AF5-Anlagen sind von den Gesamtzellzahlen am Hausanschluss abhängig und nehmen mit der Standzeit des Adsorbers zu.

Die statistische Auswertung der Analyseergebnisse für GZZ und *Legionella* spp. (kulturell) konnte keinen korrelativen Zusammenhang nachweisen.

Bei der Bestimmung von *L. pneumophila* mittels qPCR lagen bei 2.383 Proben lediglich 1,8 % oberhalb der Quantifizierungsgrenze. Daher war eine weitere Auswertung der Daten nicht zielführend.

Für die Konzentration von *Legionella* spp. mittels qPCR liegen normale Werte in der TWI (in TWK und TWW) bei 3.000 bis 25.000 GU/500 ml⁹. Für den Austritt nach UF-Anlagen lag dieser Wert bei Auswertung des 75. Perzentils für fast alle beprobten UF- und AF5-Anlagen unterhalb von 950 GU/500 ml, was im Projekt der Quantifizierungsgrenze¹⁰ entsprach. Ausnahme bildete hier das Objekt 18, das auch sehr hohe Konzentrationen am Hausanschluss TWK aufwies.

Die qPCR-Werte *Legionella* spp. für 173 Probenahmen am Hausanschluss TWK lagen im Bereich 190 bis 314.000 GU/500 ml mit 24.783 GU/500 ml im 75. Perzentil. Für 195 Probenahmen in der TWW-Peripherie lagen die qPCR-Werte *Legionella* spp. im Bereich 190 bis 85.000 GU/500 ml mit dem 75. Perzentil bei 4.154 GU/500 ml. Dabei lagen 70 Proben unterhalb der Quantifizierungsgrenze.

7.3 Wirkung einer UF-Anlage auf die Gesamtzellzahlen in der TWI

Die Untersuchungen in den Feldobjekten haben ergeben, dass es unabhängig vom Betrieb einer UF-Anlage durch die Erwärmung des Trinkwassers zu einer Reduzierung der Zellzahlen im TWW im Vergleich zum Hausanschluss kommen kann.

Mit Inbetriebnahme von UF-Anlagen in den ULTRA-F-Feldversuchen sanken die Gesamtzellzahlen in der TWI innerhalb von wenigen Wochen auf ein langfristig niedrigeres Konzentrationsniveau ab. Die technische Wirkung der UF-Membran liegt bei > 99,9 % (siehe

⁹ Inklusive Auswertung von Untersuchungsergebnissen aus 101 Feldobjekten in EE+HYG@TWI

¹⁰ ULTRA-F: Nachweisgrenze = 190 GU/500 ml, Quantifizierungsgrenze = 950 GU/500 ml

Abschnitt 5.2). Die Auswirkung der UF-Anlagen auf die Installation ist abhängig vom Einbauort in die TWI.

Bei UF1-Anlagen¹¹ sanken die Gesamtzellzahlen im peripheren TWK im zeitlichen Mittel um 84 % (43 bis 95 %) im Vergleich zu den Durchschnittswerten am HA. Im TWW war die Reduzierung der Gesamtzellzahlen deutlich geringer als im TWK. Im TWW zentral wurden die GZZ um 76 % und im peripheren TWW um 72 % im Vergleich zu den Durchschnittswerten am HA verringert. Ein Teil dieser Reduktion kann sich aus dem o.g. Effekt der Erwärmung des Trinkwassers ergeben.

Bei UF3-Anlagen sanken im Trinkwarmwasser am Wiedereintritt in den TWE (TWWz) die Gesamtzellzahlen im Vergleich zu den Werten vor der UF3-Anlage bedingt durch die Teilfiltration im zeitlichen Mittel nur um 36 %. Auf Grund unterschiedlicher Faktoren (z. B. das Verhältnis des nachfließenden unfiltrierten TWK in Abhängigkeit vom TWW-Verbrauch oder Größe, Alter und Bauart des Trinkwassererwärmers) treten größere Schwankungen der Gesamtzellzahlen im TWW auf. Da nur zwei Objekte mit einer UF3 im Ultra-F-Projekt untersucht wurden, kann eine generelle Aussage über die Reduzierung der Gesamtzellzahlen im peripheren TWW nicht getroffen werden.

Generell ist zu beachten, dass die Höhe der Gesamtzellzahlen im neuen Konzentrationsniveau nicht ausschließlich von der Wirkung der UF-Anlage abhängig ist. Vielmehr ergeben sich Abhängigkeiten von der betrachteten Probenahmestelle, den Eigenschaften des Biofilms, technischen und baulichen Aspekten sowie den verbrauchsabhängigen thermo-hydraulischen Verhältnissen.

Nach Inbetriebnahme von AF5-Anlagen sanken die Gesamtzellzahlen im nachgeschalteten TWW in geringerem Maß als bei UF-Anlagen. Der Verlauf der Gesamtzellzahlen im TWW verhielt sich zeitlich analog zu dem am Hausanschluss, so dass die Ausbildung eines stabil niedrigen Niveaus nicht nachgewiesen werden konnte.

7.4 Temperaturabsenkung des TWW ohne Ultrafiltration

Eine Trinkwarmwasserinstallation kann bei ≥ 50 °C im zentralen Bereich unter bestimmten Voraussetzungen ohne nennenswerten positiven Legionellennachweis betrieben werden. Über einen Zeitraum von 12 Monaten wurde der TWI-Versuchsstand im ZET der TU Dresden (Nachstellung eines TWI-Systems für ein 6-Familien-Haus mit 3 Strängen mit elektronischen Zirkulationsregulierventilen und separater Entnahme von TWW und TWK¹²) unter diesen Versuchsbedingungen betrieben. In allen Kaltwasserproben wurden Legionellen kulturell nachgewiesen, deren Eintrag kontinuierlich über die Versorgung des Versuchsstands aus dem TWK in geringer Konzentration (5-10 KBE/100 ml) erfolgte. Es konnten jedoch in nur 10 % der TWW-Proben Legionellennachweise in niedrigen Konzen-

¹¹ Ohne Objekt 33

¹² Rühling et.al. (2018): Koordinierter Schlussbericht EnEff: Wärme – Verbundvorhaben Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation im Kontext: DHC Annex TS1 "Low Temperature District Heating for Future Energy Systems" (EE+HYG@TWI)

trationen von < 5 KBE/100 ml ermittelt werden. Ein Trinkwarmwassersystem mit elektronischen Zirkulationsregulierventilen kann bei dem eingestellten Temperaturregime von ≥ 50 °C im zentralen Bereich somit die Legionellenkonzentrationen nachweislich und dauerhaft unter dem TMW halten.

7.5 Wiederanheben der TWW-Temperatur nach Auftreten einer Legionellenkontamination

Am zuvor beschriebenen Versuchsstand kam es beim Betrieb mit und ohne UF-Anlagen bei TWW-Temperaturen von 45 °C zu Überschreitungen des TMW. Allein das Anheben der Trinkwarmwassertemperatur auf ≥ 55 °C im zentralen Bereich mit regelmäßiger Nutzung (2 WE¹³: 37 L/d; 2 WE: 102 L/d; 2 WE: 204 L/d) führte auch bei Stranglängen von 20 m und niedrigstem Verbrauch verlässlich dazu, dass die Konzentrationen von < 2 KBE/100 ml in der gesamten TWI erreicht wurden. Dadurch wurde am Versuchsstand nachgewiesen, dass in thermohydraulisch abgeglichenen Trinkwassersystemen Legionellen bereits bei geringeren Temperaturen, als den nach DVGW W 551 geforderten 70 °C, kulturell nicht mehr nachweisbar sind.

Dies konnte in den Feldobjekten 10 und 28 bestätigt werden, als zwischenzeitlich zum Abbruch der ersten Versuchsreihen die TWW-Temperatur auf 60 °C angehoben wurde. Die Einhaltung des TMW konnte an allen Probenahmestellen wiederhergestellt werden.

Insofern ist es im Sinne der effektiven Anlagenplanung nicht gerechtfertigt, das Vorhalten einer Erzeugeranlage zur Bereitstellung von 70 °C am Austritt des TWE zu fordern, vielmehr sind 60 °C bei gleichzeitig stringenter Umsetzung des thermohydraulischen Abgleichs der Zirkulationsstränge ausreichend.

8 Energetische Wirkung einer Temperaturreduktion im TWW

8.1 Voraussetzung einer TWW-Temperaturabsenkung ohne Ultrafiltration

Wissenschaftlich-praktisch fundierte Erkenntnisse zu Möglichkeiten der Temperaturabsenkung ohne UF-Anlagen wurde in der Stellungnahme *Legionellosen und Energiesparmaßnahmen*¹⁴ unter Mitwirkung der Wissenschaftler aus dem ULTRA-F-Projekt zusammengefasst und seien hier auszugsweise wiedergegeben:

„Zwingende technische Voraussetzung für weitergehende betriebsseitige Energiesparmaßnahmen ist eine einwandfreie Installation, d. h. es dürfen insbesondere weder Tot- oder stagnierende Leitungen noch Stragentlüfter oder unzulässige technische Einrichtungen vorhanden sein.

Unter der zusätzlichen trinkwasserhygienischen Voraussetzung, dass in der letzten maximal drei Monate zurückliegenden Untersuchung auf Legionellen nach Trinkwasserverord-

¹³ WE = Wohneinheit, Entnahme nach EU-reference tapping cycle

¹⁴ Wörtliche Übernahme aus Exner, M. et al.: Legionellosen und Energiesparmaßnahmen. Stellungnahme der Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (DGKH) – Version vom 01. Februar 2023

nung kein Nachweis von Legionellen in den Proben am Ausgang des Trinkwassererwärmers und im Zirkulationsrücklauf sowie keine Überschreitung des TMW von 100 KBE/100 ml in den peripheren Proben vorlagen, sind ... betriebsseitige Energiesparmaßnahmen möglich. Dies gilt zusätzlich unter der Bedingung, dass damit nachgewiesene wirksame Bestandteile des Maßnahmenplanes aus der Behebung einer vorangegangenen, auch länger zurückliegenden Legionellenkontamination im Objekt nicht unterlaufen werden.

Sind im Zirkulationssystem sogenannte elektronische Zirkulationsreguliertventile eingebaut und auf die zentrale Gebäudeleittechnik aufgeschaltet, so gibt es bei kontinuierlicher Messwertüberwachung (mindestens ¼ h Mittelwerte) eine ... Option zur Energieeinsparung, da der kontinuierliche Nachweis des korrekten hydraulischen Abgleichs vorgelegt und damit auch archiviert werden kann. In diesen Objekten kann die Solltemperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers auf 55 °C und ≥ 50 °C in der Zirkulation (z. B. ≥ 52 °C an den Zirkulationsreguliertventilen und ≥ 50 °C am Eintritt der Zirkulation in den Trinkwassererwärmer) reduziert werden. Bei dieser Temperaturreduktion ist das zuständige Gesundheitsamt zu informieren und ein fachlich kompetenter Verantwortlicher vom Betreiber der Trinkwasserinstallation zu benennen.“

Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Energieeinsparungen bis zu Temperaturen im zentralen Bereich von $T_{\text{Zirk,min}}^{15} \geq 50$ °C ohne UF-Anlagen unter den genannten Voraussetzungen erreicht werden können. Die Bewertung der mikrobiellen und thermohydraulischen Untersuchungsergebnisse aus dem TWI-Versuchsstand und den Feldobjekten mit elektronischen Zirkulationsreguliertventilen (Obj. 22, 25, 27, 28) bestätigen die oben genannte Aussage, auch wenn in den Feldobjekten UF-Anlagen betrieben wurden.

8.2 Ergebnisse der Messungen in den ULTRA-F Feldobjekten

Umfangreiche Simulationsstudien (z. B. Koordinierter Schlussbericht EE+HYG@TWI Kapitel 9¹²) zeigen die Effekte der Energieeinsparung mit sinkender Temperatur der Trinkwassererwärmung auf. Trotz intensiver Auswertung der ULTRA-F-Messdaten konnte der praktische Nachweis nur eingeschränkt erbracht werden, da nicht nur die Temperaturen des Trinkwassers kalt signifikant jahreszeit- und nutzungsabhängig sind, sondern vor allem das stark schwankende Verbraucherverhalten die Effekte teilweise überkompensiert (bspw. geringere Trinkwarmwasserentnahme trotz niedrigerer Temperatur des Trinkwarmwassers). Deshalb war nur die Veränderung der thermischen Leistung im reinen Zirkulationsbetrieb ohne Trinkwarmwasserentnahme auswertbar. Als orientierender Wert kann gelten, dass diese sich je 5 K um 5 bis 7 % reduziert, wobei der höhere Wert alten Bestandsanlagen zuzuordnen ist, bei denen ein schlechterer Zustand der Wärmedämmung ursächlich ist.

¹⁵ $T_{\text{Zirk,min}}$: Niedrigste Temperatur in der Zirkulation d. h. dem Minimum der Temperaturen aller Stränge MIN (TS1 ... TSn) bzw. am Eintritt in den Trinkwassererwärmer TWWz.

In eine Gesamtbilanzierung des UF-Einsatzes muss auch der Hilfsstrombedarf der UF-Anlagen einbezogen werden. Hier zeigten sich deutliche herstellerepezifische Unterschiede. Für UF1 lagen die Werte bei 1,3 bis 45,6 kWh pro Woche (0,04 – 1,5 kWh je WE und Woche); für UF3 bei 8,4 bis 24 kWh pro Woche (0,3 – 1,5 kWh je WE und Woche) und für AF5 bei 4,4 bis 9,1 kWh pro Woche (0,2 – 0,6 je WE und Woche).

Die CO₂-Emissionsvermeidung ergibt sich nach Saldierung von Minder- und Mehraufwendungen des Endenergiebedarfs objektabhängig durch Multiplikation mit den spezifischen CO₂-Emissionen je kWh Endenergie.

Bei einem kompletten Life-Cycle-Assessment (LCA) wären zusätzlich der Energieaufwand und die CO₂-Emissionen bei Produktion, Wartung und Instandhaltung sowie Entsorgung der UF- bzw. Adsorberanlagen einzubeziehen.

9 Schlussfolgerungen

9.1 Trinkwasserhygiene bei Temperaturabsenkung

Die Ergebnisse der in 16 Versuchsreihen der Feldobjekte im Rahmen des ULTRA-F-Projektes sowie in bislang 17 AVS-Modellprojekten unter Einsatz von UF-Anlagen durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass eine Absenkung der Temperaturen im zentralen Bereich auf $T_{\text{Zirk,min}} \geq 45 \text{ °C}$ unter den definierten Randbedingungen möglich ist, ohne dass es zum Auftreten und zur Vermehrung von *Legionella* spp. im zentralen Bereich kommt. Ein Betrieb mit $T_{\text{Zirk,min}} \geq 50 \text{ °C}$ im zentralen Bereich erfordert nach den Resultaten der Versuche am TWI-Versuchsstand im ZET der TU Dresden unter bestimmten Bedingungen² keinen Einsatz von UF-Anlagen. Allerdings konnte in Feldversuchen nicht untersucht werden, inwieweit unter sonst gleichen Bedingungen die hygienischen Verhältnisse sich ohne UF-Anlagen eingestellt hätten.

Bei Temperaturabsenkung mit oder ohne UF-Anlagen sind ergänzend zu den DVGW-Rahmenbedingungen folgende Voraussetzungen notwendig:

- Kein kultureller Nachweis von *Legionella* spp. im Trinkwasser kalt am Hausanschluss und im Zulauf zum Trinkwassererwärmer.
- Vermeidung nicht kontinuierlich durchströmter Membrandruckausdehnungsgefäße (MAG).
- Ein sicherer, stabiler und temperaturunabhängiger thermohydraulischer Abgleich unter Einsatz elektronischer Zirkulationsreguliertventile zur Sicherung eines stabilen Temperaturniveaus im gesamten Zirkulationskreislauf inklusive einer kontinuierlichen Messwertdokumentation und -archivierung.
- Vermeidung der thermischen Rückwirkung des TWW-Systems auf das TWK-System im zentralen Bereich.
- Vermeidung der Erwärmung des TWK im zentralen Bereich durch zu hohe Raumtemperaturen oder ungünstige Leitungsführung.

- Eine Trinkwasserinstallation warm ohne relevante Stagnationszonen, in denen sich Legionellen vermehren können und aus denen diese in den Zirkulationskreislauf eingetragen werden könnten. Hierzu zählen u. a. nicht ausreichend durchströmte Bereiche in Speichern und Trinkwassererwärmern, Strangentlüfter sowie an den Zirkulationskreislauf angebundene Stagnationszonen.
- Stabile Bereitstellung der Solltemperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers, sodass Sollwertunterschreitungen nur im Bereich weniger Minuten pro Tag auftreten.

Der Einbau einer UF- bzw. AF-Anlage in die Trinkwasserinstallation trägt je nach Einbauort dazu bei, als Barriere den Eintrag von Legionellen und Amöben aus dem vorgelagerten Verteilungsnetz in die Trinkwasserinstallation zu verhindern (UF1) bzw. als Senke eingetragene Legionellen und Amöben aus dem Zirkulationskreislauf zu entfernen (UF3 und AF5).

Findet in der Trinkwasserinstallation eine Legionellenvermehrung statt, wird dieses durch den Einbau einer Ultrafiltrationsanlage am Hauseingang (UF1) nicht beeinflusst. Durch den Einbau einer UF3 bzw. AF5 kann eine Verringerung bestehender Legionellenkontaminationen, jedoch keine vollständige Beseitigung erreicht werden. Eine Temperaturabsenkung ist in derartigen Situationen nur möglich, wenn die Installation vorher saniert wird und dann ohne Legionellennachweis ist. UF/AF-Anlagen allein sind also ohne weitere technische und betriebliche Maßnahmen nicht geeignet, eine vorhandene Kontamination mit Legionellen im zentralen oder peripheren Bereich - sowohl TWK als auch TWW - zu beseitigen.

Für den peripheren Bereich der Trinkwasserinstallationen ist festzustellen, dass sowohl bei einer TWW-Temperatur von 60 °C als auch bei niedrigeren TWW-Temperaturen punktuell und sporadisch Legionellenkontaminationen, auch mit Überschreitungen des TMW, auftreten können. Als sporadisches bzw. seltenes Auftreten von Legionellennachweisen gilt dabei gemäß Tabelle 6-1 ein positiver Nachweis in $\leq 10\%$ der untersuchten Proben. Sofern der zentrale Bereich ohne Legionellennachweis ist, handelt es sich bei sporadischen Legionellennachweisen in der Peripherie überwiegend um eine Kontamination mit *Legionella non-pneumophila*, die in diesen Fällen in der Regel auch im Trinkwasser kalt nachgewiesen werden. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass die Kontamination der Zapfstellen (Mischarmaturen) mit dem Trinkwasser kalt in Zusammenhang steht. Die Anzahl der betroffenen peripheren Zapfstellen, die Häufigkeit der positiven Legionellennachweise und die Anzahl der Überschreitungen des TMW an den peripheren Zapfstellen nehmen tendenziell mit abnehmender Temperatur im zentralen Bereich zu. Während bei Temperaturen von $\geq 55\text{ °C}$ und regelmäßiger Wasserentnahme im durchflossenen Bereich der Armaturen eine Abtötung bzw. Inaktivierung von Legionellen möglich ist, ist dies bei niedrigeren Temperaturen nur noch bedingt bzw. nicht mehr gegeben. Dies wird durch die Ergebnisse der im ULTRA-F-Projekt durchgeführten Emulatorversuche bestätigt.

Eine Absenkung der Temperatur im zentralen Bereich auf $T_{\text{Zirk,min}} \geq 50 \text{ °C}$ ist, wie die Ergebnisse des Vorläuferprojektes (EE+HYG@TWI) und die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen an der Versuchsanlage im ZET der TU Dresden zeigen, bei Einhaltung der oben genannten Voraussetzungen auch ohne Einsatz einer UF-Anlage möglich. Ob ggf. auch bei einer weiteren Absenkung der Temperatur auf $T_{\text{Zirk,min}} \geq 45 \text{ °C}$ auf eine UF/AF verzichtet werden kann, lässt sich nicht bewerten, da in den Feldobjekten beim Betrieb mit abgesenkter Temperatur immer UF- bzw. AF-Anlagen im Einsatz waren.

9.2 Risikobewertung

Wenn die Voraussetzungen gegeben sind, ist im konkreten Fall vor Absenkung der TWW-Temperatur eine Risikoabschätzung in Anlehnung an das WSP-Konzept für Gebäude¹⁶ vorzunehmen und dabei zu prüfen, ob der Zustand und der Betrieb der Installation den a. a. R. d. T. entsprechen, die angepassten DVGW-Rahmenbedingungen (Abschnitt 10.1) sowie die unter Abschnitt 8.1 genannten Voraussetzungen erfüllt sind. Es ist eine verantwortliche Person zu benennen und der Einsatz der UF-Anlage beim zuständigen Gesundheitsamt anzuzeigen. Die Temperaturabsenkung sollte schrittweise, begleitet durch eine Beprobung und Untersuchung auf Legionellen im zentralen und peripheren Bereich im Trinkwasser kalt und Trinkwarmwasser, erfolgen. Für die hygienische Risikoabschätzung kann eine Differenzierung nach dem Vorkommen (Tabelle 6-1) und den Konzentrationen von Legionellen unter Berücksichtigung der objektspezifischen Gegebenheiten vorgenommen werden:

- Niedriges Risiko: Sporadischer peripherer kultureller Nachweis im Trinkwasser kalt und/oder im Trinkwarmwasser
- Mittleres Risiko: Wiederkehrender peripherer kultureller Nachweis im Trinkwasser kalt und/oder im Trinkwarmwasser
- Hohes Risiko: Kultureller Nachweis im zentralen Bereich, regelmäßiger peripherer kultureller Nachweis im Trinkwarmwasser und/oder im Trinkwasser kalt

Werden im zentralen Bereich Legionellen kulturell nachgewiesen, ist die Kontaminationsstelle zu ermitteln und über geeignete Maßnahmen zu beseitigen. Ist dies nicht möglich, muss die TWW-Temperatur wieder auf 60 °C angehoben werden.

9.3 Anforderungen an UF-Anlagen und Adsorber

Zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken für den Verbraucher durch in der Trinkwasserinstallation eingesetzte UF-Anlagen oder Adsorber, die durch Störungen des Betriebes, technische Mängel der Anlagen sowie eine unzureichende Sach- und Fachkenntnis der Betreiber entstehen können, ergeben sich Anforderungen an die Anlagen und deren Betrieb, die in technischen Regeln festgeschrieben werden sollten.

¹⁶ Rapp, T. et. al. Das Water Safety Plan (WSP)-Konzept für Gebäude. ISSN 2363-823X. Umweltbundesamt Oktober 2020, <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/das-water-safety-plan-wsp-konzept-fuer-gebäude>

Im Rahmen des Projektes wurden Anforderungen an UF-Anlagen erarbeitet. Für Adsorber war das weder geplant noch möglich. Die grundsätzlichen Anforderungen sind zu übernehmen, spezielle Anforderungen an AF-Anlagen sind noch zu erarbeiten.

Folgende grundsätzliche Anforderungen an UF-Anlagen sind in den DVGW-Rahmenbedingungen enthalten und können bestätigt werden:

- Kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung der Betriebsparameter, automatischer Betrieb, tägliche Funktionskontrolle
- Anforderungen an Werkstoffe (DVGW Arbeitsblatt W 270, UBA-Leitlinien)
- Sicherungseinrichtungen vor/nach UF: Typ EA (kontrollierbarer Rückflussverhinderer)
- Sicherungseinrichtungen Spülwasseraustritt UF: Typ AA (ungehinderter freier Auslauf)
- Wasserqualität am UF-Ausgang hygienisch einwandfrei, auch bei Stagnation
- automatische Spülung mit freiem Auslauf
- bei UF1 täglicher Membranintegritätstest

Darüber hinaus wurden im Rahmen des ULTRA-F Projektes über die DVGW-Rahmenbedingungen hinaus zusätzliche bzw. modifizierte Anforderungen formuliert, die im Wesentlichen folgende Punkte betreffen:

- Quasi kontinuierliche, vollautomatisierte Überwachung der UF-Anlagen. Dringend zu empfehlen ist, diese dem Lieferanten oder Hersteller zu übertragen, da diese Aufgabe aufgrund der Komplexität der UF-Anlagen zentrale digitale Infrastruktur erfordert.
- Sicherstellung einer Fehlerbehebung an den Anlagen innerhalb von 48 h. Unabhängig davon sollte der Betreiber informiert und die TWW-Temperatur bei Ausfall einer UF- bzw. AF-Anlage unverzüglich durch eine verantwortliche Person vor Ort auf 60 °C erhöht werden. Einfache Anlageneingriffe zur Entstörung sowie die Anpassung von Prozessparametern sollten mittels Fernzugriff durch Hersteller, Lieferant oder geschultes Betriebspersonal möglich sein.
- Spülung mindestens aller sechs Stunden. Die Möglichkeit einer variablen Einstellung ist unter Berücksichtigung aktueller Parameter (Druckverlust, Permeabilität) notwendig.
- Modulwartung:
 - Ist CIP (cleaning in place) möglich: CIP mindestens aller 12 Monate notwendig; Permeabilitätssteigerung in Folge von CIP sicherstellen.
 - Ist nur COP (cleaning out of place) möglich: Modultauch und COP mindestens aller 12 Monate notwendig.
 - UF-Module sind zu ersetzen: im Rahmen eines COP, falls eine CIP-Maßnahme nicht die notwendige Permeabilitätssteigerung erbracht hat oder für das Modul ein Integritätsverlust diagnostiziert wurde.

- Für Adsorberkartuschen sind Standzeiten festzulegen. Hierfür fehlen bisher Untersuchungsergebnisse.

Das in der UF-Anlage vorhandene filtrierte Wasser sollte keinesfalls länger als 24 Stunden stagnieren. Im Filtrationsmodus sollten alle Anlagenteile, die Filtrat enthalten, dauerhaft durchströmt werden. Anlagen sollten so dimensioniert sein, dass ihre Module und Membranflächen für den Spitzenbedarf ausreichen, darüber hinaus aber keine unnötige Reserve aufweisen.

UF1-Anlagen müssen die Erwärmung des in ihnen stagnierenden Trinkwassers oder die Dauer von Stagnationsphasen mittels Spülung oder Abschlagbetrieb begrenzen. Eine solche Maßnahme ist besonders wichtig für Zeiträume mit geringem Trinkwasserverbrauch in der TWI.

Die Anlagen müssen mit entsprechenden Sensoren und Aktoren sowie einer für alle Betriebsarten konzipierten vollautomatisierten und speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgestattet sein. Betriebsmodi sind z. B. Filtration, Spülung, Entlüftung, Integritätstest, Prüfroutinen, Wartungsroutinen, ggf. Cleaning in Place (CIP), Wiederanfahrtroutinen nach Stromausfall und nach Unterbrechung der Wasserzufuhr.

UF/AF-Anlagen an den Installationsstellen UF1 und AF5 können bei Anlagenversagen (Membranverblockung, Stromausfall mit Fehlstellung von Ventilen) potenziell die Versorgungssicherheit der nachgeschalteten TWI (UF1 und AF5 für das TWW, UF1 zusätzlich für das TWK) gefährden. UF/AF-Anlagen an diesen Installationsstellen sollten daher Ventile mit einer Gangreserve aufweisen, die automatisch den Filtrationsbetrieb aufnehmen, und mindestens zwei zueinander redundante Membranmodule aufweisen.

Der wichtigste Indikator-Parameter für eine fortschreitende Anlagenverblockung ist die temperaturnormierte Permeabilität (Filtratvolumenstrom in m^3/h je Membranfläche in m^2 und je transmembranen Druck in bar, umgerechnet auf eine Wassertemperatur von $25\text{ }^\circ\text{C}$). Das setzt Sensoren für den Filtratvolumenstrom sowie den Druck im Zulauf (Feed) und im Filtrat zur Berechnung des Differenzdruckes voraus. Bei Systemen mit einer eigenen Pumpe für den Filtrationsbetrieb können deren Stromaufnahme oder die Steuerfrequenz für deren Versorgungsspannung als Indikatorparameter dienen.

UF/AF-Anlagen in der TWI inklusive ggf. vorhandener Bypassschaltung sind gegenüber unautorisierten Zugriffen (Datenzugang über die SPS oder rein mechanische Eingriffe) mittels verborgener Arretierung oder Verschluss zu schützen.

Der Betreiber muss Fachpersonal für eine Einweisung/Schulung durch den Hersteller oder Lieferanten sowie für die regelmäßige visuelle Anlagenkontrolle stellen. Die Einweisung/Schulung sollte das Personal des Betreibers befähigen, kleinere Entstörungen, die nicht per Fernzugriff durchgeführt werden können, eigenständig oder auf Anweisung vorzunehmen.

Der Betreiber muss organisatorisch sicherstellen, dass Auffälligkeiten an der TWI oder an der Wasserabnahme aus der TWI (inkl. relevanter Mieterbeschwerden) dem Hersteller

oder Lieferanten gemeldet werden, damit eine externe Prüfung von Anlagenfunktionen gezielt und rasch vorgenommen sowie Maßnahmen zeitnah eingeleitet werden können.

9.4 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

Bei jeglicher Absenkung der Temperatur unter die derzeit gültige $T_{\text{Zirk,min}} \geq 55 \text{ °C}$ sind die Investitionskosten für den Einbau von elektronischen Zirkulationsregulierventilen inklusive der Kosten für Datenübertragung, -archivierung und -auswertung zu berücksichtigen. Einzubeziehen sind außerdem die Kosten für erhöhten Beprobungsumfang und -häufigkeit von Legionellenuntersuchungen (siehe Abschnitt 10.1, Differenzierung nach $T_{\text{Zirk,min}}$ beachten).

Ersparnisse ergeben sich durch objektspezifische Energieeinsparung in der TWW-Bereitstellung und Zirkulation (siehe Abschnitt 8.2) sowie zusätzlich aus der Erhöhung der Effizienz der vorgelagerten Kette der Wärmebereitstellung (z. B. höhere Solarthermieerträge, höhere COP-Werte der Wärmepumpe, höhere Netzeffizienz der Fernwärme).

Kommen UF-Anlagen zum Einsatz müssen auf der Ausgabenseite zusätzlich deren Investitionskosten, Kosten für Wartung und Instandhaltung, der Energiebedarf der UF-Anlagen sowie der Personalaufwand berücksichtigt werden.

10 Empfehlungen für Normen und Regelwerke

10.1 Anpassung der DVGW-Rahmenbedingungen

Die Untersuchungen haben bestätigt, dass neben der Temperatur am Austritt aus dem Trinkwassererwärmer vor allem die niedrigste Temperatur in der Zirkulation von entscheidender Bedeutung ist. Insofern sollte künftig die Betriebsweise anhand der niedrigsten Temperatur in der Zirkulation $T_{\text{Zirk,min}}$ ¹⁵ beurteilt werden.

Das ULTRA-F-Projektteam empfiehlt die Fortschreibung der DVGW-Rahmenbedingungen für Modellprojekte mit folgenden Präzisierungen:

- Einhaltung der Grundanforderungen nach Kapitel 3
- Permanente Überwachung des thermohydraulischen Abgleichs, z. B. mittels elektronischer Zirkulationsregulierventile und Dokumentation/Archivierung der Temperaturmessdaten mindestens im ¼-Stundentakt.
- Beprobungsumfang und -häufigkeit von Legionellen kulturell bei abgesenkter Temperatur im TWWz:

$T_{\text{Zirk,min}} \geq 50 \text{ °C}$: nach 3 Monaten, 6 Monaten, 1 Jahr, danach wie nach TrinkwV

$T_{\text{Zirk,min}} \geq 45 \text{ °C}$: aller 3 Monate für 2 Jahre, danach jährlich

$T_{\text{Zirk,min}} < 45 \text{ °C}$: Betrieb bei diesen Temperaturen ist nicht zu empfehlen

10.2 *Legionella* non-pneumophila an peripheren Entnahmestellen

In den Feldobjekten wurden die kulturell nachgewiesenen Legionellen in *L. pneumophila* und *L. non-pneumophila* unterschieden. Überwiegend wurden *L. non-pneumophila*-Arten

nachgewiesen. *L. pneumophila* traten nur vereinzelt peripher in TWK und TWW auf, insbesondere, wenn diese auch im zentralen Bereich TWW nachweisbar waren. Vor diesem Hintergrund ist die weitere Klärung der hygienischen, medizinischen und epidemiologischen Relevanz auftretender Nachweise von *L. non-pneumophila* in Trinkwasserinstallationen von großer Bedeutung.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den ULTRA-F-Feldobjekten mit Legionellennachweisen an einzelnen Zapfstellen zumindest sporadisch auch im Trinkwasser kalt, ebenso bei einer TWW-Temperatur von 60 °C, *L. non-pneumophila* nachgewiesen wurden und dass derzeit praktisch keine Möglichkeit besteht, eine Kontamination im Kaltwasserbereich durch vertretbare technische Maßnahmen sicher zu verhindern und nachhaltig zu beseitigen.

Die Notwendigkeit einer Bewertung sporadisch auftretender Nachweise von *L. non-pneumophila* ergibt sich auch aus der Tatsache, dass es durch die Umstellung des nach TrinkwV vorgeschriebenen Untersuchungsverfahrens seit 2019 zu einer erheblichen Zunahme der Anzahl von *L. non-pneumophila*-Nachweisen in Trinkwasserinstallationen kam.

10.3 Umsetzung der Trinkwasserverordnung

Für die nächste Novellierung der TrinkwV ergeben sich aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes folgende Vorschläge.

Bei der Risikoabschätzung nach § 51 TrinkwV nach Erreichen des TMW für Legionellen können abgestufte Maßnahmen erfolgen, die davon abhängig sind, ob es sich um eine zentrale oder um eine periphere Belastung mit Legionellen handelt. Bei niedrigem Risiko mit ausschließlich peripherer Belastung kann von einer vollständigen Gefährdungsanalyse nach der Empfehlung des Umweltbundesamtes¹⁷ abgesehen und andere abgestufte Maßnahmen an den betroffenen Stellen durchgeführt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sporadische periphere Legionellennachweise von < 10 % der Gesamtanzahl an Proben auch bei Einhaltung der TWW-Temperatur von 60 °C möglich sind.

Bei der Risikoabschätzung nach TrinkwV können außerdem abgestufte Maßnahmen erfolgen, die davon abhängig sind, ob es sich bei den nachgewiesenen Legionellen um *L. pneumophila* oder *L. non-pneumophila*-Arten handelt: Bei ausschließlichem Nachweis von *L. non-pneumophila*-Arten an einzelnen peripheren Entnahmestellen sind bis zu einem Wert von 1.000 KBE/100 ml lediglich gezielte lokale Maßnahmen zu empfehlen, ohne dass das gesamte Maßnahmenpaket nach derzeit gültiger Gefährdungsanalyse erforderlich wird. Bei Nachweis von *L. non-pneumophila* im zentralen Bereich sollten die beschriebenen Maßnahmen nach Erreichen des TMW gelten.

¹⁷ Empfehlungen für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse gemäß Trinkwasserverordnung – Maßnahmen bei Überschreitung des technischen Maßnahmenwertes für Legionellen, Empfehlung des Umweltbundesamtes vom 14. Dezember 2012

Die Untersuchung von Legionellen im Trinkwasser kalt an ausgewählten Stellen wird unabhängig von der Art der Trinkwassererwärmung (dezentral/zentral) und der TWK-Temperatur als notwendig für die Überwachung der TWI angesehen. Diese sollte mindestens den Eingang zum Trinkwassererwärmer und die entferntesten Entnahmestellen von mindestens 50 % der TWK-Steigstränge umfassen.

11 Publikationen aus dem ULTRA-F-Projekt

Rühling K. et al. (2024): Koordinierter Schlussbericht EnOB: ULTRA-F - Ultrafiltration als Element der Energieeffizienz in der Trinkwasserhygiene. (in Vorbereitung)

Meyer B. et al. (2023): Bacterial populations in different parts of domestic drinking water systems are distinct and adapted to the given ambient temperatures, *Frontiers in Water* 5:1119951.

Kieper L. et al. (2022): Impact of temperature and ultrafiltration on *Legionella* spp. and aquatic bacteria in a potable water emulator. Poster 335/HYPRP, 74th Annual Meeting of the German Society for Hygiene and Microbiology, 5-7 September 2022, Berlin

Ausgewählte Begriffsdefinitionen - Glossar

Amöben, *Acanthamoeba castellanii*

Amöben sind einzellige, zellkernhaltige Organismen, die ubiquitär in der Umwelt vorkommen, vorzugsweise in feuchten Böden, Gewässern und Trinkwasser. Einige pathogene Arten können schwere Infektionskrankheiten beim Menschen hervorrufen. Amöben können in zwei verschiedenen Lebensstadien vorkommen: als umweltresistentes Ruhestadium, sogenannte Zysten, und als aktiv teilende Trophoziten. Amöben grasen auf Biofilmen, wobei sie Bakterien als Nahrung aufnehmen. Legionellen können den Verdauungsprozess in Amöben standhalten und sich parasitisch in ihnen vermehren. Bei *Acanthamoeba castellanii* handelt es sich um eine Amöbenart der Gattung *Acanthamoeba*. Einige *Acanthamoeben* können in seltenen Fällen Augeninfektionen (Keratitis) und Gehirnentzündungen (Granulomatöse Amöben-Enzephalitis) auslösen. *A. castellanii* ist ein für Forschungszwecke häufig verwendeter Modellorganismus und eignet sich als Wirt zur Vermehrung von *Legionella pneumophila*.

AOC

Der AOC (assimilable organic carbon) ist eine Fraktion des DOC (dissolved organic carbon; gelöster organischer Kohlenstoff) und umfasst leicht assimilierbare organische Kohlenstoffverbindungen. Dies sind niedermolekulare, mikrobiell leicht verwertbare Substanzen, z.B. organische Säuren und Aminosäuren. Der AOC ist somit ein Indikator für die Nährstoffverfügbarkeit und damit für die Neigung zur Aufkeimung von Wasser. Zur AOC-Messung wird das Wachstum der Bakterien in einer Wasserprobe bestimmt. Trinkwasser mit einer AOC-Konzentration von kleiner 5 µg/L_{Acetat-C-Äquivalente} und DOC-Konzentration von 0,6 mg/L gilt als nährstoffarm.

Biofilm

Unter „Biofilm“ werden alle Ansammlungen von Mikroorganismen an Grenzflächen (häufig: fest/flüssig) verstanden. Im Biofilm sind die Organismen in eine wasserhaltige Matrix aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) eingebettet.

Biofilm-Populationen/Biozönose

Die Biozönose eines Biofilms besteht aus mikrobiellen Populationen und stellt die Gesamtheit aller Organismen dar, die eine Grenzfläche besiedeln. Die wichtigsten Vertreter in Trinkwasserbiofilmen sind Bakterien, Protozoen (Amöben, Flagellaten und Ciliaten) sowie Pilze. Diese verschiedenen Organismen bilden komplexe Lebensgemeinschaften (Biozönosen), die in vielfältiger Weise interagieren.

Desinfektion

Desinfektion ist ein Prozess, durch den die Anzahl vermehrungsfähiger Mikroorganismen infolge von Abtötung/Inaktivierung unter Angabe eines standardisierten, quantifizierbaren Wirkungsnachweises reduziert wird mit dem Ziel, einen Gegenstand/einen Bereich/ein Medium in einen Zustand zu versetzen, durch den von diesem keine Infektionsgefährdung mehr ausgehen kann. Ziel der Desinfektion ist die definierte Verminderung der Anzahl pathogener oder fakultativ-pathogener Mikroorganismen, nicht aber die Eliminierung von Umweltmikroorganismen ohne Bedeutung für die menschliche Gesundheit.

Dezentrale Kontamination (periphere ~)

In diesem Projekt: Positiver kultureller Nachweis für *Legionella* spp. im Bereich des endständigen, nicht zirkulierenden Leitungsabschnitts (Trinkwasserentnahme durch den Nutzer) der Trinkwarmwasserinstallation (≤ 3 Liter Wasserinhalt).

Durchflusszytometrie (DFZ)

Bei der Durchflusszytometrie handelt es sich um ein messtechnisches Verfahren zur kultivierungsunabhängigen Quantifizierung von Zellen. Dabei fließen im Durchflusszytometer mit fluoreszierenden Farbstoffen markierte Zellen aus einer Probe vereinzelt durch einen Laserstrahl, wobei das entstehende Fluoreszenz- und Streulicht von Detektoren erfasst wird. Je nach Fluoreszenzfarbstoff kann anhand der Intensität des Fluoreszenzsignals der DNA-Gehalt detektiert werden. Das Ausmaß der Lichtstreuung gibt Auskunft über Größe und Granularität einer Zelle. Mit der Verwendung eines membranängigen und eines nicht membranängigen Fluoreszenzfarbstoffes kann zwischen lebenden (membranintakten) und toten (membrandefekten) Zellen unterschieden werden. So können die Gesamtzellzahl, die Intaktzellzahl und das Verhältnis aus großen (HNA) zu kleinen (LNA) Zellen in einer Wasserprobe bestimmt werden. Durch spezifische Methoden vor Einsatz der Durchflusszytometrie können auch die Zellzahlen von bestimmten Bakterien bestimmt werden.

Fakultativ-pathogene Erreger

Erreger, die zur Auslösung von Infektionskrankheiten spezifische Voraussetzungen benötigen, aber auch bei Immunsuppression Infektionskrankheiten auslösen können (z. B. *P. aeruginosa*, *L. pneumophila*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp.). Beispiele für spezifische Voraussetzungen sind: das Eröffnen des Zugangs zu normalerweise sterilen Körperbereichen (z. B. durch Kathetersysteme bzw. Fremdkörper), das Abtöten der physiologischen Mikroflora durch Antibiotika, Wunden oder eine Veränderung der physiologischen Abwehr.

Gesamtzellzahl (GZZ)

Menge aller Zellen in Wasserproben, die im Projekt ULTRA-F mittels Durchflusszytometrie bestimmt werden. Angegebene Einheit: 1/mL. Es findet keine Unterscheidung zwischen membranintakten und membrangeschädigten (lebend/tot) Zellen statt.

Hygienisches Risiko

Der Begriff „Risiko“ umfasst entsprechend dem Bericht der Risikokommission (2003) die qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkung. Die Weltgesundheitsorganisation definiert Risiko als die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, einen Schaden in einer exponierten Population innerhalb eines bestimmten Zeitraumes und unter Berücksichtigung der Größe des Schadens auszulösen. Die Wahrscheinlichkeit, dass es in einem bestimmten Zeitraum zu Schäden bei einer Person, einer Gruppe von Personen, Pflanzen, Tieren und/oder der Ökologie in einer spezifischen exponierten Region in einer spezifischen Dosis oder Konzentration durch ein schädigendes Agens kommt, hängt von dem Grad der Toxizität eines Agens sowie vom Ausmaß der Exposition ab.

Das „hygienische Risiko“ beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gesundheitsschaden sowohl Individuen als auch die öffentliche Gesundheit betrifft. Die Wahrscheinlichkeit eines Schadens bezieht sich hierbei z. B. auf Infektionen, Erkrankung, Tod oder Behinderung, welche in einem spezifischen Zeitraum auftreten.

Koloniebildende Einheiten (KBE)

Anzahl der auf einem Nährboden sichtbaren Kolonien, die nach unterschiedlichen Methoden bestimmt werden. Die KBE sind z. B. abhängig vom eingesetzten Nährboden, der Bebrütungstemperatur und -zeit.

Koloniezahl bei 22 und 36 °C

Die Koloniezahl ist die Zahl von sichtbar werdenden Kolonien, die sich aus einer definierten Probenmenge bei festgelegtem Nährstoffangebot, festgelegter Bebrütungstemperatur und innerhalb einer bestimmten Zeit in oder auf einem Agar-Nährmedium entwickeln. Es handelt sich um eine Methode zur Bestimmung der Konzentration kultivierbarer Mikroorganismen. Die Angabe der Konzentration erfolgt als koloniebildende Einheiten (KBE), bezogen auf ein Volumen oder eine Fläche, und dient als Maßeinheit für die Konzentrationsangabe jedweder auf Agar-Platten kultivierbarer Bakterien.

Die Bestimmung der Koloniezahlen als Indikatorparameter nach der Trinkwasserverordnung in 1 mL des zu untersuchenden Wassers dient zur Erfassung von Bakterien, die auf einem definierten, relativ nährstoffreichen Nährmedium im Plattengussverfahren bei 22 (oder 20) °C bzw. 36 °C bebrütet werden.

Legionellen (*L. spp.*)

Der Begriff Legionellen bezeichnet im deutschen Sprachgebrauch die Gattung *Legionella*. Diese Gram-negativen, schlank oder kokkoid stäbchenförmigen, aeroben Bakterien mit komplexen Nährstoffanforderungen sind monopolar begeißelt und damit beweglich. Man unterscheidet über 60 verschiedene Arten anhand unterschiedlicher morphologischer, physiologischer und genetischer Charakteristika. Legionellen sind an feuchten und bevorzugt warmen Standorten zu finden, natürliches Habitat sind Gewässer und feuchte Böden. Kühltürme, Klimaanlage, Trinkwasser-Installationen etc. stellen durch Aerosolbildung eine Infektionsgefahr für den Menschen dar.

Legionella pneumophila (L.p.)

L. pneumophila ist ein fakultativ humanpathogenes Bakterium innerhalb der Gattung *Legionella*, das 90-95 % aller gemeldeten Legionella-Pneumonien verursacht.

Legionellennachweis

Ergebnis der hygienisch-mikrobiologischen Untersuchung der an einer definierten Probenahmestelle entnommenen Trinkwasserprobe, die in einem akkreditierten Labor auf eine Kontamination mit *Legionella spp.* untersucht worden ist. Es liegen in der Regel Angaben zu weiteren Beurteilungskriterien vor.

Pseudomonaden, *P. aeruginosa*

Der Begriff Pseudomonaden bezeichnet Bakterien der Gattung *Pseudomonas*. Dies sind Gram-negative, Oxidase-positive, stäbchenförmige Bakterien mit geringen Nährstoffanforderungen, die polar begeißelt und damit beweglich sind. Pseudomonaden

sind ubiquitär verbreitet, also im Boden und Wasser sowie assoziiert mit Pflanzen, Tieren und Menschen zu finden.

P. aeruginosa ist ein fakultativ humanpathogenes, aerobes Bakterium, das häufig Krankenhausinfektionen verursacht und bevorzugt immunsupprimierte Menschen infiziert. Pyocyanin- und Fluoreszein-Bildung sind charakteristische Merkmale, welche die Unterscheidung zu anderen Vertretern der Gattung ermöglichen und die im kulturellen Nachweis überprüft werden. Auch wenn in Dokumentation und Sprachgebrauch der Sammelbegriff „Pseudomonaden“ weit verbreitet ist, werden Trinkwasserproben meist spezifisch auf die Art *P. aeruginosa* untersucht.

Quantitative Echtzeit-Polymerase-Kettenreaktion (qPCR)

Die quantitative Echtzeit-Polymerase-Kettenreaktion (englisch real-time quantitative polymerase chain reaction, qPCR) ist ein Analyseverfahren zur Detektion und Quantifizierung von Nukleinsäuren (DNA oder RNA). Durch Kopplung an ein fluoreszierendes Reportermolekül kann die Menge der vervielfältigten DNA bestimmt werden. Dabei ist die Zunahme der Fluoreszenzintensität proportional zur Zunahme der DNA-Konzentration und damit auch proportional zur Ausgangs-DNA. Die Anzahl der vervielfältigten DNA-Abschnitte kann z. B. als genomische Einheit pro Volumen oder Oberfläche angegeben werden.

Technischer Maßnahmenwert (TMW) für Legionellen

In der Trinkwasserverordnung besteht für *Legionella* spp. ein technischer Maßnahmenwert, der 100 KBE pro 100 mL Trinkwasser beträgt. Der „*technische Maßnahmenwert ist der Wert, bei dessen Überschreitung eine von der Trinkwasser-Installation ausgehende vermeidbare Gesundheitsgefährdung zu besorgen ist und Maßnahmen zur hygienisch-technischen Überprüfung der Trinkwasser-Installation im Sinne einer Gefährdungsanalyse eingeleitet werden*“ müssen.

Teilzentrale Kontamination

Positiver kultureller Nachweis in diesem Projekt für *Legionella* spp. im Bereich der Stränge und Stockwerksleitungen der Trinkwasser-Installation.

Trinkwasser-Installation (TWI)

Trinkwasser-Installation ist die „*Gesamtheit der Rohrleitungen, Armaturen und Apparate, die sich zwischen dem Punkt des Übergangs von Trinkwasser aus einer Wasserversorgungsanlage an den Nutzer und dem Punkt der Entnahme von Trinkwasser befinden*“. (s. TrinkwV)

Zentrale Kontamination

In diesem Projekt: Positiver kultureller Nachweis für *Legionella* spp. am Trinkwassererwärmer (Eintritt Trinkwasser (kalt), Austritt Trinkwarmwasser, und/oder Eintritt Zirkulation).