

Ergebnisse eines Forschungsvorhabens

Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung

Metallene Bauteile der Trinkwasserinstallation können aufgrund von Korrosionserscheinungen die Konzentration des Trinkwassers an Kupfer, Nickel und Blei erhöhen. Diese Schwermetallmigration wurde in einem mehrjährigen Forschungsvorhaben unter Labor- und Praxisbedingungen sowohl für kaltes als auch erwärmtes Trinkwasser untersucht. Die Autoren stellen die Ergebnisse des Forschungsvorhabens vor.

Mit Inkrafttreten der neuen Trinkwasserverordnung im Jahr 2003 (TrinkwV 2001) wurden die Anforderungen der EG-Richtlinie 98/83 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (EG-Trinkwasserrichtlinie) in deutsches Recht umgesetzt. Dementsprechend sind die benannten Wasserqualitätsparameter und -grenzwerte auch an »Zapfstellen auf Grundstücken oder in Gebäuden und Einrichtungen« einzuhalten, »die normalerweise der Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch dienen«. Sie sind gleichermaßen für kaltes und erwärmtes Trinkwasser gültig. Dies wird bislang auch in allen Entwürfen zur Novellierung der Trinkwasserverordnung beibehalten. Damit ist die Veränderung der Wasserqualität im Bereich der Trinkwasser-Installation gesetzlich geregelt. Material- und Bauteilwahl und eventuell auch die Art der Trinkwassererwärmung sind von Bedeutung.

Insbesondere steht die Einhaltung der Grenzwerte für Schwermetalle wie Nickel, Kupfer und Blei an der Entnahmestelle des Verbrauchers im Mittelpunkt des Interesses. Nach der TrinkwV 2001 sind die Grenzwerte (Tafel 1) nicht in einer Einzelprobe, sondern in einer für die durchschnittliche wöchentliche Wasseraufnahme repräsentativen Probe einzuhalten.

Da das europäisch harmonisierte Probenahmeverfahren bisher nicht festgesetzt wurde, gilt ein Probenahmeverfahren, das sich an der durchschnittlichen Entnahme von kaltem Trinkwasser orientiert. Das Verfahren wurde in der DIN 50931-1

beschrieben, die später durch die DIN EN 15664-1 ersetzt wurde. Die Prüfung des Migrationsverhaltens von Werkstoffen erfolgt für Rohrleitungen an definierten Rohrstücken, für Bauteile an speziell gefertigten Prüfkörpern. Auf diesen Untersuchungsergebnissen basiert die Festlegung der wasser- und werkstoffseitigen Einsatzbereiche in der DIN 50930-6. Für Bauteile, bei deren Fertigung eine Werkstoffveränderung auftreten kann (z. B. durch eine Wärmebehandlung), können diese Einsatzbereiche nicht übernommen werden. Bisher vorliegende praktische Erfahrungen und ausgewählte Untersuchungen bestätigen, dass nur eine Prüfung mit den Bauteilen – wie Armaturen, Warmwasserzähler, Wärmeübertrager – als Prüfkörper zu aussagefähigen Daten führen.

Außerdem fehlen belastbare Aussagen zum Einfluss der Temperatur sowie der thermischen Wechselbelastungen bei der Trinkwassererwärmung. Für Bauteile der Trinkwarmwasserinstallation gibt es daher gegenwärtig keine eindeutigen Einsatzkriterien. Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse wurden nach der zu Beginn des Forschungsvorhabens gültigen DIN 50931-1 erhalten.

Das Forschungsvorhaben »Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung« [1] hatte das Ziel, zu Aussagen zur Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwarmwasserversor-

Element	Grenzwert nach TrinkwV 2001	
	mg/l	µg/l
Kupfer	2,0	2 000
Nickel	0,020	20
Blei	bis Ende 2012	0,025
	ab 2013	0,010

Tafel 1. Relevante Grenzwerte nach TrinkwV 2001

Nr.	Prüfling PWÜ	Prüfling WWZ
VR 1	PWÜ aus 100 % nichtrostendem Stahl	vernickelter WWZ horizontaler Einbau
VR 2	kupfergelöteter PWÜ aus nichtrostendem Stahl	vernickelter WWZ vertikaler Einbau
VR 3	nickelgelöteter PWÜ aus nichtrostendem Stahl	Grauguss-Pumpengehäuse vertikaler Einbau ¹

¹ In Teststrecke 2 mit separater Zirkulation ohne Beheizung

Tafel 2. Übersicht Prüflinge

Dr.-Ing. Karin Rühling, TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft; Dipl.-Ing. Werner Nissing, Dinslaken; Dipl.-Chem. Ulrike Wagner, AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt am Main; Dipl.-Ing. (FH) Isabell Markwardt, IKS Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH

gung zu gelangen. Dabei stand im Fokus der Arbeiten vor allem der Vergleich der Migrationsraten von Trinkwarmwasser (TWW) und Trinkwasser (TW) bei jeweils gleichen Installationsbedingungen. Die Bearbeitung gliederte sich in:

- Komplex I, Auslegung, Errichtung und Betrieb einer Versuchsanlage sowie
- Komplex II, Felduntersuchungen.

Die Untersuchung erfolgte am Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH sowie an der Professur für Energiesystemtechnik und Wärmetechnik des Instituts für Energietechnik der Technischen Universität Dresden

Komplex I

Versuchsanlage zum Bauteiltest

Die aus den Hauptbaugruppen »Trinkwassermodul« (mit trinkwasserseitig zu prüfenden Bauteilen) und »Modul Beheizung« (Heizseite der Trinkwassererwärmung) bestehende Versuchsanlage (Bild 1) wurde für den Test von Plattenwärmeübertragern (PWÜ) und Warmwasserzählern (WWZ) konzipiert. Sie ist jedoch so ausgelegt, dass auch die Schwermetallmigration aus anderen Bauteilen der Trinkwasserversorgung bestimmt werden kann. Als Prüfwasser wurde das vor Ort vorliegende Trinkwasser verwendet, dessen Beschaffenheit nur gering schwankte.

Für den Ablaufplan und die Probenahme der Prüf- und Stagnationswässer wurden die Vorgaben der DIN 50931-1 übernommen und mittels SPS-7-Steuerung automatisiert. Die Messphasen lagen bei $T = 1, 2, 3, 6, 12, 18$ und 26 Betriebswochen. Die Probenahme erfolgte je Messphase T nach $t = 0,5 \text{ h}, 1 \text{ h}, 2 \text{ h}, 4 \text{ h}, 8 \text{ h}$ und 16 h Stagnation.

Als Prüfkörper wurden baugleiche Bauteile einer Produktionsserie verwendet. Die Emulation realitätsnaher Verhältnisse für Trinkwasser (TW) beziehungsweise Trinkwarmwasser (TWW) erfolgte durch Parallelbetrieb nachfolgender 3 Teststrecken:

- Referenzstrecke für Trinkwasser kalt,
- Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation,
- Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation.

Die Trinkwassererwärmung auf 60 °C erfolgte im Durchflussprinzip.

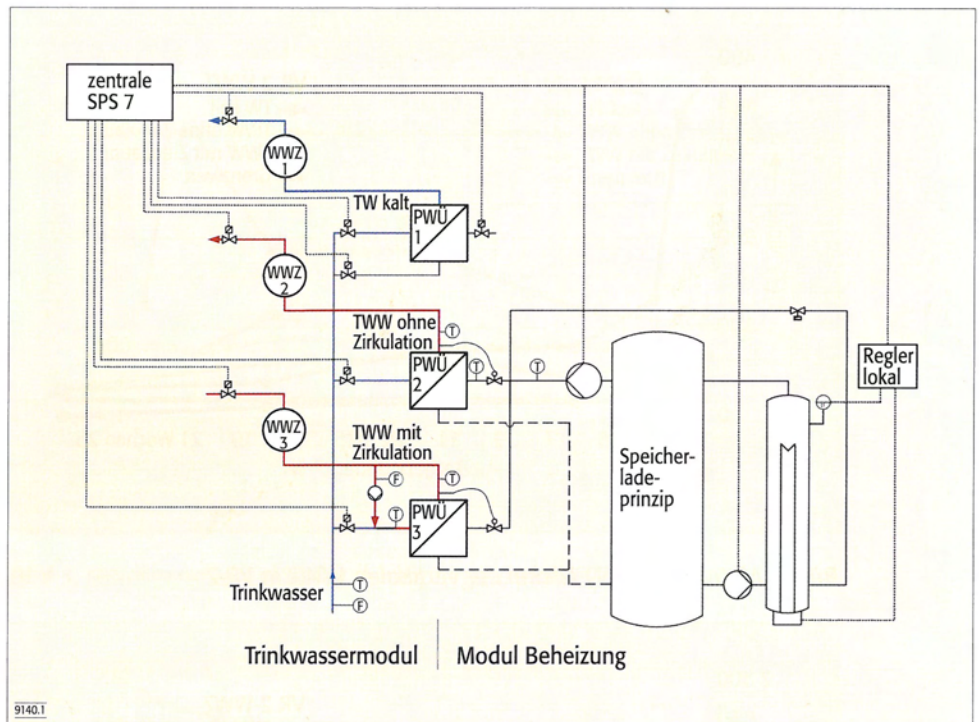


Bild 1. Vereinfachtes Schaltbild der Versuchsanlage Bauteiltest-Schwermetallmigration

Parameter	Einheit	VR 1	VR 2	VR 3
pH-Wert		8,02 16,6 °C	8,14 17,0 °C	8,09 17,0 °C
spez. elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	270	281	274
$K_{S4,3}$	mmol/l	1,57	1,54	1,55
Härte	mmol/l	1,1	1,2	1,1
Calcium	mg/l	39,4	40,2	37,9
Magnesium	mg/l	2,87	2,87	2,87
Chlorid	mg/l	11,4	11,9	11,8
Sulfat	mg/l	31,1	29,4	30,8
Nitrat	mg/l	11,0	10,5	11,5
TOC	mg/l	2,02	2,0	2,0
Blei	µg/l	<2	<2	<2
Kupfer	µg/l	4,9	5,1	4,6
Nickel	µg/l	<2	<2	<2
Eisen (ges.)	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Mangan	µg/l	<2	<2	<2

Tafel 3. Trinkwasserparameter am Eintritt der Versuchsanlage

Alle 3 Prüfstecken wurden voneinander unabhängig über ein an die SPS 7 gekoppeltes Touchpanel beobachtet und für die Probenahme gesteuert. Ein Monitoringsystem mit Archivierung erlaubte die Kontrolle sowie statistische Auswertung ausgewählter Volumenströme und

Temperaturen. Die Prüfplätze WWZ 1 bis 3 sowie PWÜ 1 und 2 wurden nur in den Spülzeiten durchströmt. In der Teststrecke 3 zirkulierte das Trinkwarmwasser im Bereich des Prüflings PWÜ 3 wie in der Praxis permanent (Bild 1). Bei den Migrationswerten für die Prüflinge am

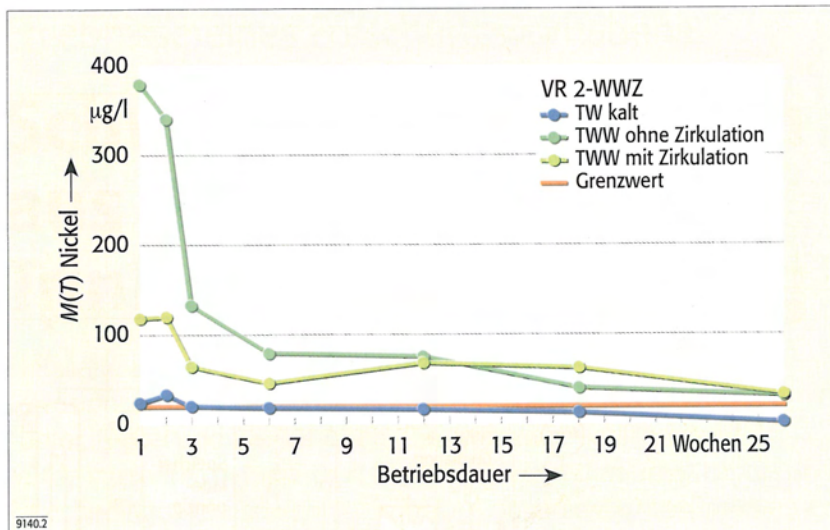


Bild 2. Mittelwerte $M(T)$ Nickel der vertikalen WWZ in VR 2

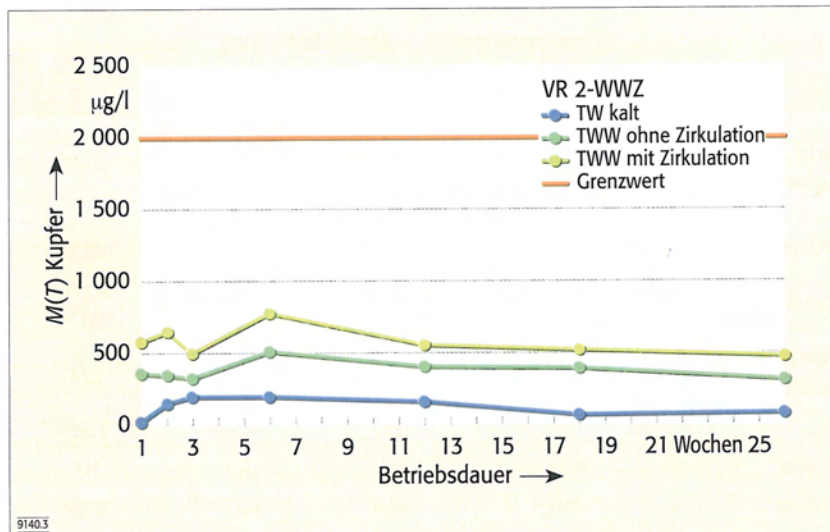


Bild 3. Mittelwerte $M(T)$ Kupfer der vertikalen WWZ in VR 2

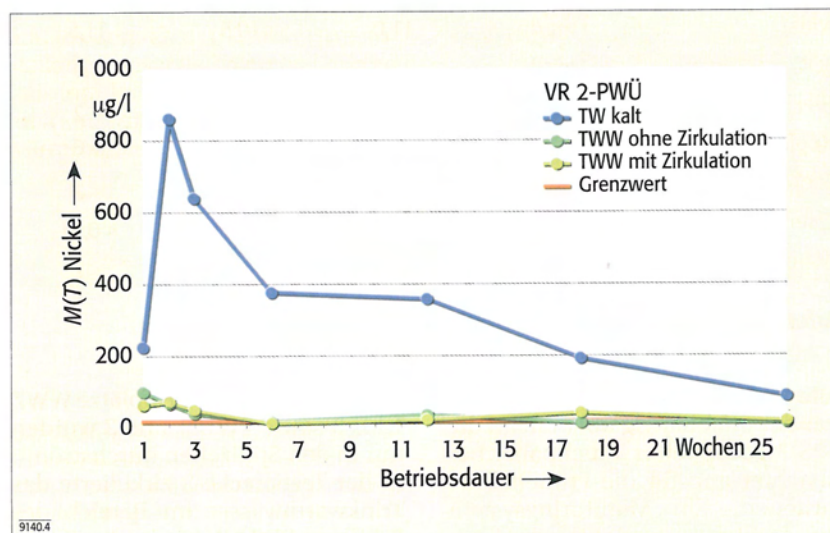


Bild 4. Mittelwerte $M(T)$ Nickel der kupfergelöteten PWÜ in VR 2

Platz PWÜ 3 handelt es sich somit nicht um Resultate echter Stagnationswasserproben, da nur zu den Probenahmen selbst die Zirkulationspumpe ausgeschaltet wurde.

Versuchsreihen mit am Versuchsort vorliegender Trinkwasserbeschaffenheit

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden 3 unterschiedliche Versuchsreihen VR 1 bis VR 3 mit je 3 baugleichen Prüflingen an den Einbauorten Wärmeübertrager (PWÜ) beziehungsweise Warmwasserzähler (WWZ) durchgeführt, die in *Tafel 2* näher charakterisiert sind.

Das für die Untersuchung verwendete Trinkwasser kam überwiegend aus dem Wasserwerk Dresden-Coschütz. Es handelt sich dabei um ein weiches, salzarmes (aufbereitetes) Oberflächenwasser. Relevant für die Auswertung sind die in *Tafel 3* zusammengestellten Mittelwerte der Wasserparameter am Eintritt in die Versuchsanlage.

Die Probenahmen und analytischen Untersuchungen zur Schwermetallmigration führte das IKS Dresden als akkreditiertes Labor aus. Zum Einsatz kam das Atomabsorptionsspektrometer Analyst 800 der Perkin Elmer Inc., Waltham/USA, ausgestattet mit Graphit- und Flammentechnik. Die Nachweisgrenze liegt für Kupfer, Nickel und Blei bei 2,0 µg/l und für Eisen bei 100 µg/l.

Nach DIN 50931-1 geprüfte Werkstoffe gelten nach DIN 50930-6 als für den Einsatz in der Trinkwasserinstallation geeignet, wenn durch die Stagnationsbeprobung in der 26. Versuchswoche nachgewiesen werden kann, dass der Mittelwert $M(T)$ unterhalb des Grenzwerts nach TrinkwV 2001 liegt. Für aus diesen Werkstoffen gefertigte Bauteile in realen Trinkwasserinstallationen erfolgt eine Wichtung über den *B*-Wert. Der *B*-Wert ist als das Verhältnis der wasserberührten Oberfläche des Bauteils zur gesamten wasserberührten Oberfläche der Installation definiert. Da für den *B*-Wert gilt $0 < B \leq 1,0$, sind entsprechend höhere Migrationswerte $M(T)$ zulässig. Beispielsweise gilt derzeit für Armaturenwerkstoffe $B = 0,14$, woraus rd. 7-fach höhere zulässige Migrationswerte $M(T)$ resultieren. *B*-Werte sind derzeit weder für Warmwasserzähler noch für Plattenwärmeübertrager definiert, sodass bei allen Darstellungen der

strenge B-Wert von 1 zugrunde liegt. In den Darstellungen entspricht daher »Grenzwert« dem Grenzwert der TrinkwV 2001. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens herausgearbeiteten Erkenntnisse werden exemplarisch anhand der Analyseergebnisse der Versuchsreihe VR 2 erläutert.

Warmwasserzähler vertikale Einbaulage VR 2

Die Schwermetallmigration aus den Warmwasserzählern (WWZ) in einer praxisüblichen vertikalen Einbaulage für Nickel und Kupfer innerhalb der 26 Versuchswochen zeigte für Kupfer und Nickel eine deutliche Abhängigkeit von der Temperatur. Die an den Gehäusen gemessene Temperatur lag im Trinkwasser kalt bei 19 °C und in den Strecken TWW ohne Zirkulation bei 44 °C beziehungsweise mit Zirkulation bei rd. 47 °C. Dies zeigt den deutlichen Einfluss der Wärmeleitung über die Rohrleitung, da die WWZ selbst nur in den Spülzeiten mit TWW durchströmt wurden. Der $M(T)$ -Wert für Blei lag in allen Messphasen unter der Nachweisgrenze und ebenso wie für Kupfer stets unter dem Grenzwert der TrinkwV 2001. Für Nickel hingegen lag auch nach 26 Wochen noch eine Grenzwertüberschreitung vor.

Kupfergelötete Plattenwärmeübertrager VR 2

Anders als bei den WWZ lag die Migrationsrate der PWÜ-Prüflinge im Trinkwasser kalt deutlich über der in Trinkwarmwasser.

Bei Kupfer lag in keiner Messphase eine Grenzwertüberschreitung vor.

Die Grenzwertüberschreitung für Nickel des kupfergelöteten Plattenwärmeübertragers in der Referenzstrecke Trinkwasser kalt ist für die menschliche Gesundheit nicht relevant, da derartige Bauteile nur für Trinkwarmwasser zum Einsatz kommen. Dennoch war grundsätzlich die Plausibilität der Untersuchungsergebnisse zu beweisen. In Ableitung der Ergebnisse vereinfachter Untersuchungen in [2] wurde vermutet, dass im TWW-Bereich bereits in der ersten Betriebswoche eine signifikante Migration stattfindet. Deshalb erfolgte im Anschluss an die VR 2 der Einbau eines bau- und seriengleichen PWÜ in Teststrecke 2 und dessen beheizter Betrieb mit den regulären Spül- und

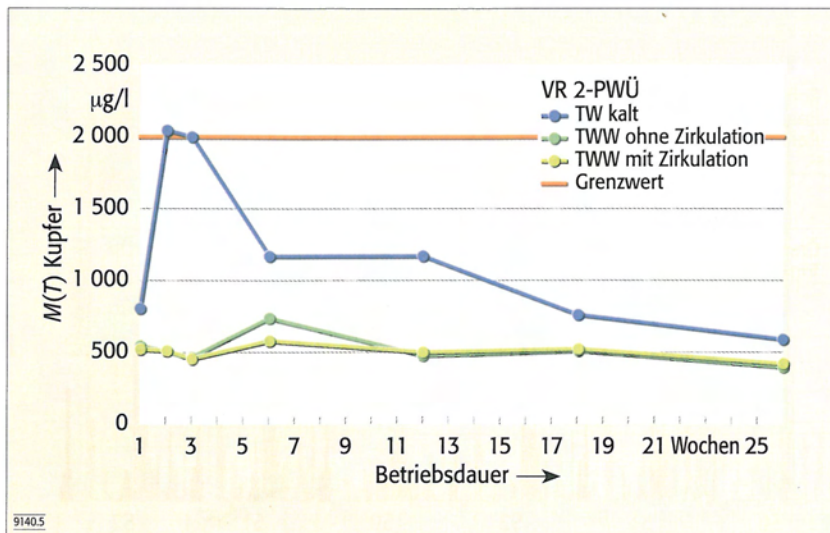


Bild 5. Mittelwerte $M(T)$ Kupfer der kupfergelöteten PWÜ in VR 2

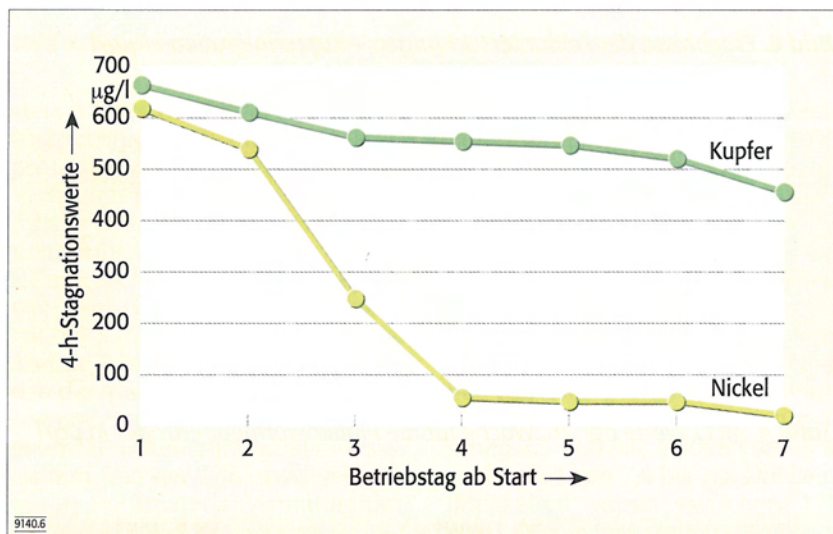


Bild 6. 4 h-Stagnationswerte in der ersten Betriebswoche eines kupfergelöteten PWÜ im Zweig TWW ohne Zirkulation im Anschluss an VR 2

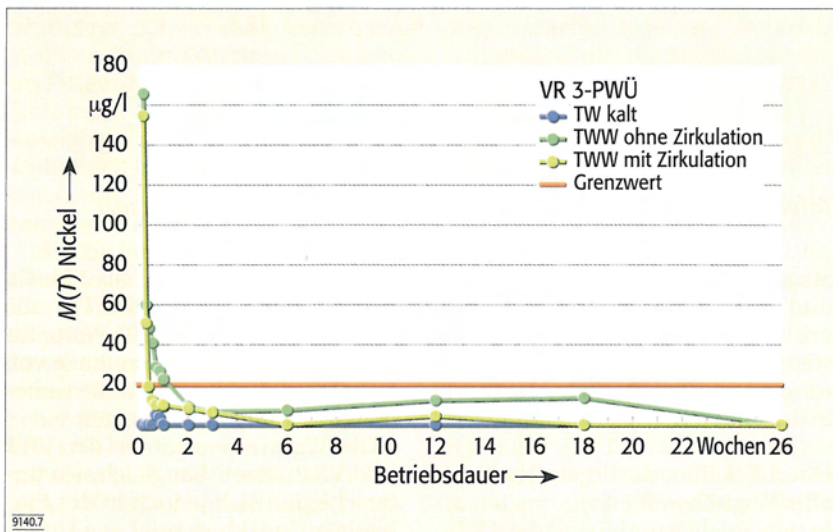


Bild 7. Mittelwerte $M(T)$ Nickel der nickelgelöteten PWÜ in VR 3

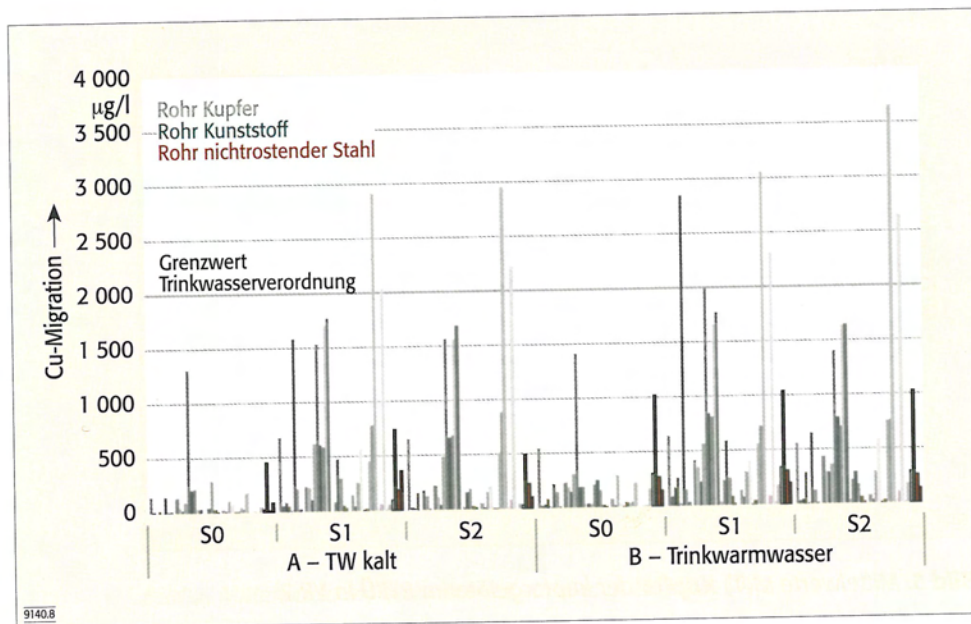


Bild 8. Ergebnisse der Felduntersuchungen – Kupfermigration in µg/l

Teststrecke	VR 1-PWÜ nichtrostender Stahl		VR 2-PWÜ kupfergelötet		PWÜ nickelgelötet	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
Grenzwert	2 000	20	2 000	20	2 000	20
1-TW kalt	14,8	<2	582	81,9	17,4	<2
2-TWW o. Zirk.	17,8	<2	392	8,2	21,5	<2
3-TWW m. Zirk.	82,7	3,0	405	13,4	74,7	<2

Tafel 4. $M(T)$ -Werte der 26. Woche für die Plattenwärmeübertrager in µg/l

Teststrecke	VR 1-WWZ horizontale Einbaulage		VR 2-WWZ vertikale Einbaulage	
	Cu	Ni	Cu	Ni (µg)
Grenzwert	2 000	20	2 000	20
1-TW kalt	99,1	6,2	72,8	<2
2-TWW o. Zirk.	138	7,1	306	29,7
3-TWWW m. Zirk.	186	7,5	464	31,5

Tafel 5. $M(T)$ -Werte der 26. Woche für die Warmwasserzähler in µg/l

Stagnationszeiten über eine Woche und einer täglichen 4-h-Stagnationsbeprobung. Wie Bild 6 zeigt, bestätigte das Experiment die Vermutung einer signifikanten Migration in der ersten Betriebswoche.

Überblick über die Ergebnisse aller Versuchsreihen

In den Tafeln 4 und 5 sind die $M(T)$ -Werte der 26. Betriebswoche für alle untersuchten Prüflinge geordnet

nach den Teststrecken 1 bis 3 für Cu und Ni zusammengefasst. Für alle Prüflinge lagen die $M(26)$ -Werte für Blei unter der Nachweisgrenze von 2 µg/l und sind damit für die weitere Betrachtung nicht relevant.

Die Warmwasserzähler der VR 1 und VR 2 waren baugleich, sie unterschieden sich jedoch in der Einbaulage. In [1] beschriebene Untersuchungen belegen, dass bei horizontaler Einbaulage (VR1) der untere

Teil des Gehäuses, der signifikante Migrationsraten aufweist, nicht beprobt werden kann. Das erklärt die höheren $M(T)$ -Werte in vertikaler Einbaulage (VR 2) bei Erfassung des gesamten Gehäuses. Unter Temperatureinfluss liegt für die WWZ hier eine Grenzwertüberschreitung vor, wobei an dieser Stelle nochmals auf die Annahme des strengen B -Werts von 1 hingewiesen wird.

Relevant für die Bewertung von PWÜ sind nur die Ergebnisse der Teststrecken 2 und 3, da ein Einsatz immer nur zur Trinkwassererwärmung erfolgt. Selbst bei einem $B = 1,0$ liegt nach 26 Wochen keine Grenzwertüberschreitung vor.

Erweiterung der Prüfvorschrift

Auf Basis der Ergebnisse der Versuchsreihen 1 bis 3 wird empfohlen, die Prüfvorschrift DIN EN 15664-1 folgendermaßen zu ergänzen beziehungsweise in einer weiteren Prüfnorm zu fassen:

- Es ist parallel zur Teststrecke Trinkwasser kalt mindestens eine für Trinkwarmwasser zu installieren und dem jeweils gültigen Prüfumfang zu unterziehen. Eine weitere Teststrecke mit permanenter Zirkulation ist zu empfehlen.
- Als einfacher Grundtest für die Vergleichbarkeit der Prüflinge sind vor Start der eigentlichen Testdauer für mindestens 3 Tage alle Teststrecken parallel ohne Beheizung mit dem Zapfprofil der gültigen Prüfvorschrift zu betreiben. Täglich ist mindestens eine 4-h-Stagnationsbeprobung vorzunehmen.
- Danach ist bis zur regulären Messphase $T = 1$ Woche je Teststrecke täglich mindestens eine 4-h-Stagnationsbeprobung durchzuführen.

Des Weiteren ergab die Auswertung der Untersuchungen Hinweise für eine mögliche Verminderung des Umfangs der Probenahmen während der Testdauer $T = 1$ bis 26 Wochen. Die $M(T)$ -Werte jeder Messphase lagen bei den 3 Versuchsreihen bei allen Prüflingen immer oberhalb des 2-h-Stagnationswerts und stets unterhalb des 8-h-Stagnationswerts, sodass der 4-h-Stagnationswert das Migrationsverhalten annähernd genau beschreibt. Vor einer entsprechenden Festlegung sollte jedoch eine statistische Auswertung der Ergebnisse der in der Vergangenheit durchge-

fürten Prüfkörperuntersuchungen zur Werkstoffzulassung herangezogen werden.

Komplex II

Methodik und Objekte der Felduntersuchungen

Im Komplex II »Felduntersuchungen« galt es über ausgewählte Probenahmeorte erste Erkenntnisse zur Schwermetallmigration im Bereich realer Trinkwasserinstallationen unter Berücksichtigung ausgewählter Einflussparameter zu liefern. Ausgehend von der jeweiligen Trinkwasserbeschaffenheit am Hauseintritt (Wasserzähler) stand die Analyse der Veränderung des Gehalts an Kupfer, Nickel und Blei auf dem Weg bis zur Entnahmestelle im Fokus, wobei nach den Verteilungswegen Trinkwasser kalt (TW) beziehungsweise Trinkwasser warm (TWW) zu differenzieren war.

Für Untersuchungen im Feld kommen zwar als Ort der Probenahme prinzipiell der direkte Bereich des Hausanschlusses und der zentralen Trinkwassererwärmung oder die Entnahmestelle selbst in Betracht. Unter anderem aus Gründen der Zugänglichkeit konnte jedoch nur der Entnahmestellenbereich betrachtet werden.

In Erweiterung der UBA-Empfehlung [3] wurde ein Konzept für die vergleichende Entnahme und Bewertung der S0-, S1- und S2-Proben im Trinkwasser kalt und Trinkwasser warm erarbeitet, die wie folgt definiert sind:

- S0-Probe; Ablauf von Trinkwasser kalt bis zum Erreichen einer konstanten Temperatur; Erfassen der Temperatur und Entnahme von einer 1-Liter-Probe.
- Vorzugsweise 4 h, mindestens jedoch 2 h Stagnation an der Probenahmestelle.
- S1-Probe; Entnahme des 1. Liters nach vorstehender Stagnationsphase ohne vorheriges Abfließen.
- S2-Probe; Entnahme des 2. Liters ohne weiteren Ablauf unmittelbar nach S1-Probe.
- Umrechnung der Messwerte der Stagnationsdauer auf 4-h-Stagnation.

Da auch die UBA-Empfehlung [3] nur TW berücksichtigt, war für TWW eine Adaption für die S0-Probe nötig. Die S0-Probe TWW kann nicht immer erst nach Einstellung einer konstanten Temperatur erfolgen. Mindestens ablaufen sollten

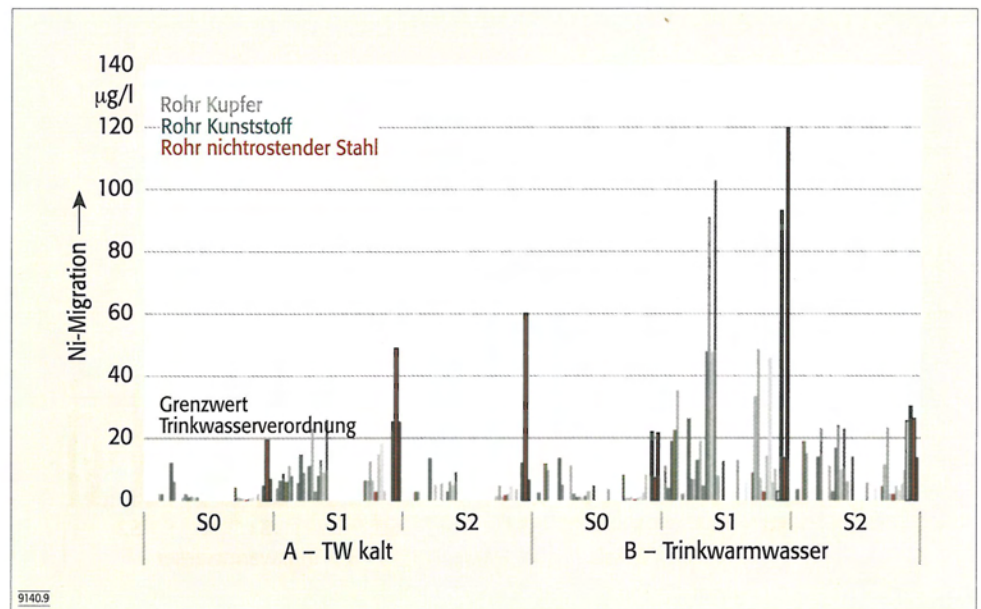


Bild 9. Ergebnisse der Felduntersuchungen - Nickelmigration in µg/l

stets 3 l; bei dezentralen Speicherwasser-Erwärmern muss die S0-Beprobung jedoch spätestens nach Verwerfen von der Hälfte des Nenninhalts des Speicherwasser-Erwärmers erfolgen.

Zusätzlich zu den Temperaturen wurden pH-Wert und Leitfähigkeit vor der S0-Probenahme TW erfasst. Andere Trinkwasserparameter wurden der Analyse des jeweiligen Wasserversorgers entnommen und ausgewählte Daten zur Installationssituation (Art der Trinkwassererwärmung, Rohrmaterial, Armaturenart etc.) erfasst.

Die 43 Untersuchungsobjekte waren verteilt auf die Regionen Berlin, Dinslaken, Dresden, Dortmund, Erfurt, Essen, Frankfurt am Main, München, Schweinfurt, Unterharz, Weimar sowie Würzburg. Sie sind im Folgenden den chronologischen Nummern 1 bis 43 zugeordnet. Mit Ausnahme der Probestellen 40 bis 43 handelt es sich um Bestandsanlagen, die mindestens 1 Jahr benutzt wurden.

Mit 29 beprobten Installationen überwiegen die Anlagen mit zentralem Warmwasserspeicher und Zirkulation. Gleiches gilt für Kupfer als Installationswerkstoff (27 Installationen) und die Bauart Einhebelmischer für die Auslaufarmatur (38 Stück). 11 Anlagen waren ganz oder teilweise als Kunststoffrohrinstallation, 10 mit Rohrleitungen aus nichtrostendem Stahl ausgeführt.

Die Kaltwassertemperaturen vor S0-Beprobung TW lagen im Bereich

von 5,7 bis 23,8 °C. Die TWW-Temperaturen nach Ablauf bis zum Erreichen einer konstanten Temperatur – ebenfalls vor S0-Beprobung – überspannten mit 35 bis 74,5 °C einen sehr weiten Bereich. Beide Extremwerte sind dezentralen Speichern zuzuordnen. Die vor Ort im Kaltwasser gemessenen pH-Werte lagen minimal bei 6,8 und maximal bei 8,2. Die pH-Werte lagen mit 42 % am häufigsten im Bereich zwischen 7,5 und 8,0, gefolgt von 35 % im Bereich von 7,0 bis 7,5. Die Leitfähigkeiten waren zwischen 173 und 1 370 µS/cm verteilt. Die überwiegende Anzahl der Proben lagen im Leitfähigkeitsbereich zwischen 200 und 700 µS/cm, wovon vor allem der Bereich zwischen 400 und 500 µS/cm mit 30 % dominiert.

Interessant ist die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Temperaturen. Während bei den Kaltwassertemperaturen erwartungsgemäß fast zwei Drittel der Messwerte im Bereich zwischen 10 und 15 °C lagen, sind 70 % der TWW-Temperaturen im Bereich unter 55 °C bestimmt worden.

Kupfer, Nickel und Blei an der Entnahmestelle

Die Bilder 8 bis 10 zeigen die Messergebnisse für Kupfer, Nickel und Blei aller 43 Objekte. Differenziert nach den 3 untersuchten Schwermetallen sollen Schlussfolgerungen diskutiert werden, wobei die unterschiedlichen Rohrmaterialien in den Darstellungen gekennzeichnet

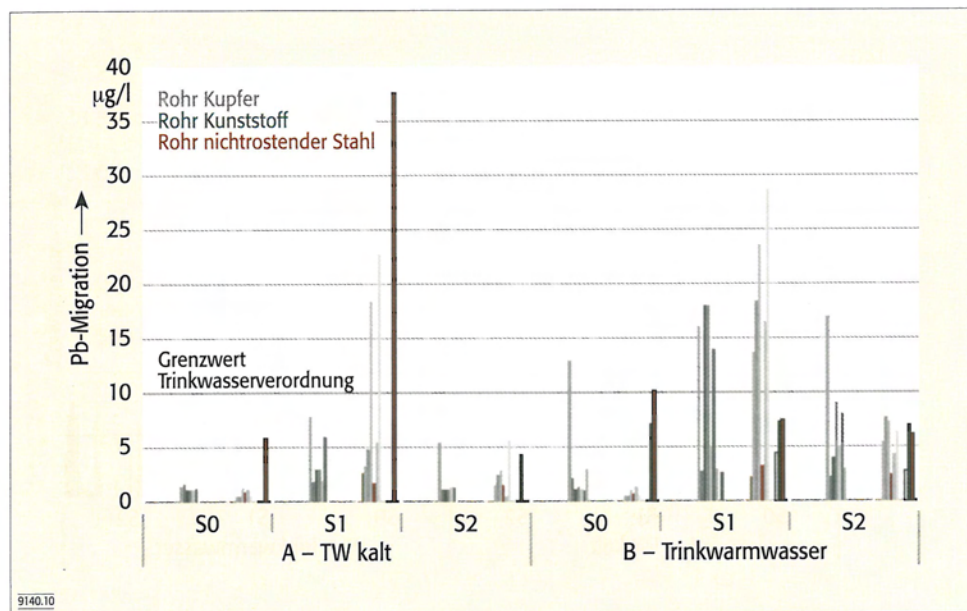


Bild 10. Bleimigration in µg/l – Ergebnisse der Felduntersuchungen

sind. Der Grenzwert nach TrinkwV 2001 für Kupfer wurde sowohl im TW als auch im TWW eingehalten. Ausnahmen bildeten nur eine private Brunnenanlage, die unberücksichtigt bleiben kann sowie 2 Anlagen, in denen Korrosionsschäden an Kupferrohren zu verzeichnen waren und deshalb erst kurz vor den Probenahmen Teile der Installation ausgewechselt wurden. Die S0- und S1-Ergebnisse lagen tendenziell im TWW über den Migrationswerten für TW; die S2-Werte TWW und TW unterscheiden sich nur marginal.

Der Grenzwert nach TrinkwV 2001 für Nickel wurde nur in der S0-Probe sowohl im TW als auch im TWW in den Anlagen, die mindestens 1 Jahr in Betrieb waren, eingehalten. 2 Neuinstallationen (41 und 43) überschritten bei TWW den Grenzwert schon in der S0-Probe. Der S1-Wert TW belegt durch das häufige grenzwertnahe Untersuchungsergebnis (bei Neuanlagen Überschreitung) die Wichtigkeit der UBA-Empfehlung zum Verwerfen von Stagnationswasser. Der S2-Wert TW war bis auf eine Neuanlage unauffällig.

Insbesondere die S1-Werte für TWW zeigten eine zum Teil deutliche Grenzwertüberschreitung. Die S2-Werte TWW erreichten bei Altanlagen häufig noch den Grenzwert beziehungsweise überschritten ihn bei den Neuanlagen noch deutlich.

Die S0-, S1- und S2-Ergebnisse lagen im TWW zum Teil deutlich über den Migrationswerten für TW.

Der Grenzwert nach TrinkwV 2001 für Blei wurde – bis auf eine Ausnahme – nur in der S0-Probe sowohl im TW als auch im TWW eingehalten. Insbesondere die S1- und S2-Werte für TWW zeigten zum Teil eine deutliche Grenzwertüberschreitung. Liegen die Migrationsraten über der Nachweisgrenze, so kann konstatiert werden, dass die S0-, S1- und S2-Ergebnisse im TWW deutlich über den Migrationswerten für TW liegen.

Schlussfolgerungen anhand neuer Bewertungsgrößen

Trotz der für eine statistische Auswertung vergleichsweise geringen Anzahl der Proben erweist es sich als schwierig, allgemeingültige Aussagen abzuleiten, sobald differenziert nach S1 und S2-Probe gewertet wird. Sowohl die je Probenahmeort stark schwankende Lage der örtlichen Grenze zwischen der S1- und der S2-Beprobung als auch die Fokussierung des Projekts auf den Vergleich TW zu TWW rechtfertigen das Arbeiten mit den nach Gleichung (1) beziehungsweise (2) definierten arithmetischen Mittelwert $M_{1,2}$ für Trinkwasser beziehungsweise für Trinkwarmwasser.

$$M_{1,2,TW} = 0,5 \cdot (SI_{TW} + S2_{TW}) \quad (1)$$

$$M_{1,2,TWW} = 0,5 \cdot (SI_{TWW} + S2_{TWW}) \quad (2)$$

Unter Benutzung der Definition für die Mittelwerte $M_{1,2}$ für TW beziehungsweise TWW wurden darüber hinaus die Migrationsrate (Gleichung 3) und die Stagnationsmigration $SM_{1,2}$ (Gleichungen 4 und 5) eingeführt.

$$\Phi = \frac{M_{1,2,TWW}}{M_{1,2,TW}} = \frac{0,5 \cdot (SI_{TWW} + S2_{TWW})}{0,5 \cdot (SI_{TW} + S2_{TW})}$$

Die Migrationsrate Φ als Verhältnis der Mittelwerte TWW zu TW gibt direkt Auskunft über den zu berücksichtigenden Temperatureinfluss bei der Stagnation. Dabei gilt:

- $\Phi < 1$ Schwermetallmigration im TWW geringer als im TW,
- $\Phi = 1$ kein Einfluß der Temperatur,
- $\Phi > 1$ Einfluss der Temperatur, das heißt, Schwermetallmigration im TWW höher als im TW.

Die Stagnationsmigration $SM_{1,2}$ zeigt auf, welcher Betrag des Grenzwerts für das jeweilige Schwermetall allein durch die Stagnation in Anspruch genommen wird. Sie kann perspektivisch bei der Findung eines Maßes für die Aufteilung der jeweiligen Grenzwerte nach TrinkwV auf Trinkwasserinstallation und Wasserversorgung hilfreich sein.

$$SM_{1,2,TW} = 0,5 \cdot (SI_{TW} + S2_{TW}) - SO_{TW} = M_{1,2,TW} - SO_{TW} \quad (4)$$

beziehungsweise

$$SM_{1,2,TWW} = 0,5 \cdot (SI_{TWW} + S2_{TWW}) - SO_{TWW} = M_{1,2,TWW} - SO_{TWW} \quad (5)$$

In den Bildern 11 und 12 sind für Nickel 2 Beispiele der im Rahmen von [1] vorgenommenen Auswertungen mit Hilfe der neu definierten Bewertungsgrößen dargestellt. Migrationsverhältnisse von $\Phi > 10$ (z. B. für Proben 7, 21, 26, 29, 40 in Bild 11) ergeben sich nur, wenn ein Analysewert im TW unter der Nachweisgrenze lag. Bei einer Mittelwertbildung bleiben diese Ergebnisse unberücksichtigt. Bild 12 zeigt, dass eine Kaltwasserprobe und 9 Trinkwarmwasserproben allein durch Stagnation den Grenzwert nach TrinkwV 2001 voll ausschöpfen. Ein Einfluss der vor Ort bestimmten Parameter pH-Wert

und Leitfähigkeit ist nicht ablesbar. Gleiches konnte in [1] für die den Wasserwerksanalysen entnommenen mittleren Gehalte an Sulfat und Chlorid konstatiert werden. Ebenso konnte gezeigt werden, dass sowohl im Trinkwasser als auch im Trinkwarmwasser kein Einfluss der Calcitabscheidekapazität vorhanden war. Das heißt, das Migrationsverhalten wird nicht durch die Bildung von Calciumcarbonatablagerungen beeinflusst.

Auf Basis der Auswertung der Messergebnisse und sonstigen Bewertungsgrößen der 43 untersuchten bundesweit verteilten Installationen ergibt sich:

- Die Schwermetallgehalte Nickel, Kupfer und Blei der S0-Proben lagen für fast alle Installationen deutlich unter dem Grenzwert der TrinkwV 2001. Nur die weniger als 1 Jahr in Betrieb befindlichen Neuanlagen zeigten leichte Grenzwertüberschreitungen.

- Während für die TW-Seite fast ausschließlich im Bereich der S1-Proben Grenzwertüberschreitungen festzustellen waren, traf dies für die TWW-Seite ebenso auf die S2-Probe zu.

- Lagen die Migrationswerte für die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Blei über der Nachweisgrenze, so waren die Migrationswerte in der Trinkwarmwasserinstallation teilweise deutlich höher als die im kalten Trinkwasser. Es ist zu vermuten, dass dies sinngemäß auf die unter der Nachweisgrenze liegenden Installationen übertragbar ist. Bewertet man nur die Installationen, bei denen alle Werte innerhalb der Nachweisgrenze der Analytik liegen, so ergeben sich für die untersuchten Schwermetalle Migrationsraten von $\Phi = 2$ bis 4,7, die einen signifikanten Einfluss der Temperatur belegen.

- Die Auswertungen mit dem ebenfalls neu eingeführten Parameter Stagnationsmigration $SM_{1,2}$ für die Einzelprobe zeigt deutlich, dass häufig allein die Stagnation in der Trinkwasserinstallation den Grenzwert der TrinkwV 2001 voll ausschöpft.

Die Anzahl der untersuchten Proben ist als statistische Basis nicht ausreichend, um weitere Empfehlungen zu geben. Trotzdem sollte beachtet werden, dass der eingeführte Parameter Stagnationsmigration $SM_{1,2}$ für die Einzelprobe darauf hinweist, dass der Grenzwert

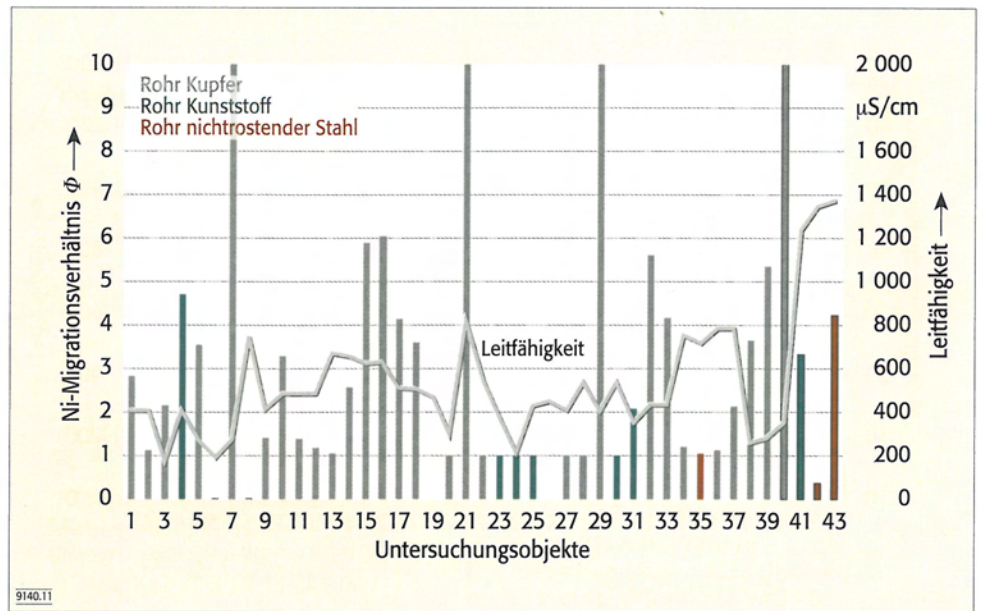


Bild 11. Nickel Migrationsverhältnis Φ und Leitfähigkeit für die 43 Feldproben

allein durch die Trinkwasserinstallation oft vollständig ausgeschöpft wird. Bei der Bewertung des Schwermetalleintrags in das Trinkwasser ist angeraten, die durch den Grenzwert der jeweils gültigen TrinkwV festgelegten Konzentrationen auf die Grundbelastung des vom Versorger gelieferten Trinkwassers und die maximal zulässige Migrationsrate aus der Trinkwasserinstallation aufzuteilen, wobei zur Verifizierung eines Aufteilungsverhältnisses weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Neuinstallationen mit Betriebszeiten < 1 Jahr weisen oft extreme Grenzwertüberschreitungen auf. Dies sollte mit einer kontinuierlichen Überwachung ausgewählter Anlagen weiter verfolgt werden.

Entschieden werden muss auch über eine adäquate Information der Verbraucher. Für das Trinkwasser TW gibt das Umweltbundesamt [4] folgende Empfehlung:

»Das Umweltbundesamt empfiehlt aus all diesen Gründen, Trinkwasser, das mehr als 4 h in der Leitung gestanden hat, nicht zur Zubereitung von Speisen und Getränken zu verwenden. Insbesondere sollten Sie es nicht zur Zubereitung von Säuglingsnahrung verwenden. Das nachfließende frische Wasser erkennen Sie daran, dass es etwas kühler aus der Leitung kommt als das Stagnationswasser. Verwenden Sie für alle Lebensmittelzwecke nur

dieses frische, etwas kühlere Wasser. Verwenden Sie darüber hinaus, wenn Sie gegen Nickel vorsensibilisiert sind, auch kein Stagnationswasser (Menge maximal ein großes Glas Wasser) aus verchromten Armaturen. Dies gilt auch für das Händewaschen. Solches Wasser kann stark nickelhaltig sein und bei vorsensibilisierten Personen eine allergische Hautreaktion auslösen«.

Die in diesem Forschungsvorhaben gemessenen zum Teil doch erheblichen Überschreitungen des Grenzwerts in den S1- und S2-Proben lassen die Erweiterung der Empfehlung für die Trinkwarmwasserseite TWW angeraten erscheinen.

Empfehlungen

Die vorliegenden Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens [1] zeigen, dass eine hygienische Beeinflussung des Trinkwassers und vor allem des Trinkwarmwassers durch Schwermetallabgabe aus Bauteilen und Installationsmaterialien der Trinkwasserinstallation stattfindet. Partiiell werden die Grenzwerte der TrinkwV 2001 nicht eingehalten. Deshalb sollten die Ergebnisse des Forschungsprojekts in die Überarbeitung der geltenden Empfehlungen, Normen und Prüfvorschriften einfließen und die Felduntersuchungen fortgeführt werden.

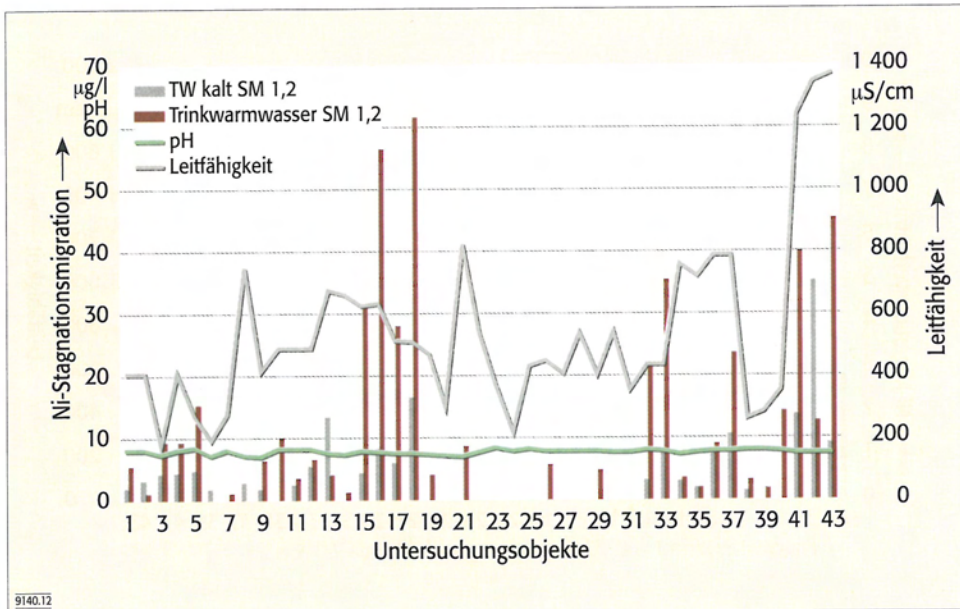


Bild 12. Nickel-Stagnationsmigration SM_{1,2} sowie Leitfähigkeit und pH-Wert für die 43 Feldproben

Verordnungen und technische Regeln

- TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001) vom 21. Mai 2001, BGBl. I (2001), 959 - 980.
- DIN 50930-6: DIN 50930-6; Korrosion der Metalle – Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser – Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit.
- DIN 50931-1: Korrosion der Metalle; Korrosionsversuche mit

Trinkwässern. Teil 1: Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit; DIN 50931-1:1999-11.

- DIN EN 15664-1: Einfluss metallischer Werkstoffe auf Wasser für den menschlichen Gebrauch – Dynamischer Prüfstandversuch für die Beurteilung der Abgabe von Metallen – Teil 1: Auslegung und Betrieb; Deutsche Fassung EN 15664-1:2008.

Literatur

- [1] Rühling, K.; Markwardt, I.; Gietzelt, K.; Rothmann, R.: Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwasser-

- erwärmung, Schlussbericht Forschungsvorhaben DVGW W10/01/05, Dresden, Dezember 2009.
- [2] Allgaier, A.; Erning, J. W.; Köhler, S.; Pareidt, H.; Rühling, K.: Untersuchungen an gelöteten Plattenwärmeübertragern (PWÜ). *EuroHeat&Power* 33 (2004) 3, S. 84 ff.
- [3] Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit und Soziale Sicherung vom 27. November 2003 »Beurteilung der Trinkwasserqualität hinsichtlich der Parameter Blei, Kupfer und Nickel« (UBA-Empfehlung).
- [4] Trink was – Trinkwasser aus dem Hahn. Gesundheitliche Aspekte der Trinkwasser-Installation – Informationen und Tipps für Mieter, Haus- und Wohnungsbesitzer; <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3058.pdf>; 19. Oktober 2009. ■

karin.ruehling@tu-dresden.de
 a.u.wagner@gmx.de
 w_nissing@t-online.de
 isabell.markwardt@iks-dresden.de
 www.agfw.de

Anzeige

Messe-Rückblick

**AGFW-Fachmesse »Wärmetechnik 2010«
 und »Enkon dezentral 2010«**

EuroHeat&Power 6/2010

Anzeigenschluss: 4. Juni 2010
 Erscheinungstermin: 21. Juni 2010