



FORSCHUNGSVORHABEN DVGW W10/01/05

Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung

Gemeinsamer Schlussbericht der Projektpartner

- Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft (TUD)
- Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS)



Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
1) Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft (TUD)	DVGW - W10/01/05
2) Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS)	

Vorhabenbezeichnung:

Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung

Laufzeit des Vorhabens:

01.01.2006 - 30.10.2009

Berichtszeitraum:

01.01.2006 - 30.10.2009

Bearbeiter:

1) TUD

Dr.-Ing. Karin Rühling; Dipl.-Ing. (FH) Knut Gietzelt; Dipl.-Inf. Regina Rothmann

2) IKS

Dipl.-Ing. (FH) Isabell Markwardt

Der gemeinsame Schlussbericht ist eine Zusammenstellung der vorliegenden Teilberichte der Technischen Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft (TUD) und des Instituts für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS). Beide Institutionen arbeiten mit unterschiedlichen Softwareversionen. Eine einheitliche Darstellung von Tabellen und Grafiken war dem entsprechend nicht möglich.

Die Abschnitte 2, 3.1, 3.5, 3.8, 3.9, 5, 6 sowie die Anlagen 6 bis 10 wurden von der TUD erarbeitet.

Das IKS hat die Abschnitte 3.2 bis 3.4, 3.6, 3.7 und den komplexen Abschnitt 4 sowie die Anlagen 1 bis 5 erstellt.

Gemeinsam erfolgte die Bearbeitung der Abschnitte 1 und 7.

DANKSAGUNG

Für die Bearbeitung des Vorhabens "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" über eine Laufzeit von 3 Jahren und 10 Monaten wurde ein Finanzumfang von 297.700,00 EUR benötigt. Von dieser Summe standen 21 % für den Aufbau der Versuchsanlage, 14 % für die Untersuchungen an der TU Dresden, Institut für Energietechnik sowie 65 % für die Untersuchungen am Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH zur Verfügung. Das IKS hat mit 40.000 EUR einen erheblichen Eigenleistungsanteil erbracht.

Die mit dem Schlussbericht vorliegenden neuen Erkenntnisse waren jedoch nur Dank des Engagements und der direkten finanziellen Förderung von folgenden Verbänden und Industrieunternehmen möglich:

- DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (135,2 TEUR)
- AGFW Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (40 TEUR)
- Alfa Laval Lund AB (40 TEUR)
- Viessmann Werke (10 TEUR)
- Bosch Thermotechnik (10 TEUR)
- Vaillant (10 TEUR)
- Wilo AG (12,5 TEUR)

Das Projektbearbeitungsteam möchte sich auf diesem Wege bei den vorgenannten Förderern des Vorhabens nicht nur für die finanzielle Unterstützung sondern ebenso für die fachkompetente Begleitung des Vorhabens bedanken.

Dresden, Oktober 2009

INHALTSVERZEICHNIS

1	Ge	gens	stand der Forschungen	6
2	Sta	and v	on Wissenschaft und Technik 2006	9
3	Ko	mple	ex I - Versuchsanlage	.13
	3.1	Allg	gemeines zur Gesamtanlage	.13
	3.2	Prü	iflinge	.14
	3.3	Prü	ifwasser	.15
	3.4	Trir	nkwassermodul	.18
	3.5	Мо	dul Beheizung	.21
	3.6	Bet	trieb der Versuchsanlage und Probenahme	.24
	3.7	Ana	alytik und Auswertung	.24
	3.8	The	ermohydraulische Parameter - Sensorik, Messwerterfassung und Archivierung	27
	3.9	Aus	sgewählte Ergebnisse des Monitoring (thermohydraulische Parameter)	.30
4	Ko	mple	ex I - Ergebnisse Schwermetallmigration	.35
	4.1	Allg	gemeines	.35
	4.2	Erg	gebnisse Plattenwärmeübertrager	.36
	4.2	.1	Nickel	.36
	4.2	.2	Kupfer	.40
	4.2	.3	Blei	.44
	4.2	.4	Eisen	.45
	4.3	Erg	gebnisse Warmwasserzählern	.47
	4.3	.1	Nickel	.47
	4.3	.2	Kupfer	.50
	4.3	.3	Blei	.52

	4.4	Ergebnisse Graugussbauteile54		
	4.4.	1 Nickel	54	
	4.4.	2 Kupfer	55	
	4.4.	3 Blei	57	
	4.4.	4 Eisen	59	
	4.5	Vergleich der Mittelwerte der Messphasen mit den 4h-Stagnationswerten	60	
	4.6	Metallographische Untersuchungen	64	
	4.6.	1 Versuchsserie 1: Plattenwärmeübertrager 100% nichtrostender Stahl	64	
	4.6.	2 Versuchsserie 2: Kupfergelötete Plattenwärmeübertrager	67	
	4.6.	3 Versuchsserie 3: Nickelgelötete Plattenwärmeübertrager	74	
	4.6.	4 Versuchsserie 2: Vernickelte Wasserzähler aus Messing	81	
	4.6.	5 Versuchsserie 3: Graugussgehäuse, Graugussbauteile	84	
	4.7	Untersuchungen an Prüfkörpern aus Messing im Warmwasserbereich	88	
	4.8	Zusammenfassung	92	
5	Κοι	nplex II - Felduntersuchungen	98	
	5.1	Ort der Probenahme und Probenahmeverfahren		
	5.2	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse	98 100	
	5.2 5.3	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse	98 100 105	
	5.2 5.3 5.4	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse	98 100 105 109	
	5.2 5.3 5.4 5.5	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter	98 100 105 109 110	
	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen	98 100 105 109 110 115	
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au	98 100 105 109 110 115 uf die	
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor Sch	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au	98 100 105 109 110 115 uf die 117	
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor 6.1	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au wermetallmigration von Trinkwasserarmaturen		
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor 6.1 6.2	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au wermetallmigration von Trinkwasserarmaturen Allgemeines	98 100 105 109 110 115 115 117 117	
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor 6.1 6.2 6.3	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au wermetallmigration von Trinkwasserarmaturen Allgemeines Veranlassung der Untersuchungen	98 100 105 109 110 115 115 117 117 118	
6	5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 Kor 6.1 6.2 6.3 6.4	Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse Migration an Kupfer, Nickel und Blei Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen mplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses au mwermetallmigration von Trinkwasserarmaturen Allgemeines Veranlassung der Untersuchungen	98 100 105 109 110 115 115 117 117 117 118 118	

(5.6	Belastung des Trinkwassers mit Schwermetallen am Beispiel Nickel	.124
(6.7	Schlussfolgerungen	.130
7	Zus	ammenfassung und Empfehlungen	.131
8	For	melzeichen, Indizes, Abkürzungen	.138
9	Sch	nrifttum	.140
10	Anl	agen	.142

1 Gegenstand der Forschungen

Mit In-Kraft-Treten der neuen Trinkwasserverordnung im Jahre 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 Wasser-qualität im Bereich der Trinkwasser-Installation gesetzlich geregelt. Material- und Bauteilauswahl und ggf. auch die Art der Trinkwassererwärmung sind von Bedeutung.

Insbesondere steht die Einhaltung der Grenzwerte für Schwermetalle, wie Nickel, Kupfer und Blei, an der Zapfstelle im Mittelpunkt des Interesses. Nach der TrinkwV 2001 sind die Grenzwerte 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 national das in DIN 50931-1¹ beschriebene Prüfverfahren.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind bei der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse die in Tabelle 1-1 dargestellten Grenzwerte für Kupfer, Nickel und Blei heranzuziehen, wobei für das Element Blei i. A. der ab 2013 geltende verschärfte Grenzwert die Bewertungsgrundlage bildete.

Element	Grenzwert nach TrinkwV 2001		
	mg/l	μg/l	
Kupfer	2,0	2000	
Nickel	0,020	20	
Blei			
(bis Ende 2012)	(0,025)	(25)	
ab 2013	0,010	10	
Eisen *)	0.2	200	

)1

*) Nur für die in Versuchsreihe 3 untersuchten Graugussbauteile analysiert und ausgewertet.

1

Während der Laufzeit des Vorhabens wurde DIN 50931-1 durch die europäisch harmonisierte Norm DIN EN 15664-1 ersetzt. Die Planung und Ausführung der Versuche erfolgte nach DIN 50931-1.

Die Auswahl der Werkstoffe für Bauteile und Komponenten der Installationen für kaltes Trinkwasser erfolgte auf der Basis für die in DIN 50930-6 enthaltene Bewertung der Schwermetallmigration. Praktische Erfahrungen und ausgewählte Untersuchungen geben jedoch Anlass für die Vermutung, dass diese Anforderungen nicht oder nur eingeschränkt auf alle aus diesen Werkstoffen gefertigten Bauteile wie Wärmeübertrager, Armaturen, Warmwasserzähler etc. übertragbar sind. Belastbare Aussagen insbesondere zum Einfluss der Temperatur sowie der thermischen Wechselbelastungen bei der Trinkwassererwärmung fehlen.

Das Forschungsvorhaben hat das Ziel, sowohl durch Auslegung, Errichtung und Betrieb einer Versuchsanlage als auch über ausgewählte Stichproben im Feldversuch (Begleitung von Inbetriebnahmen und Einzelanalysen an Anlagen des Bestandes) zu Aussagen zur Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwarmwasserversorgung zu gelangen. Dabei stand im Fokus der Arbeiten vor allem der Vergleich der Migrationsraten von Trinkwarmwasser (TWW) und Trinkwasser (TW) bei jeweils gleichen Installationsbedingungen.

Der bearbeitete Versuchsumfang kann in drei Komplexe mit nachfolgend untersetzen Arbeitsphasen gegliedert werden:

- I Versuchsanlage
 - o Auslegung
 - o Detailkonstruktion, Bau und Inbetriebnahme
 - Für die drei Versuchsreihen jeweils:
 - o Betrieb und Messwerterfassung
 - o Metallographische Untersuchung
 - Komplexe Auswertung
- II Feldversuche
 - Erstellen eines Konzeptes f
 ür die Feldprobenahme; Auswahl von Probenahmeorten bzw. Kooperationspartnern
 - o Probenahme vor Ort inkl. Erfassung von Kenndaten zur Installation
 - Komplexe Auswertung
- III Armaturentest
 - o Integration der Auswertung eines extern durchgeführten Armaturentestes

Der Komplex III stellt eine wesentliche Erweiterung des ursprünglich geplanten Untersuchungsumfangs des Forschungsvorhabens dar. Anlass für diese Erweiterung waren teilweise erheblich über den Grenzwerten liegende Analyseergebnisse für die ersten S1-Proben der Felduntersuchungen, die insbesondere im Bereich TWW einen erheblichen Einfluss der Armaturen vermuten lassen. Auch wenn diese Armaturenuntersuchungen nur orientierend und nicht in Anlehnung an die 50931-1 durchgeführt worden sind, so erlauben die für insgesamt vier verschiedene Trinkwassertemperaturen ermittelten Untersuchungsergebnisse relevante Schlussfolgerungen zum Temperatureinfluss.

Generell ist anzumerken, dass aufbauend auf den Erkenntnissen der jeweiligen Berichtsperiode des Vorhabens alle wesentlichen Festlegungen in gemeinsamer Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PA) getroffen wurden. Dem Ausschuss gehörten neben dem Obmann des TK 3.4 des DVGW Werner Nissing (gleichzeitig Vorsitzender des PA) jeweils ein Vertreter aller finanziell beteiligten Industriepartner und der ebenfalls finanziell unterstützenden AGFW - Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. als Branchenvertreter der Fernwärmeiwirtschaft an.

2 Stand von Wissenschaft und Technik 2006

Durch die Anforderungen der TrinkwV 2001 einerseits und eine erhöhte Sensitivität der Bevölkerung andererseits ist die Quantifizierung der Schwermetallmigration aus Werkstoffen der Trinkwasserversorgung von öffentlichem Interesse. Beispielhaft sei als Grund die zunehmende Verbreitung von Nickel-Allergien genannt.

Mit der DIN 50931-1 konnte ein Instrumentarium erstellt werden, dass es erlaubt Werkstoffe hinsichtlich ihres Einflusses auf die Trinkwasserbeschaffenheit unter den idealisierten Betriebsbedingungen einer Trinkwasser-Installation und nach DIN 50930-6 zu beurteilen. Die Geometrie der Prüfkörper, das über den Testzeitraum zu realisierende Zapfprofil sowie Zeitpunkt und Art der Probenahme zur Bestimmung der Veränderung relevanter Wasserparameter sind in der Norm festgelegt. Am IKS Dresden ist eine normkonforme Testeinrichtung installiert und wird seit Jahren erfolgreich betrieben (Bild 2-1) /SH03-1 und SH03-2/. In einer weiteren Versuchsanlage wird in einem mitteldeutschen Wasserwerk der Einfluss von Wasser- und Werkstoffparametern untersucht /SH04/.



Bild 2-1 Prinzipieller Aufbau der Prüfstrecke im IKS Dresden

Mit den z. B. in /SH03-1, SH03-2 und SH04/ veröffentlichten Daten wurde der Einfluss unterschiedlicher Neutralsalzgehalte auf die Migration von Kupfer dokumentiert. Damit liegen für die meisten in der Trinkwasserversorgung üblichen Einzelmaterialien und Legierungen – abhängig von der Trinkwasserbeschaffenheit – abgesicherte Erkenntnisse vor.

Die Tests werden bislang bei den üblichen Trinkwassertemperaturen bzw. bei Raumtemperatur (mit über bestimmte Lösungen beeinflusste Trinkwässer VB-W in Bild 2-1) durchgeführt. Im Hinblick auf die Gültigkeit der Trinkwasserverordnung für erwärmtes Trinkwasser (TWW -Trinkwarmwasserseite) ist jedoch zu klären, ob das Migrations- und sonstige Korrosionsverhalten der Einzelwerkstoffe bei den üblichen Temperaturen der Trinkwassererwärmung von mindestens 60 °C eine wesentliche Veränderung erfährt. Dazu fehlen bislang hinreichende, eindeutig statistisch abgesicherte Erkenntnisse.

Es gibt vereinzelte Experimente, die darauf hindeuten, dass das Migrationsverhalten des Einzelwerkstoffs nur bedingt auf ein aus den Einzelmaterialien hergestelltes Bauteil übertragbar ist, da im Produktionsprozess u. U. eine Beeinflussung der migrationsrelevanten Eigenschaften auftritt. Mechanische und/oder thermische Belastungen im Produktionsprozess sind dabei ebenso zu beachten wie die Wirkungen von Materialkombinationen und die Beständigkeit von Beschichtungen und Überzügen im Kontakt mit Trinkwasser.

Warmwasserzähler, Auslaufarmaturen, gelötete Plattenwärmeübertrager (PWÜ) etc. sind derartige Beispiele. Sie finden 10.000fach in den Hausinstallationen der erdgas- und fernwärmebasierten Trinkwassererwärmung Verwendung.

Warmwasserzähler und Auslaufarmaturen enthalten fertigungsbedingt an wasserberührten Oberflächen Nickel, das zu einer Nickelbelastung des Trinkwassers beiträgt /Nissing04/. Daher darf nach DIN 50930-6 nur ein begrenzter Teil der wasserberührten Oberfläche vernickelt sein. Die dort angegebenen Anteile beziehen sich auf den Kaltwasserbereich. Belastbare Ergebnisse für den Trinkwarmwasserbereich fehlen.

Der Einsatz von PWÜ wird sich in Zukunft tendenziell verstärken, da sie auch in Mehrfamilienhäusern mit zentralen Gaskesseln den Übergang von der Speicherung großer Volumina an erwärmtem Trinkwasser zur dezentralen, wohnungsweisen, äußerst kompakten Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip ermöglichen. Aufwendige, aus hydraulischhygienischer Sicht nicht immer einfach zu beherrschende Trinkwarmwasser-Zirkulationssysteme werden durch kurze Stichleitungen zum unmittelbaren Verbraucher ersetzt.

Gelötete PWÜ werden durch ein Vakuumlötverfahren aus nichtrostenden Stahlplatten und Metallfolie (Reinkupferfolie oder Nickelfolie) hergestellt. Durch den Produktionsprozess werden sowohl die Werkstoffe der Stahlplatten als auch des Lotmaterials verändert. Wie Bild 2-2 darstellt, kommt es an den Stahlplatten durch Prägungsprozess, hohe Temperaturen beim Vakuumlöten etc. zur so genannten Lötrissigkeit. Es findet ein Angriff entlang der Korngrenzen des nichtrostenden Stahls statt, der im metallographischen Schliffbild gut erkennbar ist. Die zweite Folge ist die Ausbildung einer Legierung aus dem Lotwerkstoff und den Bestandteilen des Plattenmaterials Eisen, Chrom, Nickel und Molybdän. Untersuchungen an ver-

schiedenen kupfergelöteten PWÜ haben gezeigt, dass diese Legierung etwa zu 93 – 94 % aus Kupfer besteht und weitere Anteile an den genannten Metallen enthält, wobei Chrom nicht in Kupfer löslich ist und an der Korngrenze in Ausscheidungen auf konzentriert wird.

Bei der Korrosion des Lotwerkstoffs werden zwangsläufig auch diese Schwermetalle ganz oder teilweise an das Trinkwasser abgegeben. Da die Belastung des Trinkwassers mit diesen Korrosionsprodukten bisher nicht näher untersucht sind, können hygienische Anforderungen an den im Verlauf der Fertigung neu entstehenden Werkstoff bzw. die Bauteile naturgemäß nicht formuliert werden.

Für die Schwermetallmigration ist weiterhin von Bedeutung, dass fertigungsbedingt die gesamte innere Oberfläche des PWÜ mit einer dünnen Schicht des Lotmaterials belegt ist, die durch die Korrosion zwar in kurzer Zeit abgebaut wird, aber eine entsprechende Belastung des erwärmten Trinkwassers nach sich zieht. Dies führt nicht zum Korrosionsschaden am Bauteil selbst.



Bild 2-2 Schliffbild einer Übergangsstelle Platte/Lot eines kupfergelöteten PWÜ aus /PWÜ04/ I – Lötrissigkeit und II- abgelöste Körner des nichtrostenden Stahls im Lot

Das Ausmaß der Schwermetallmigration wird sowohl von der fertigungsbedingten Belegung der gesamten inneren Oberfläche des PWÜ mit einer dünnen Lotschicht als auch vom Lotwerkstoff selbst bzw. durch die im Herstellungsprozess entstandene neue Legierung beeinflusst. Die Abgabe von Schwermetallen an das erwärmte Trinkwasser kann zum Über-

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" &

schreiten der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung führen (Korrosionsschaden am Trinkwasser).

Aus vorliegenden Untersuchungen /PWÜ04, Erning/ kann man den Schluss ziehen, dass in der ersten Betriebszeit bei kupfergelöteten PWÜ relativ hohe Kupfermengen abgegeben werden, die nach kurzer Zeit auf ein deutlich geringeres Maß abfallen. Vergleichbare Aussagen zu Nickel und Blei etc. werden bislang in der Literatur nicht beschrieben.

Die Entwicklung neuartiger Lote mit dem Ziel, die Korrosionsbeständigkeit der Lötverbindungen zu verbessern, hat aber auch die Einhaltung entsprechender Grenzwerte der Trinkwasserverordnung zu berücksichtigen.

Die von Rabinkin /Rab03/ veröffentlichten Ergebnisse zur Nickelmigration aus kupfer- und nickelgelöteten PWÜ bei einer Trinkwarmwassertemperatur von 55 °C geben Anlass zu der Annahme, dass der Grenzwert der Trinkwasserverordnung bereits bei kurzen Stagnationszeiten von 5 Minuten zum Teil deutlich überschritten wird. Die Zulässigkeit des Einsatzes von gelöteten PWÜ in der Trinkwassererwärmung müsste demnach in Frage gestellt werden. Es sei kritisch angemerkt, dass die angewandte Methodik in keiner Weise mit der Prüfung nach DIN 50931-1 vergleichbar ist und bisher nicht bestätigt wurden. Der überwiegende Teil der Messungen bezieht sich auf Proben im Zapfbetrieb. Umso gefährlicher kann die in /Rab03/ gezogene Schlussfolgerung sein, dass nickelgelötete PWÜ mit den dort getesteten Nickelloten als unbedenklich für den Einsatz in Anlagen der Trinkwassererwärmung und im Lebensmittelbereich eingestuft werden. Auf Basis weniger Versuche wird sogar gefolgert, dass kupfergelötete PWÜ höhere Nickelmigrationsraten aufweisen.

Neben kaum reproduzierbaren Ergebnissen der Tests von Plattenwärmeübertragern werden auch Schwermetallmigrationen aus Auslaufarmaturen, Ventilen, Warmwasserzähler etc. publiziert, ohne dass eine einheitliche Prüfvorschrift Basis der Tests wäre. Zum Teil müsste bereits auf Basis dieser Ergebnisse im Kaltwasserbereich der Einsatz in der Trinkwasserversorgung in Frage gestellt werden. Belastbare Aussagen für die Trinkwarmwasserseite fehlen bislang völlig.

Es wird deutlich, dass eine <u>Modifizierung der Prüfvorschriften der DIN 50931-1</u>, die primär für Prüfkörper bzw. Prüfrohre entwickelt wurde, <u>auf Tests von Bauteilen</u> sowohl im kalten Trinkwasser als auch bei der Trinkwassererwärmung unerlässlich ist. Nur so kann entschieden werden, ob bei Wahrung des Primats der menschlichen Gesundheit der Einsatz bestimmter Bauteile auch zukünftig ohne Einschränkung erfolgen kann.

3 Komplex I - Versuchsanlage

3.1 Allgemeines zur Gesamtanlage

Ein Ziel des Forschungsvorhabens bestand darin, durch Auslegung, Errichtung und Betrieb einer Versuchsanlage zu Aussagen zur Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwarmwasserversorgung zu gelangen. Dazu war das Zusammenwirken der Projektpartner

- Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS) und
- Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft des Instituts für Energietechnik der Technischen Universität Dresden (TUD)

mit den jeweils ausgeprägten Erfahrungen in Theorie und Praxis erforderlich.

Der versuchstechnische Teil wurde zunächst auf den Test von

- Plattenwärmeübertragern (PWÜ) und
- Warmwasserzählern (WWZ)

zugeschnitten, ist jedoch so konzipiert, dass auch die Schwermetallmigration aus anderen Bauteilen der Trinkwasserversorgung bestimmt werden kann. Grundsätzlich sind mit der Versuchsanlage auch Untersuchungen zum mikrobiologischen Verhalten von Werkstoffen (Biofilmbildung, Aufkeimungserscheinungen) möglich.



Bild 3-1 Versuchsanlage zur Bestimmung der Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung

Der Betrieb der Versuchsanlage im Komplex I erfolgte mit zwei Hauptzielen:

- Vergleichender Test von baugleichen Bauteilen einer Produktionsserie unter den jeweils f
 ür Trinkwasser oder Trinkwarmwasser typischen Bedingungen zur Ableitung erster Erkenntnisse zur Ver
 änderung des Migrationsverhaltens unter Temperatureinfluss.

Für die im Komplex I untersuchten Bauteile sind der aktuell gültigen DIN 50930-6 keine B-Werte zu entnehmen. Deshalb wurde im vorliegenden Bericht der B-Wert aller Untersuchungsobjekte mit 1 angenommen. Die endgültige Bewertung kann somit erst im Rahmen der derzeit stattfindenden Überarbeitung der DIN 50930-6 erfolgen.

Die Versuchsanlage besteht aus folgenden Hauptbaugruppen:

- 1. "Trinkwassermodul" mit integrierter SPS7-Systemsteuerung (IKS-Leistungsanteil)
- 2. "Modul Beheizung" mit integrierter Messwerterfassung (TUD-Leistungsanteil)

Die allgemeine Funktionsbeschreibung, die Handhabung bei Probenahme sowie die Übersicht zu den variierenden Applikationsorten der Sensorik der Messwerterfassung ist Anlage 6 zu entnehmen.

3.2 Prüflinge

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden drei unterschiedliche Versuchsreihen VR 1 bis VR 3 mit je drei baugleichen Prüflingen an den Einbauorten "Wärmeübertrager" (WÜ) bzw. "Warmwasserzähler" (WWZ) durchgeführt, die wie folgt charakterisiert werden können:

Nr.	Prüfling "WÜ"	Prüfling "WWZ"
1	PWÜ aus 100 % nichtrostendem Stahl	vernickelte WWZ
		horizontaler Einbau
2	Kupfergelöteter PWÜ aus nichtros-	vernickelte WWZ
	tendem Stahl	vertikaler Einbau
3	Nickelgelöteter PWÜ aus nichtrosten-	Grauguss-Pumpengehäuse
	dem Stahl	vertikaler Einbau
		(in Teststrecke 2 mit separater Zirkulation ohne Beheizung)

Tabelle 3-1	Übersicht	Prüflinge in	den	Versuchsreihen Nr.	1	bis	3
-------------	-----------	--------------	-----	--------------------	---	-----	---

In Bild 3-2 ist der Prinzipaufbau der eingesetzten Plattenwärmeübertrager dargestellt. Die Primärseite ist dem Modul Beheizung zugeordnet. Die Sekundärseite ist hydraulisch im Trinkwassermodul integriert und dient der Bestimmung der Schwermetallmigrationsraten.



Bild 3-2 Prinzipaufbau eingesetzter Plattenwärmeübertrager

Im Rahmen der Überarbeitung der DIN 50930-6 gilt es die Frage des Einsatzes von Grauguss im Trinkwasserbereich zu prüfen. Mit Unterstützung der WILO AG wurden daher in Versuchsreihe 3 am Prüfplatz "WWZ" aktive und passive Grauguss-Pumpengehäuse untersucht.

3.3 Prüfwasser

Das für die Untersuchung verwendete Trinkwasser kommt aus dem Wasserwerk Dresden-Coschütz, dabei handelt es sich um ein weiches, salzarmes (aufbereitetes) Oberflächenwasser. Die Jahresdurchschnittsanalysen 2007 und 2008 sind der Tabelle 3-2 zu entnehmen. Vor jeder Versuchserie wurde am Eintritt der Versuchsanlage (vergl. Anlage 3, Schematische Darstellung der Anlage mit Probenahmestellen etc.) eine Trinkwasserprobe entnommen und auf die relevanten Parameter (siehe Tabelle 3-2) untersucht. Die Ergebnisse in den Tabellen 3-3 bis 3-5 bilden die Grundlage für alle weiteren Analysenberechnungen (siehe Abschnitt 3.7)

	Einheit	Statistische Auswertung Analysendaten			
Parameter		WW Dresden-Coschütz [Quelle]			
		2007	2008		
Wassertemperatur	°C	7,3	7,4		
pH-Wert		8,06	8,06		
pH-Wert der Calcitsättigung		8,12	8,13		
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	238	237		
K _{S4,3}	mmol/l	1,62	1,46		
K _{B8,2}	mmol/l	0,01	0,01		
Härte	mmol/l	1,2	1,1		
Calcium	mg/l	40,2	40,1		
Magnesium	mg/l	3,40	3,05		
Chlorid	mg/l	10,4	9,52		
Sulfat	mg/l	31,0	31,7		
Nitrat	mg/l	12,4	13,7		
TOC	mg/l	1,7	1,9		
Blei	µg/l	< 1	< 1		
Kupfer	µg/l	< 1	<1		
Nickel	µg/l	< 2	< 2		
Eisen (ges.)	mg/l	< 0,02	< 0,02		
Mangan	mg/l	0,006	0,008		

 Tabelle 3-2
 Statistische Auswertung Trinkwasser WW Dresden-Coschütz

 http://www.drewag.de/media/pdf/de/reinwasser_coschuetz.pdf

Tabelle 3-3 Versuchsreihe 1: Trinkwasser am Eintritt der Versuchsanlage

Parameter	Einheit	Eintritt der Versuchsanlage
pH-Wert		8,02 / 16,6°C
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	270
K _{S4,3}	mmol/l	1,57
K _{B8,2}	mmol/l	-
Härte	mmol/l	1,1
Calcium	mg/l	39,4
Magnesium	mg/l	2,87
Chlorid	mg/l	11,4
Sulfat	mg/l	31,1
Nitrat	mg/l	11,0
TOC	mg/l	2,02
Blei	µg/l	< 2
Kupfer	µg/l	4,9
Nickel	µg/l	< 2
Eisen (ges.)	mg/l	< 0,01
Mangan	µg/l	< 2

Parameter	Einheit	Eintritt der Versuchsanlage
pH-Wert		8,14 / 17,0°C
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	281
KS4,3	mmol/l	1,54
Härte	mmol/l	1,2
Calcium	mg/l	40,2
Magnesium	mg/l	2,87
Chlorid	mg/l	11,9
Sulfat	mg/l	29,4
Nitrat	mg/l	10,5
TOC	mg/l	2,00
Blei	µg/l	< 2
Kupfer	µg/l	5,1
Nickel	µg/l	< 2
Eisen (ges.)	mg/l	< 0,01
Mangan	µg/l	< 2

Tabelle 3-4 Versuchsreihe 2: Trinkwasser am Eintritt der Versuchsanlage

Tabelle 3-5 Versuchsreihe 3: Trinkwasser am Eintritt der Versuchsanlage

Parameter	Einheit	Eintritt der Versuchsanlage
pH-Wert		8,09 / 17,0°C
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	274
KS4,3	mmol/l	1,55
Härte	mmol/l	1,1
Calcium	mg/l	37,9
Magnesium	mg/l	2,85
Chlorid	mg/l	11,8
Sulfat	mg/l	30,8
Nitrat	mg/l	11,5
TOC	mg/l	2,00
Blei	µg/l	< 2
Kupfer	µg/l	4,6
Nickel	µg/l	< 2
Eisen (ges.)	mg/l	< 0,01
Mangan	µg/l	< 2

3.4 Trinkwassermodul

Für die Quantifizierung der Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung (vorrangig Plattenwärmeübertrager, Warmwasserzähler und Zirkulationspumpen) wurde ein Trinkwassermodul in Anlehnung an die DIN 50931-1 konzipiert und am IKS-Dresden installiert (siehe Bild 3-3 bis Bild 3-5).

Das Trinkwassermodul besteht aus drei parallelen Trinkwasser-Teststrecken:

- Teststrecke 1 Referenzstrecke Trinkwasser (kalt)
- Teststrecke 2 Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation
- Teststrecke 3 Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation

Der prinzipielle Aufbau der drei Testrecken ist schematisch in Bild 3-6 bis Bild 3-8 dargestellt und ausführlich in Anhang 6 erläutert.

Um den Entwicklungsaufwand für die Anlage zu minimieren und gleichzeitig ein hohes Maß an Flexibilität und Bedienkomfort zu gewährleisten wurde eine speicherprogrammierte Steuerung (SPS) zur Anlagensteuerung eingesetzt. Die Prozessankopplung erfolgt über störsichere digitale Ein- und Ausgänge /S03-1; SH03-2/. Alle drei Prüfstecken werden voneinander unabhängig über ein Touchpanel (siehe Anlage 4) beobachtet und kontrolliert. Der Prüfablauf entspricht der DIN 50931-1.



Bild 3-3 Trinkwassermodul in VR 1 (erste Versuchsserie dichtungslose PWÜ aus 100% nichtrostendem Stahl; WZ vernickelt aus Messing - horizontaler Einbau)



Bild 3-4 Trinkwassermodul in VR 2 (zweite Versuchsserie kupfergelötete PWÜ aus nichtrostendem Stahl; WZ vernickelt aus Messing - vertikaler Einbau)



Bild 3-5 Trinkwassermodul in VR 3 (dritte Versuchsserie nickelgelötete PWÜ aus nichtrostendem Stahl; Graugussgehäuse, Graugusspumpe - vertikaler Einbau)



Bild 3-6 Schematische Darstellung Teststrecke 1 – Kaltwasserteststrecke, Referenzteststrecke, ohne Beheizung



Bild 3-7 Schematische Darstellung Teststrecke 2 - Warmwasserteststrecke ohne Zirkulation

&



Bild 3-8 Schematische Darstellung Teststrecke 3 - Warmwasserteststrecke mit Zirkulation

3.5 Modul Beheizung

Die Konzeption des Moduls Beheizung erfolgte unter Berücksichtigung folgender Faktoren:

- 1. Im IKS steht für die Beheizung ganzjährig nur Elektroenergie zur Verfügung.
- 2. Eine Beheizung der PWÜ-Prüflinge muss auf der Primärseite mit Heizwasser von bis zu 90 °C möglich sein. Damit scheiden Standard-Durchlauferhitzer aus.
- In den Teststrecken 2 und 3 soll nach dem Zeitplan nach DIN 50931-1 die Entnahme von Trinkwarmwasser mit 60 °C am Austritt des Trinkwassererwärmers realisiert werden.
- 4. Sowohl die vorhandene Trinkwasserinstallation als auch die Minimierung des Speichervolumens erfordern dabei ein um wenige Minuten gestaffeltes Zapfen in den Teststrecken.

Die eigentliche thermische Leistung für die Erwärmung eines Volumenstroms von 5 I/min beträgt bei einer Austrittstemperatur aus dem Trinkwassererwärmer von 60 °C im Jahresmittel 17 kW. Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten und Kapazitäten sowie der Speichergröße im Anfahrprozess eine erforderliche Dauerleistung für das beheizende Modul von 9 kW. Bild 3-9 bzw. Bild 3-10 zeigen den Grundaufbau des Moduls Beheizung, das zur Minimierung der elektrischen Anschlussleistung dem Grundprinzip der Speicherladung folgt und als geschlossener Wasserkreislauf aufgebaut ist.



Bild 3-9 Grundaufbau des Moduls Beheizung – Stand 2006

Wesentliche Baugruppen sind:

- Speicher und
- E-Heizer.

Der E-Heizer (2) besteht aus dem in einem Behälter aus nichtrostendem Stahl integrierten 9 kW-Elektroheizstab (6), der mit einer Thyristorsteuerung (7,8) gekoppelt ist. Die Thyristorsteuerung übernimmt die Regelung der Temperatur im oberen Teil des Edelstahlbehälters (9) und gleichzeitig die Begrenzung der Maximaltemperatur auf 95 °C. Zur Max-Druck-Begrenzung ist ein 3 bar-Sicherheitsventil (15) integriert. Die Speicherladung erfolgt über die Pumpe E-Heizer (3) die sich während der gesamten 26-Wochen-Versuchsdauer permanent im Zustand "on" befindet.

Durch die Pumpe Primär (4) wird kontinuierlich ein Volumenstrom aus dem Speicher (1) in Richtung der hydraulisch parallel eingebundenen PWÜ-Prüflinge in den Teststrecken 2 und 3 gefördert, wobei die Regelung der Volumenströme zu jedem Prüfling durch Temperaturregler

ohne Hilfsenergie (11) übernommen wird. Der Regler besteht aus einem Stellventil und einem Regelthermostat mit Sollwertsteller, Verbindungsrohr und einem nach dem Absorptionsprinzip arbeitenden Temperaturfühler. Die Sollwerteinstellung erfolgt über die Einregulierung des Regelthermostaten zu Beginn jeder Versuchsreihe mit dem Kriterium $t_{Aus,TWW} \ge 60$ °C. Im Gegensatz zur Pumpe E-Heizer wird die Pumpe Primär während der eigentlichen Probenahme durch das IKS-Personal in den Zustand "off" gesteuert.



Bild 3-10 Vereinfachte Isometrie des Moduls Beheizung

Wird von den Teststrecken 2 und 3 kein Volumenstrom angefordert, so wird über einen Durchflussregler (10) ein Bypassstrom zur Eintrittsseite des E-Heizers geführt.

Die Druckhaltung wird mittels Membran-Druckausdehnungsgefäß (MAG - 13) mit einem gasseitigen Vordruck von 1,3 bar_ü sichergestellt. Zur Minimaldruckbegrenzung ist zusätzlich ein Minimaldruckbegrenzer (5) integriert. Komplettiert wird die Anlage durch örtliche Anzeigen von Druck und Temperatur (21, 22) sowie diverse Absperrarmaturen (16 - 18). Der elektrotechnische Teil ist gemeinsam mit dem IKS-Anteil abgesichert. Die "on"/"off"-Steuerung der Pumpen wurde in die IKS-Steuerung integriert.

3.6 Betrieb der Versuchsanlage und Probenahme

Der Betrieb der Versuchsanlage und die Probenahmen für Prüfwässer und Stagnationswässer sind entsprechend dem Ablaufplan nach DIN 50931-1 festgelegt. Nach Initialisierung der Entnahme-und Freigabe derselben durch die Steuerung kann das Entnehmen der Proben in den 3 parallelen Trinkwasserstrecken gemäß o.g. Ablaufplanes erfolgen. Die Messphasen lagen bei T = 1, 2, 3, 6, 12, 18 und 26 Betriebswochen. Die Probenahme erfolgte je Messphase T nach t = 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h Stagnation nach dem in Anlage 6 beschriebenen Vorgehen.

Bei der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation wird das Wasser wie in der Praxis permanent umgewälzt. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um Resultate "echter" Stagnationswasserproben, da nur zur Probenahme selbst die Zirkulationspumpe ausgeschaltet wurde.

Um Aussagen zum Migrationsverhalten insbesondere innerhalb der ersten Betriebswoche zu erlangen, wurde an die Versuchsserie 2 nochmals ein neuwertiger kupfergelöteter Plattenwärmeübertrager in die Teststrecke Warmwasser eingebaut, beheizt und eine tägliche 4h Stagnationsbeprobung über einen Versuchszeitraum von 7 Tagen durchgeführt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden in Abweichung zur DIN 50931-1 folgende Festlegungen für die weiteren Versuche getroffen:

Als einfacher Grundtest für die Gleichwertigkeit der Prüflinge werden vor dem Start jeder 26-Wochen-Versuchsserie für 3 Tage alle drei Teststrecken parallel *ohne* Beheizung entsprechend DIN 50931-1 betrieben. Jeweils nach 24-Stunden erfolgt eine Probenahme nach 4h-Stagnation.

Nach 3 Tagen Betriebsdauer werden die Teststrecken 2 und 3 *mit* Beheizung betrieben. Es erfolgt analog zum Kaltwasserbetrieb täglich eine 4h-Stagnationsbeprobung an allen drei Teststrecken bis zum Ende der ersten Betriebswoche.

3.7 Analytik und Auswertung

Die analytischen Untersuchungen zur Schwermetallmigration erfolgten mit einem Atom-Absorptionsspektrometer AAnalyst 800 der Fa. Perkin Elmer ausgestattet mit Graphit- und Flammentechnik. In Tabelle 3-6 sind die Nachweisgrenzen (NWG) der untersuchten Elemente, sowie die dazugehörigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) zusammengefasst. Jede Untersuchung erfolgte mit unabhängigen Standards (Einzel- und Mehrelementstandards der Fa. Merck). Messtäglich wurden alle Standards frisch hergestellt, eine neue Kalibrierung aufgenommen und mit unabhängigen Standards überprüft.

Die um den Blindwert korrigierten Rohdaten beziehen sich auf die gesamte Testeinheit nach Abschluss jeder Versuchsserie wurde das tatsächliche Prüfkörpervolumen bestimmt. Daraus ergeben sich teststreckenabhängige Faktoren, die sich dann auf das reale Prüfkörpervolumen beziehen. (nähere Erläuterung siehe Anlage 4)

Element	NWG [µg/l]	Grenzwerte TrinkwV 2001 [µg/I]
Blei	2,0	10,0
Kupfer	2,0	2000
Nickel	2,0	20,0
Eisen	100	200

 Tabelle 3-6
 Nachweisgrenze
 NWG und Grenzwerte

Wie bereits unter 3.6 beschrieben erfolgte die Probenahme, für jede Teststrecke unabhängig, innerhalb jeder Messphase *T* nach 0,5h und 1h Stagnation (je zweifach) sowie nach 2h, 4h, 8h und 16h (je einfach). Die Messergebnisse sind als Konzentrations-Zeit-Kurven C(t) für die jeweilige Messphase *T* dargestellt. Aus diesen Daten wurde der Maximalwert C_{max}(t) je Messphase *T* und der Mittelwert M(T) je Messphase *T* ermittelt und graphisch dargestellt.

Das IKS ist ein akkreditiertes Prüflabor. Für die Bestimmung der Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung kamen die in Tabelle 3-7 aufgeführten analytischen Messverfahren zum Einsatz.

Prüfgröße	gültige Norm	Prüfgerät
pH-Wert	DIN 38404-C5 : 1984-01	Labor-pH-Meter inoLab pH Level 1
		Fa. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH
Leitfähigkeit	DIN EN 27888:1993	Leitfähigkeitsmessgerät LF 96 (WTW)
Säure- und	DIN 38409-H7	Automatischer Titrator Schott Titroline alpha
Basekapazität		
Härte in Wasser	DIN 38409-H 6, 1986-01	AAS Perkin Elmer AAnalyst 800 bzw. IC Metrohm Personal-IC 790
Calcium, Magnesium	DIN EN ISO 14911 : 1999-12	Ionenchromatograph Metrohm Personal-IC 790 in Verbindung mit dem Eluentengenerator Dionex RFC 30
Chlorid, Sulfat, Nitrat	DIN EN ISO 10304-1 : 1995-04	Ionenchromatograph Metrohm Personal-IC 790
тос	DIN EN 1484:1997	TOC-Analysator Elementar highTOC
Nickel	DIN 38406-11, 1991-09	AAnalyst 800 Fa. Perkin Elmer
Kupfer	DIN 38406-7, 1991-01	AAnalyst 800 Fa. Perkin Elmer
Mangan	DIN 38406-33, 2006-06	AAnalyst 800 Fa. Perkin Elmer
Eisen	DIN 38406-32, 2000-05	AAnalyst 800 Fa. Perkin Elmer

Tabelle 3-7 Angewandte ar	nalytische Messverfahren
---------------------------	--------------------------

3.8 Thermohydraulische Parameter - Sensorik, Messwerterfassung und Archivierung

Entsprechend der in Abschnitt 1 formulierten zwei Hauptziele für den Komplex I galt es, ausgewählte Temperaturen über den gesamten Zeitraum der jeweiligen 26-Wochen-Versuchsreihe zu erfassen. Zur Überprüfung waren die Volumenströme "Zirkulation" in Teststrecke 3 sowie der Volumenstrom "Trinkwasser" am gemeinsamen Eintritt aller Teststrecken zu protokollieren.

Tabelle 3-8 Übersicht Messtechnik

Messwert	Messbereich	Genauigkeit	Anmerkungen
Temperatur (t)	-50 bis 180 °C	± (0,3 + 0,005 · t) (Pt 100)	Pt 100 auf Außenwandung auf- geklebt
Volumenstrom (VP)	2 40 l/min	± 1,5 % vom Messbereichs- endwert	Flügelrad-Durchflusssensor Kunststoff p _{max} = 200 bar t _{max} = 80 °C

Die Temperatursensoren in der Ausführung PT 100 (Nacktchip) wurden direkt auf die Außenwandungen appliziert. Eine Beeinflussung der Migrationswerte ist somit auszuschließen. Die Volumenstrommessung erfolgte mit Flügelradzählern aus Kunststoff, sodass keine bzw. keine signifikante Beeinflussung zu erwarten ist. Der Gesamtaufbau und die Integration der Messtechnik nach Tabelle 3-8 ist in Bild 3-2 vereinfacht am Beispiel der ersten Messreihe dargestellt. Durch die in der ersten Versuchsreihe festzustellenden Unterschiede zwischen dem Migrationsverhalten der Prüflinge "Warmwasserzähler" in den Teststrecken 2 und 3 wurden in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss auf die Erfassung der Temperaturen "primär Eintritt Kreis 2" und "Austritt Trinkwarmwasser Kreis 2" sowie "Heizwasser Austritt Pumpe" verzichtet. Die damit frei werdenden Sensoren wurden in den folgenden Versuchsreihen auf die Prüflinge an den Plätzen WWZ 1 bis 3 appliziert. (s. a. Anhang 6; S. A6-14 bis A6-16).

&



Bild 3-2 Anordnung der Sensorik – Beispiel Versuchsreihe 1 (IMSA-Screen-Shot)

Beispielhaft ist im Bild 3-3 die Auswertung über 1-Minuten-Mittelwerte für den 10. Januar 2007 dargestellt. Aus der Grafik lassen sich folgende Dinge ableiten:

 Die Soll-Temperatur von 80 °C auf der Primärseite der PWÜ – also die "Temperatur Heizwasser, Austritt Pumpe" - wird mit einer Regelhysterese von ± 1 K eingehalten. Lediglich in unmittelbarer Folge der 2-Minuten-Entnahmen ist das Speichervolumen erschöpft und die Temperatur fällt kurzzeitig auf ca. 75 °C ab. Die Leistung des Heizstabes ist ausreichend, um innerhalb weniger Minuten wieder die primäre Solltemperatur zu gewährleisten.



Bild 3-3 Screen Shot IMSA-Ergebnisdarstellung für Versuchsreihe 1 am 10.01.2007

- Die Temperaturen am Austritt Trinkwarmwasser der PWÜ der Kreise 2 und 3 werden während der Entnahmen sicher auf 60 °C geregelt. Das Überschwingen unmittelbar nach Ende des Zapfens ist durch den Temperaturausgleich zwischen stagnierendem Heizwasser mit 80 °C und Trinkwasser auf der Sekundärseite zu erklären und entspricht den Erfahrungen in /PWÜ04/. Die Peaks fallen durch das ständige Zirkulieren im Kreis 3 naturgemäß geringer aus. Im Kreis 2 ohne Zirkulation treten kurzzeitig bis zu 72 °C auf.
- Am Rücklauf der Zirkulation wird mit im Mittel 57 °C eine normenkonforme Temperatur sichergestellt.
- Das Trinkwasser wird je nach Dauer der Stagnation in der Zuleitung auf bis zu 20 °C aufgewärmt. Während der Entnahme hat das Trinkwasser nach Ablauf des Stagnationswassers ca. 10 °C.

3.9 Ausgewählte Ergebnisse des Monitoring (thermohydraulische Parameter)

Nachweis der Hauptparameter

Für alle drei Versuchsreihen konnte über das Monitoring nachgewiesen werden, dass am Austritt des Trinkwarmwassers normenkonform eine Temperatur von mindestens 60 °C im Zapffall sichergestellt wird. In der Testrecke 3 mit Zirkulation lag die Temperatur am trinkwasserseitigen Eintritt in den PWÜ außerhalb der Zapfzeiten stets über 55 °C (s. a. Bild 3-3). Exemplarisch ist für Versuchsreihe 2 ein Tag nach ca. 12 Wochen Versuchsdauer in Bild 3-4 dargestellt.



Bild 3-4 Tagesverlauf Minutenmittelwerte Versuchsreihe 2 am 21.12.2007

Neben dem Nachweis der Einhaltung der Empfehlungen der DVGW 551 im Sinne der Vermeidung des Legionellenwachstums konnte damit auch der Nachweis der Eignung des gewählten Konzeptes der Regler ohne Hilfsenergie für derartige Versuchszwecke erbracht werden.

Temperaturen Gehäuse vertikale Warmwasserzähler in der Versuchsreihe 2

Gemäß der Festlegung in der Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses vom 19.09.2007 wurden ab 21.09.2009 Temperatursensoren auf die Gehäuse der Warmwasserzähler appliziert. Bild 3-4 zeigt dabei die Messwerte für den 21.12.2007 in hoher Minuten-Mittelwert-Auflösung aus denen abgeleitet werden kann:

- Das Gehäuse des WWZ im Kreis 1 ohne Beheizung folgt dem Verlauf der Temperatur des Trinkwassers am Eintritt in die Versuchsanlage mit einem Abstand von durchschnittlich 1 K.
- Die WWZ in den Kreisen 2 und 3 mit Beheizung erreichen in den Zeiten der aktiven Trinkwarmwasserentnahme die Temperatur des Trinkwarmwassers.
- Sind die Stagnationsphasen < 1 Stunde, so fällt die Temperatur an beiden WWZ nahezu gleichmäßig auf Temperaturen von 53 bis 45 °C ab.
- Erst bei Stagnationsphasen ≥ 1 h sinkt erwartungsgemäß die Temperatur am WWZ 2 stärker ab als am WWZ 3, da am WWZ 3 allein über Wärmeleitung ein Wärmeeintrag aus dem Zirkulationsbereich zu verzeichnen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass damit die Verhältnisse der Praxis gut widergespiegelt werden.



Bild 3-5 Tagesmittelwerte der Gehäusetemperaturen der WWZ

Interessant für die Gesamtbeurteilung der Migrationsergebnisse der Versuchsreihe 2 ist jedoch der Mittelwert für die Gesamtversuchsreihe. Dazu wurden für den Testzeitraum Tagesmittelwerte gebildet.

Bild 3-5 zeigt den Verlauf bis Dezember 2007. Die 5 Phasen der Probenahme in der 1., 2., 3., 6., 12. Woche sind deutlich durch die abgesenkten Mitteltemperaturen im Trinkwarmwasserbereich bzw. die leicht ansteigende Trinkwassertemperatur im Kreis 1 zu sehen. Überdies ist im Dezember das Absinken der Trinkwassertemperatur zu erkennen.

Bei Mittelwertbildung über den gesamten Versuchszeitraum ergeben sich folgende Werte:

Nr.	t _{m,x} Gehäuse WWZ	t _{m,3} - t _{m,x}	t _{m,x} - t _{m,1}
	°C	K	K
1	19,1	28,0	
2	44,5	2,6	25,4
3	47,1		28,0

Tabelle 3-9 Mitteltemperaturen an den WWZ-Gehäusen

Die Warmwasserzähler der Strecken 2 und 3 werden mithin mit einer um 25 bzw. 28 K höheren Mitteltemperatur belastet, wohingegen sich die Mitteltemperatur der WWZ 2 bzw. 3 nur um ca. 3 K unterscheiden. Beachtet werden muss ggf. jedoch auch die in Strecke 2 nach längeren Stagnationsphasen um 5 bis 12 K höhere Kurzzeit-Temperaturdifferenz zu Beginn der Entnahme.

Temperaturen an den aktiven und passiven Graugussgehäusen

Da in der Praxis für große Zirkulationssysteme häufig Graugusspumpen eingesetzt werden (Kostengründe) ,war die Eignung dieses Werkstoffs zu prüfen. Neben der reinen Temperaturbelastung sollte nach Diskussionen mit Mitgliedern des TK 3.4 "Innenkorrosion" des DVGW auch der Einfluss der Zirkulation selbst untersucht werden.

Um die Versuche im Umfeld der Prüflinge "nickelgelötete PWÜ" nicht zu beeinflussen, wurde deshalb in die Teststrecken 1 und 3 jeweils ein mit einer Blindplatte aus nichtrostendem Stahl verschlossenes Gehäuse integriert. Die eigentliche Zirkulation um den PWÜ im Kreis 3 blieb also unverändert.

Am Prüfplatz WWZ der Strecke 2 wurde ein aufwändiger Umbau auf ein lokales Zirkulationssystem vorgenommen. Die Installation wurde nicht beheizt aber sehr gut isoliert. Bild 3-6 zeigt stark vereinfacht die Installationssituation. Dadurch ergibt sich bezüglich der Temperaturbelastung der Prüflinge ein deutlich differenziertes Verhalten (Bild 3-7).



Bild 3-6 Vereinfachte Darstellung der Integration der Prüflinge in Versuchsreihe 3



Bild 3-7 Verlauf der 5-Minuten-Mittelwerte ausgewählter Temperaturen in Versuchsreihe 3²

² Durch eine mechanische Beeinträchtigung des Temperaturfühlers des Reglers ohne Hilfsenergie auf der Trinkwasserseite musste die Temperatur des Austritts PWÜ im Kreis 2 überwacht werden, sodass eine direkte Messung der Gehäusetemperatur im Kreis 1 entfallen musste. Wie in Versuchsreihe 2 wird angenommen, dass die Temperatur am Pumpengehäuse im Mittel 1 K über der Trinkwassertemperatur (7 in Bild 3-8) liegt.

Obwohl die Pumpe im Fall der eigentlichen Entnahme nicht durchströmt wird, stellt sich allein durch den Eintrag der elektrischen Antriebsleistung der aktiven Pumpe im Kreis 2 in das zirkulierende Trinkwasser eine Mitteltemperatur von 45,9 °C ein. Die Gehäusetemperatur im Kreis 3 liegt durch die Integration in den Hauptstrom der Trinkwarmwasserentnahme zeitweise deutlich darüber, jedoch in den Phasen der nächtlichen Stagnation darunter. Die Mittelwertbildung über den gesamten Versuchszeitraum zeigt jedoch, dass die Temperatur an der aktiven Pumpe im Kreis 2 ca. 1,5 K über der im Kreis 3 liegt (**Bild 3-7**).

Nr.	t _{m,x} Gehäuse GG ° C	t _{m,3} - t _{m,x} K	t _{m,x} - t _{m,1} K
1	18,3	26,1	
2	45,9	-1,5	27,6
3	44,4		26,1

Tabelle 3-10	Mitteltemperaturen an	den Grauguss-Gehäusen
--------------	-----------------------	-----------------------

4 Komplex I - Ergebnisse Schwermetallmigration

4.1 Allgemeines

Für die Bauteile Plattenwärmeübertrager und Wasserzähler wurde die Migration der Elemente Nickel, Kupfer und Blei untersucht und in den nachfolgenden Abschnitten 4.2 bis 4.11 graphisch dargestellt und vergleichend diskutiert. Für die in Versuchsserie 3 untersuchten Graugussbauteile erfolgte darüber hinaus die Bestimmung der Eisen-Migration und deren graphische Darstellung.

Bemerkungen:

In Fällen, in denen die Konzentration unter der Nachweisgrenze lag, d.h. für Blei, Nickel, Kupfer < 2 μg/l und für Eisen < 100 μg/l, ist zur Vereinfachung für alle nachfolgenden Berechnungen die Konzentration Null gesetzt.

Aufgrund der Vielzahl von Messergebnissen sind nachfolgend im Ergebnisteil nur die Diagramme mit den Mittelwerten M(T) über die Betriebsdauer von 26 Wochen dargestellt. Ausnahme bilden Untersuchungsergebnisse, in denen eine Grenzwertüberschreitung nur durch den bzw. die Maximalwerte $C_{max}(t)$ erfolgte. Diese sind den Mittelwert M(T) Diagrammen im Ergebnisteil direkt beigefügt.

Bei der graphischen (vergleichenden) Darstellung der Untersuchungsergebnisse der drei Versuchsserien bestand die Vorgabe, möglichst einheitliche Maßstäbe zu verwenden. Diese wurde innerhalb jeder Versuchsreihe und je untersuchten Element (Nickel, Kupfer, Blei) umgesetzt. Eine einheitliche Darstellung aller Diagramme würde den Informationsgehalt einiger Graphiken nicht mehr zulassen. Der Grenzwert der TrinkwV wurde mit einem roten Balken gekennzeichnet.

In Abweichung zum übrigen Bericht werden aus Darstellungsgründen in den nachfolgen-Abschnitten des Kapitels 4 folgende Abkürzungen gewählt:

- KW Teststrecke 1 Kaltwasser
- WW Teststrecke 2 Warmwasser
- WWZ Testrecke 3 Warmwasser mit Zirkulation
- PWÜ Bauteil Plattenwärmeübertrager
- WZ Bauteil Warmwasserzähler
4.2 Ergebnisse Plattenwärmeübertrager

4.2.1 Nickel

Versuchsserie 1: Plattenwärmeübertrager aus 100% nichtrostendem Stahl

Das Bild 4-1 zeigt die Mittelwerte M(T) von Nickel in Abhängigkeit der Betriebsdauer für Plattenwärmeübertrager (PWÜ) aus 100% nichtrostendem Stahl. In keiner Messphase wird der Grenzwert der TrinkwV überschritten. Signifikante Unterschiede zwischen Warmwasser, Warmwasser mit Zirkulation und der Referenzstrecke Kaltwasser lassen sich aufgrund der geringen Konzentrationen nicht ableiten.



Bild 4-1

Versuchsserie 2: kupfergelötete Plattenwärmeübertrager

Entgegen den Erwartungen, dass die Schwermetallmigration in Warmwassersystemen größer ist als in Kaltwassersystemen, liegen die Mittelwerte M(T) in den Kaltwasseruntersuchungen immer über den Mittelwerten M(T) der Warmwasseruntersuchungen. Insbesondere in der Anfangsphase ist die Nickelmigration mit einer Konzentration von ca. 850 µg/l (siehe Bild 4-2) deutlich über dem gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert der TrinkwV von 20 µg/l.

Nach 26 Wochen Betriebsdauer liegen die Mittelwerte M(T) im Kaltwasser über dem Grenzwert der TrinkwV. Die Teststrecken Warmwasser und Warmwasser mit Zirkulation unterscheiden sich nach 26 Wochen Betriebsdauer nicht wesentlich, in beiden Teststrecken erfüllen die Proben nach 26 Betriebswochen die Anforderungen der TrinkwV (WW – 8,2 μ g/l und WWZ – 13,3 μ g/l).

Um die Ursache der scheinbar niedrigeren Migrationsraten im Warmwasser im Vergleich zum Kaltwasser zu klären, wurde in einem weiteren Versuch der noch aus der Produktionsserie vorhandene, fabrikneue kupfergelötete PWÜ in die Warmwasserstrecke ohne Zirkulation eingebaut und getestet. Im Gegensatz zu den bisherigen Prüfverfahren, die nur nach der ersten Betriebswoche testen, sind hierbei innerhalb der ersten Betriebswoche täglich 4h-Stagnationsproben entnommen wurden. Die Ergebnisse in Bild 4-3 zeigen, dass bereits innerhalb der ersten Betriebswoche ein Temperatureinfluss auf die Nickelmigration erfolgt. Der kupfergelötete PWÜ gibt im Verlauf der ersten Betriebswoche bis zu 810 μ g/l Nickel ab. Dieser Nickelaustrag wurde offenbar bei der regulären Beprobung nach 50931-1 nicht erfasst. Damit konnte die Vermutung bestätigt werden, dass bei Trinkwarmwasser-Bedingungen bereits innerhalb der ersten Betriebswoche eine hohe Nickelmigrationsrate auftritt. Das Maximum auf der Kaltwasserseite wird erst zeitversetzt in der Messphase T = 2 Wochen gefunden.

Auf Grundlage dieser Untersuchungsergebnisse erfolgt in Versuchsserie 3, in Abweichung zur DIN 50931-1, eine Erweiterung des Testumfanges in allen Teststrecken:

- Als einfacher Grundtest f
 ür die Vergleichbarkeit der zu pr
 üfenden Bauteile werden vor Start der 26 Wochen Betriebsdauer f
 ür drei Tage alle Teststrecken parallel ohne Beheizung nach dem Zapfprofil nach DIN 50931-1 betrieben. Eine 4 h-Stagnationsbeprobung wird am 1. und am 3. Tag ohne Beheizung vorgenommen.
- Danach wird, bis zur regulären Messphase T = 1 Woche, je Teststrecke täglich eine 4 h-Stagnationsbeprobung durchgeführt.

&







Bild 4-3 Nickelkonzentration eines farbrikneuen PWÜ in Teststrecke 2 – Warmwasser ohne Zirkulation in der ersten Betriebswoche bis zur Messphase T = 1 Woche

Versuchsserie 3: nickelgelötete Plattenwärmeübertrager

Bei der Versuchsserie mit nickelgelöteten PWÜ wurde aufgrund o.g. Untersuchungsergebnisse innerhalb der ersten Betriebswoche eine 4 h-Stagnationsbeprobung an allen PWÜ durchgeführt (Bild 4-4). Der signifikante Anstieg der Nickelmigration nach einem Tag Betriebsdauer mit Beheizung in den Testrecken WW und WWZ ist auf den Temperatureinfluss zurückzuführen. Die Nickelmigration hat im Warmwasser bzw. Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der ersten Betriebswoche den Maximalwert von ca. 150 µg/l erreicht.

Mit zunehmender Betriebsdauer ergibt sich ein abnehmender Temperatureinfluss auf die Nickelmigration. Im Kaltwasser betragen die Mittelwerte M(T) nach 26 Wochen Betriebsdauer kleiner 2 µg/l. Die Mittelwerte M(T) in den beiden Warmwasser-Teststrecken unterschei-

den sich nicht signifikant, die Nickelmigration im Warmwasser ohne Zirkulation ist geringfügig höher (Überschreitung des Grenzwertes nach der ersten Betriebswoche, Bild 4-5).

Der Grenzwert der TrinkwV für Nickel wird nach 26 Wochen Betriebsdauer in allen PWÜ eingehalten und liegen bei <2 μ g/l.



Bild 4-4 (Grenzwert TrinkwV 2001 – 20 µg/l)



Bild 4-5 (Grenzwert TrinkwV 2001 – 20 µg/l)

Fazit:

Die Ergebnisse der Teststrecke Warmwasser ohne Zirkulation in der ersten Betriebswoche von nickelgelöteten PWÜ sind prinzipiell mit den Ergebnissen der Teststrecke kupfergelöteter PWÜ Warmwasser ohne Zirkulation vergleichbar.

Aus den Mittelwerten M(T) ergibt sich mit zunehmender Betriebsdauer bis zur 18. Woche eine Zunahme der Nickelmigration bei WW, jedoch liegen die Konzentrationen immer noch unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV.

4.2.2 Kupfer

Versuchsserie 1: Plattenwärmeübertrager aus 100% nichtrostendem Stahl

Das Bild 4-6 zeigt die Mittelwerte M (T) von Kupfer in Abhängigkeit der Betriebsdauer für PWÜ aus 100% nichtrostender Stahl. In keiner Messphase wird der Grenzwert der TrinkwV von 2000 µg/l überschritten. Die Teststrecke Warmwasser ohne Zirkulation ist prinzipiell mit der Teststrecke Kaltwasser vergleichbar. Der Maximalwert der Kupferkonzentration in der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation liegt bis zu 155 µg/l über den Konzentrationen Kaltwasser und Warmwasser ohne Zirkulation. Die leicht erhöhten Mittelwerte M (T) in der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf die aus Messing bestehende, fabrikneue Zirkulationspumpe in der Zirkulationsleitung zurückzuführen.



Bild 4-6

Versuchsserie 2: kupfergelötete Plattenwärmeübertrager

Analog der Nickelmigration für kupfergelötete PWÜ liegen die Mittelwerte M(T) der Kupfermigration im Kaltwasser – betrachtet man nur die regulären Beprobungsphasen nach DIN 50931-1 - scheinbar grundsätzlich höher als im Warmwasser mit und ohne Zirkulation (vgl.

&

Bild 4-7). Insbesondere in der Anfangsphase wurden Kupferkonzentrationen im Grenzwertbereich von 2 mg/l analytisch mittels Atomabsorptionsspektroskopie ermittelt.



Bild 4-7





Die Mittelwerte M(T) in den Teststrecken PWÜ Warmwasser ohne Zirkulation bzw. mit Zirkulation unterscheiden sich praktisch nicht, ein Einfluss der Werkstoffe der Zirkulationspumpe liegt damit nicht mehr vor. In allen Messphasen im Bereich Warmwasser mit und ohne Zirkulation wird der Grenzwert der TrinkwV eingehalten. Für den Bereich Kaltwasser ergibt sich eine leichte Grenzwertüberschreitung in der 2. Betriebswoche. Für die bereits im Abschnitt 4.2.1 beschriebene Sonderbeprobung eines fabrikneuen kupfergelöteten PWÜ im Anschluss an den 26-Wochentest in der Teststrecke 2 (Warmwasser ohne Zirkulation) sind die Ergebnisse zur Kupfermigration (tägliche 4 h - Stagnationsbeprobung) in Bild 4-8 zusammengefasst. Dabei wird deutlich, dass analog zur Nickelmigration bereits innerhalb der ersten Betriebswoche ein deutlicher Temperatureinfluss auf die Kupferabgabe besteht. Mit bis zu 860 µg/l wurden die höchsten Kupferkonzentrationen innerhalb des Gesamtversuches von 26 Wochen gemessen.

Versuchsserie 3: nickelgelötete Plattenwärmeübertrager

In Bild 4-9 ist der Verlauf der Kupfermigration bei nickelgelöteten PWÜ innerhalb der ersten Betriebswoche dargestellt. Die Ergebnisse der Kupferabgabe von nickelgelöteten PWÜ in Kaltwasser und Warmwasser ohne Zirkulation sind ähnlich. Dies belegt auch, dass ein signifikanter Einfluss der Werkstoffe der Zirkulationspumpe, die nunmehr in der dritten Versuchsphase im Einsatz ist, nicht vorliegt.

Während die Kupferkonzentrationen im PWÜ Kaltwasser bzw. Warmwasser ohne Zirkulation innerhalb der Anfangsphase nur geringfügig ansteigen, führt die mit der ständigen Durchströmung des PWÜ mit TWW durch das Zirkulationssystem einhergehende erhöhte Mitteltemperatur zu generell höheren Kupferkonzentrationen. Innerhalb des Versuchszeitraumes von 26 Wochen Betriebsdauer genügen alle drei nickelgelöteten PWÜ hinsichtlich Kupfermigration (Bild 4-10) den Anforderungen der TrinkwV.







Bild 4-10

Fazit:

Ein Einfluss Warmwasser Zirkulation auf die Schwermetallabgabe hinsichtlich Kupfer konnte nur für nickelgelötete PWÜ sicher nachgewiesen werden.

Im Vergleich von nickel- bzw. kupfergelöteten Plattenwärmeübertragern führt der Einsatz von kupfergelöteten Plattenwärmeübertragern im Kaltwasser und Warmwasser mit bzw. ohne Zirkulation erwartungsgemäß zu deutlich höheren Kupfermigrationswerten. Diese sind jedoch unbedenklich, da sie deutlich unterhalb des Grenzwertes nach TrinkwV liegen.

4.2.3 Blei

Versuchsserien 1 bis 3:

Plattenwärmeübertrager aus 100% nichtrostendem Stahl, kupfer- und nickelgelötete Plattenwärmeübertrager

In Bezug auf die Bleimigration liefern die kupfer- bzw. nickelgelöteten Plattenwärmeübertrager aus nichtrostendem Stahl und Plattenwärmeübertrager aus 100% nichtrostendem Stahl identische Ergebnisse (vgl. Bild 4-11 bis Bild 4-13). Die Mittelwerte M(T) für die PWÜ in den Teststrecken Kaltwasser und Warmwasser ohne und mit Zirkulation betragen kleiner 2µg/l. Damit wird der Grenzwert der TrinkwV für Blei (10µg/l) in allen Messphasen eingehalten. Ursache für den erhöhten Bleigehalt im PWÜ in der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation in Bild 4-11 während der Anfangsphase bis zur Messphase T = 2 Wochen ist vermutlich der Bleigehalt des Messingwerkstoffes der fabrikneuen Zirkulationspumpe, die in den Versuchsreihen 2 und 3 nicht ausgetauscht wurde.



Bild 4-11



Bild 4-12





4.2.4 Eisen

Versuchsserie 3: nickelgelötete Plattenwärmeübertrager

Die Eisenbestimmung erfolgte wie bereits dargestellt nur in der Versuchsserie 3.

Bild 4-14 und Bild 4-15 zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen den Teststrecken Kaltwasser bzw. Warmwasser ohne Zirkulation im Vergleich mit Warmwasser mit Zirkulation. In keiner Messphase erfüllt die Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation die Anforderungen der TrinkwV. Die Teststrecke Warmwasser ohne Zirkulation liegt in der ersten Betriebswoche

&

über dem Grenzwert, nach 26 Wochen Betriebsdauer ist Eisen in den Teststrecken Kaltwasser bzw. Warmwasser ohne Zirkulation nicht mehr nachweisbar.

Obwohl in Fließrichtung vor bzw. unmittelbar nach dem Bereich der PWÜ keinerlei unlegierte oder niedriglegierte Eisenwerkstoff integriert sind, war in den PWÜ der Testrecken 2 und 3 ein Eisengehalt nachweisbar. Es ist zu klären, warum überhaupt eine Fe-Migration nachweisbar ist. Grund könnte sein, dass in den Stagnationsphasen die Kugelhähne zwischen den Prüfplätzen "WÜ" und "WWZ" (Vergleiche Anlage 4) offen sind. Es lag daher die Vermutung nahe, dass die hohen Eisenkonzentrationen in den Warmwasserteststrecken über die Zirkulation im Kreis zu einem Konzentrationsausgleich führen.



Bild 4-14



Bild 4-15

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

4.3 Ergebnisse Warmwasserzählern

4.3.1 Nickel

Versuchsserie 1: horizontale Einbaulage

In der Anfangsphase bis zur Messphase der 18. Betriebswoche begünstigt Warmwasser die Nickelmigration in Wasserzählern (Bild 4-16). Nach einer Betriebsdauer von 26 Wochen haben sich die Mittelwerte M(T) weitgehend angeglichen. Der Einfluss der Zirkulation wird als gering eingeschätzt, da das Bauteil selbst nicht in den Zirkulationskreis eingebunden ist.

Der Grenzwert der TrinkwV für Nickel von 20 μ g/l wird in allen Messphasen durch die Mittelwerte M(T) eingehalten. Grenzwertüberschreitungen erfolgen nur durch die Maximalwerte $C_{max}(T)$ für Nickel in der Anfangsphase bis maximal zur Messphase der 12. Betriebswoche in allen drei Prüflingen (Bild 4-17).



Bild 4-16



Bild 4-17

Bauteilspezifisch verbleibt bei horizontaler Einbaulage ein geringer Anteil des Prüfkörpervolumens im Sumpf des Wasserzählers. Beprobt werden konnte in der ersten Versuchsreihe jeweils nur der freie Auslauf. Es wurden daher Einzel-Labortests im kalten und warmen Zustand an jeweils fabrikneuen Warmwasserzähler der gleichen Bauart durchgeführt. Dabei wurde die Probe gesplittet, in den Teil, der bei horizontaler Fixierung und beidseitiger Öffnung der Anschlüsse im freien Auslauf ins Probenahmegefäß läuft ("freier Auslauf") und den Teil, der durch Ausgießen aus dem unteren Gehäuseteil ("Sumpf") entnommen werden kann. In Tabelle 4-1 sind die Volumenanteile und Nickelmigrationswerte nach 16h-Stagnationsbeprobung und horizontaler Einbaulage dargestellt. Diese Resultate gaben einen ersten Hinweis darauf, dass nicht von einer idealen Durchmischung des im Bereich des Warmwasserzählers befindlichen Wasserinhalts ausgegangen werden kann.

	Volumen [ml]	KW [µg/l]	WW (52°C) [µg/l]
freier Auslauf	40	17,9	19,9
Sumpf	10	18,1	21,1

Tabelle 4-1	Finzeltest an	Wasserzählern
	LINZERESI an	Vasseizamenn

Nach 26 Wochen Betriebsdauer wurde deshalb die letzte 16h-Stagnationsbeprobung analog der Einzel-Labortest in "freier Auslauf" und "Sumpf" gesplittet, die Ergebnisse sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst. Diese bestätigen die Tendenz der Labortests zu höheren Migrationsraten im Sumpfbereich der Warmwasserzähler.

	KW [µg/l]	WW [µg/l]	WWZ [µg/l]
freier Auslauf	6,7	9,8	11,8
Sumpf	4,0	15,4	13,8

Tabelle 4-2 Einzeltest an Wasserzählern

Versuchsserie 2: vertikale Einbaulage

Auf Grund der höher liegenden Nickelmigrationswerte im Sumpf der Warmwassertests (vgl. Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2) und für eine klare, reproduzierbare Umrechnung der Migrationswerte der Gesamtprobenahme auf die bauteilspezifischen Werte wurde für die zweite Versuchsserie die Versuchsanlage umkonstruiert und die Wasserzähler in vertikaler Einbaulage eingebaut. Diese Einbaulage ermöglichte es bei Probenahme den Wasserzähler vollständig zu entleeren.

In Bild 4-18 sind die Ergebnisse der Nickelmigration aus den Wasserzählern dargestellt. Demnach begünstigt Warmwasser die Nickelmigration in den Wasserzählern (hier vertikale Einbauweise). Nach einer Betriebsdauer von 26 Wochen haben sich die Mittelwerte M(T) für beide Warmwasser-Teststrecken weitgehend angeglichen Der Einfluss der Zirkulation wird als gering eingeschätzt. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Nickel wird bei den vertikal eingebauten Wasserzählern in beiden Warmwasser-Teststrecken in keiner Messphase durch die Mittelwerte M(T) eingehalten. Als Ursache ist der in Kapitel 4.6 dargestellte und diskutierte Korrosionsangriff zu benennen.

Entsprechendes gilt für den Wasserzähler in der Kaltwasser-Teststrecke in den ersten beiden Betriebswochen. Nach 12 Wochen Betriebsdauer sinkt die Nickelmigration unter den festgesetzten Grenzwert.





Fazit:

Bau- und typgleiche Wasserzähler in vertikaler Einbaulage liefern deutlich höhere Nickelkonzentrationen als Wasserzähler in horizontaler Einbaulage. Dies resultiert aus den unterschiedlichen Probenahmevolumina (Sumpfbereich bei horizontaler Einbaulage nicht beprobt). Generell zeigen die Ergebnisse beider Versuchsserien jedoch, dass Warmwasser die Nickelmigration in vernickelten Wasserzählern aus Messing begünstigt.

Zur Bestätigung der Untersuchungsergebnisse ist die Wiederholung in der Anordnung analog der zweiten Versuchsserie empfehlenswert.

4.3.2 Kupfer

Horizontale und vertikale Einbaulage

Aus den Mittelwerten M(T) für horizontal bzw. vertikal eingebaute Wasserzähler in den Teststrecken Kaltwasser, Warmwasser ohne Zirkulation und Warmwasser mit Zirkulation ergibt sich ein deutlicher Temperatureinfluss auf die Kupfermigration (Bild 4-19 und Bild 4-20). Die Zunahme im Wasserzähler in der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation wird durch die ständige Wärmezufuhr in das zirkulierende System begünstigt. Die erhöhte Temperaturbelastung konnte durch die Messung der Gehäusetemperatur und eine Mittelwertbildung über den gesamten Versuchszeitraum nachgewiesen werden (siehe Tabelle 3-9), obwohl der Wasserzähler selbst nicht in die Zirkulation eingebunden war.

Der Grenzwert der TrinkwV für Kupfer von 2 mg/l wird in allen Messphasen durch die Mittelwerte M(T) eingehalten.



Bild 4-19



Bild 4-20

4.3.3 Blei

Horizontale Einbaulage

Der Grenzwert der TrinkwV für Blei von 10 μ g/l wird in allen Messphasen durch die Mittelwerte M(T) eingehalten, mit Ausnahme bis zur Messphase der zweiten Betriebswoche für den Wasserzähler in der Teststrecke Kaltwasser (Bild 4-21). Grenzwertüberschreitungen erfolgen durch die Maximalwerte C_{max}(T) für Blei in der Anfangsphase bis maximal zur Messphase von 6 Wochen Betriebsdauer in Kalt- und Warmwasser (Bild 4-22).



Bild 4-21



Bild 4-22

Vertikale Einbaulage

Aus den Mittelwerten M(T) für die Teststrecken Kaltwasser, Warmwasser ohne Zirkulation und Warmwasser mit Zirkulation lässt sich ein Temperatureinfluss auf die Bleimigration nicht ableiten, da die absolute Blei-Konzentration zu gering ist. Ein Einfluss der Zirkulation ist nicht nachweisbar. Der Grenzwert der TrinkwV für Blei wird in allen Messphasen durch die Mittelwerte M(T) eingehalten (Bild 4-23). Grenzwertüberschreitungen erfolgen lediglich durch die Maximalwerte Cmax(T) für Blei in der ersten Messphase in Kalt- und Warmwasser ohne Zirkulation (Bild 4-24).



Bild	4-23
------	------



Bild 4-24

Fazit:

Aus den Mittelwerten M(T) für die Teststrecken Kaltwasser, Warmwasser ohne Zirkulation und Warmwasser mit Zirkulation lässt sich ein Temperatureinfluss auf die Bleimigration für beide Einbauweisen nicht ableiten, da die absolute Blei-Konzentration zu gering ist. Ein Einfluss der Zirkulation ist nicht nachweisbar.

4.4 Ergebnisse Graugussbauteile

4.4.1 Nickel

Versuchsserie 3: Graugussgehäuse

Innerhalb der ersten Betriebswoche ist ein deutlicher Einfluss von Warmwasser zu erkennen (Vergleich Graugussgehäuse Warmwasser und Kaltwasser Bild 4-25). Der Maximalwert für das Bauteil Graugussgehäuse Warmwasser mit über 50 µg/l wird nach dem ersten Betriebstag mit Beheizung erreicht. Bei der regulären Beprobung nach der ersten Betriebswoche ist die Nickelmigration im Warmwasser bereits unter den Grenzwert gesunken.

Im Kaltwasser entspricht das Graugussgehäuse in allen Messphasen (insbesondere erste Betriebswoche) den Anforderungen der TrinkwV.

Versuchsserie 3: Graugusspumpe

Bei der Interpretation der Kurve "WW Graugusspumpe" in den ersten drei Tagen ohne Beheizung ist zu beachten, dass es durch den aktiven Betrieb der Pumpe bereits in dieser Zeit zu einem messbaren Wärmeeintrag in das Trinkwasser kommt. Daraus resultiert wahrscheinlich auch die doch signifikante Migrationsrate von 80 µg/l am Tag 3.

Der Maximalwert liegt nach drei Tagen kalter und einem Tag beheizter Betriebsdauer für das Bauteil Graugusspumpe zirkulierend im Warmwasser über 250µg/l (Bild 4-26). Nach 18 Wochen Betriebsdauer wird der Grenzwert für das Bauteil Graugusspumpe erstmals unterschritten.



Bild 4-25



Bild 4-26

4.4.2 Kupfer

Versuchsserie 3: Graugussgehäuse

Im Gegensatz zur Nickelmigration ist kein signifikanter Unterschied zwischen der Kupfermigration Kaltwasser und Warmwasser an den untersuchten Graugussgehäusen nachweisbar. Der Grenzwert der TrinkwV wird in jeder Messphase eingehalten (Bild 4-27 und Bild 4-28).

Versuchsserie 3: Graugusspumpe

Die Graugusspumpe gibt insbesondere in der ersten Betriebswoche hohe Kupferkonzentrationen, d.h. bis zu 1500 μ g/l, ab (Bild 4-27). Nach 26 Wochen Betriebsdauer sind alle drei Teststrecken bzw. Bauteile hinsichtlich der Kupfermigration vergleichbar (Bild 4-28).



Bild 4-27



Bild 4-28

&

&

4.4.3 Blei

Versuchsserie 3: Graugussgehäuse

In Bezug auf die Bleimigration liefern die Graugussgehäuse Kaltwasser und Warmwasser vergleichbare Ergebnisse, ausgenommen der 12 Wochenwert (vergl. Bild 4-30), hier wurde für das Graugussgehäuse Warmwasser eine einmalige Grenzwertüberschreitung festgestellt.

Der Grenzwert der TrinkwV wird für das Bauteil Graugussgehäuse Kaltwasser in jeder Messphase eingehalten (Bild 4-29 und Bild 4-30).

Versuchsserie 3: Graugusspumpe

Die Graugusspumpe gibt analog zur Nickel- und Bleimigration in der ersten Betriebswoche hohe Bleikonzentrationen, d.h. bis zu 80 µg/l, ab (Bild 4-29). Nach 26 Wochen Betriebsdauer sind alle drei Teststrecke bzw. Bauteile hinsichtlich der Bleimigration vergleichbar (Bild 4-30). Bei der regulären Beprobung nach der ersten Betriebswoche ist die Bleimigration bereits unter den Grenzwert gesunken. Nach 26 Wochen Betriebsdauer entspricht das Bauteil Graugusspumpe den Anforderungen der TrinkwV.



Bild 4-29

Gemeinsamer Schlussbericht - FKZ DVGW - W10/01/05

"Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Bild 4-30

&

4.4.4 Eisen

Versuchsserie 3: Graugussgehäuse und Graugusspumpe

Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Eisen von 0,2 mg/l wird in allen Messphasen durch die Mittelwerte M(T) erreicht bzw. signifikant überschritten. Die Testeinheit Graugussgehäuse im Kaltwasser hat eine deutlich höhere Eisenkonzentration im Gegensatz zur Testeinheit Warmwasser (Bild 4-31 und Bild 4-32). Die Graugusspumpe liefert in der ersten Betriebswoche nach jeweils 4 Stunden Stagnation eine Eisenkonzentration von ca. 320 mg/l. Dies erklärt auch die im Vergleich zu den anderen Prüflingen deutlich niedrigeren Migrationsraten in der nominellen Beprobung bis zur 26. Woche.



Bild 4-31 (Grenzwert 0,2 mg/l)





4.5 Vergleich der Mittelwerte der Messphasen mit den 4h-Stagnationswerten

In den Bildern 4-33 bis 4-38 sind exemplarisch die Nickel- und Kupferkonzentrationen für die Prüflinge "kupfergelöteter PWÜ aus nichtrostendem Stahl" über 26 Wochen dargestellt. Es wurden für die Messphasen T jeweils als Punktwerte die Konzentrationen aus der 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h-Stagnation aufgetragen und als Linie verbunden. Zur Veranschaulichung wurden die 4 h-Stagnationswerte (4h) als rote horizontale Strich-Punkt-Linie und die Wochenmittelwerte M(T) als blaue horizontale Strich-Punkt-Linie hervorgehoben.

Es zeigt sich, dass der 4h Stagnationswert recht gut mit dem Wochenmittelwert korreliert, wobei in den meisten Fällen der 4 h Stagnationswert geringfügig über dem Wochenmittelwert liegt. In Ausnahmefällen liegt der M(T)–Wert noch darüber, jedoch immer unter dem 8h-Stagantionswert. Bei der Überarbeitung der Prüfvorschrift sollte diese Erkenntnis im Sinne einer Minimierung des Zeit- und Kostenaufwandes Berücksichtigung finden.





Bild 4-34



Bild 4-35



Bild 4-36



Bild 4-37



Bild 4-38

4.6 Metallographische Untersuchungen

In den nachfolgenden Kapiteln 4.6.1 bis 4.6.3 sind für alle untersuchten Plattenwärmeübertrager Querschliffaufnahmen in Detail- und Übersicht exemplarisch zusammengefasst. Die umfassende Bilddarstellung und die EDX-Analysen der Oberflächen der Primär- und Sekundärseiten sind der Anlage 5 zu entnehmen.

4.6.1 Versuchsserie 1: Plattenwärmeübertrager 100% nichtrostender Stahl

In Bild 4-39 bis Bild 4-41 sind die metallographischen Aufnahmen der untersuchten PWÜ in Detail und Übersicht dargestellt. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem PWÜ Kaltwasseruntersuchung und dem PWÜ Warmwasseruntersuchung mit und ohne Zirkulation ist nicht feststellbar. Nach 26 Wochen Betriebsdauer zeigen die untersuchten PWÜ keine nennenswerten Veränderungen. Für die Probenahme wurden die PWÜ mittig durchtrennt, alle Aufnahme stammen aus durchströmten Bereichen.

Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH



Bild 4-39 PWÜ KW Querschliff Übersicht / Detail



Bild 4-40 PWÜ WW Querschliff Übersicht /Detail

&



Bild 4-41 PWÜ WWZ Querschliff Übersicht / Detail

4.6.2 Versuchsserie 2: Kupfergelötete Plattenwärmeübertrager

Im nicht durchströmten Bereich (Bild 4-42, Bild 4-45 und Bild 4-48) sind Aufweitungen an den Korngrenzen erkennbar, die bei (thermischer) Beanspruchung des PWÜ zum Austrag des Lotmaterials (Bild 4-44) führen können. Durch das Medium Wasser wird die dünne Kupferschicht (Kupferfolie) der Platten teilweise abgetragen, dieser Prozess wurde über die erhöhte Kupfermigration verstärkt im Kaltwasser bis zur 3. Betriebswoche und im Warmwasser innerhalb der ersten Betriebswoche nachgewiesen.



Bild 4-43 kupfergelöteter PWÜ KW nicht durchströmt

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Seite 68 von 142



Bild 4-44 kupfergelöteter PWÜ KW durchströmt



Bild 4-45 kupfergelöteter PWÜ WW, quer getrennt





Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Bild 4-47 kupfergelöteter PWÜ WW durchströmt



Bild 4-48 kupfergelöteter PWÜ WWZ, quer getrennt


Bild 4-49 kupfergelöteter PWÜ WWZ, nicht durchströmter Bereich



Bild 4-50 kupfergelöteter PWÜ WWZ, durchströmter Bereich

Bei der visuellen Begutachtung der quer getrennten kupfergelöteten Plattenwärmeübertrager wurden grün, grau und braun gefärbte Deckschichten in den wasserdurchströmten Kanälen festgestellt und mittels EDX untersucht. (siehe Anlage 5)

Die grüne Schicht aus vorwiegend basischem Kupfercarbonat (Cu₂(OH)₂CO₃) der von kaltem Trinkwasser durchströmten Kanäle weist höhere Kupfer- und geringere Chrom-, Eisen- und Nickelkonzentrationen auf als die von erwärmtem Trinkwasser verursachten grauen Schichten. Der Abbau des Kupferfilms ist damit in den von erwärmtem Trinkwasser durchströmten Kanälen weiter vorangeschritten als in kaltem Trinkwasser. Die Zunahme an Nickel, Eisen und Chrom in der grauen Deckschicht kann folgerichtig als eine Begleiterscheinung der Verminderung der Schichtdicke des Kupferfilms auf dem nichtrostenden Stahl angesehen werden. Die Ergebnisse korrelieren mit den entsprechenden Untersuchungen zur Schwermetallmigration. M(T) Cu –Werte in kupfer-gelöteten PWÜ betragen für die Messphase T=26

Wochen in Kaltwasser 582 μ g/l, in Warmwasser ohne und mit Zirkulation liegen diese Werte mit 400 μ g/l deutlich darunter.

Die analytisch ähnliche Zusammensetzung der grauen Schichten in den von erwärmtem Trinkwasser durchströmten Kanälen der kupfergelöteten PWÜ in den Teststrecken WW und WW mit Zirkulation steht in Übereinstimmung mit den geringen Unterschieden bei der Kupfermigration.

Die EDX-Analysen der braunen, Kupfer-1-Oxid-haltigen Deckschichten in den von Heißwasser durchströmten Kanälen der PWÜ (Primärseite) deuten im Vergleich mit den Analysen der grauen Schichten in den von erwärmtem Trinkwasser durchströmten Kanälen der PWÜ (Sekundärseite) auf eine geringere Korrosionsgeschwindigkeit des Kupferfilm infolge des geringeren Sauerstoffgehalts des Kreislaufwassers hin.

4.6.3 Versuchsserie 3: Nickelgelötete Plattenwärmeübertrager



Bild 4-51 nickelgelöteter PWÜ KW, mittig quer getrennt



Bild 4-52 nickelgelöteter PWÜ KW, nicht durchströmter Bereich







Bild 4-54 nickelgelöteter PWÜ WW, mittig quer getrennt

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Bild 4-55 nickelgelöteter PWÜ WW, nicht durchströmter Bereich



Bild 4-56 nickelgelöteter PWÜ WW, durchströmter Bereich



Bild 4-57 nickelgelöteter PWÜ WWZ, mittig quer getrennt



Bild 4-58 nickelgelöteter PWÜ WWZ, nicht durchströmter Bereich

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Bild 4-59 nickelgelöteter PWÜ WWZ, durchströmter Bereich

4.6.4 Versuchsserie 2: Vernickelte Wasserzähler aus Messing

Die Außenoberfläche der Wasserzähler ist mit einem metallischen Überzug aus einer Nickelund Chromschicht versehen; die Matrix besteht aus Messing.

Die Innenseite der Wasserzähler zeigt nach 6 Monaten Betrieb im Oberflächenbereich immer noch einen erhöhten Nickelgehalt, der auf die Nickelbeschichtung zurückzuführen ist. Die Wasserzähler der Teststrecken Warmwasser ohne bzw. mit Zirkulation zeigen deutliche Korrosionserscheinungen, die Angriffstiefen liegen im Durchschnitt bei 400µm. Dies erklärt die in 4.3.1 gezeigten hohen Nickelmigrationsraten.



Bild 4-60 Wasserzähler vertikaler Einbau, oben Teststrecke WW, unten Teststrecke WWZ



Bild 4-61 Wasserzähler, Teststrecke WW Querschliff, Angriffstiefe 430 µm



Bild 4-62 Wasserzähler, Teststrecke WWZ, Querschliff, Angriffstiefe 350 µm

4.6.5 Versuchsserie 3: Graugussgehäuse, Graugussbauteile

Die in Bild 4-63 und Bild 4-64 dargestellten Graugussbauteile zeigen nach 26 Wochen Betriebsdauer deutliche Korrosionserscheinungen. Dies erklärt die Ergebnisse des Kapitels 4.4. Mittels metallographischer Untersuchungen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Bauteil Graugussgehäuse Kaltwasser und dem Bauteil Graugussgehäuse Warmwasser festgestellt werden.



Bild 4-63 links Graugussgehäuse KW, rechts Graugussgehäuse WW



Bild 4-64 Graugusspumpe WW



Bild 4-65 Graugussgehäuse KW Übersicht / Detail



Bild 4-66 Graugussgehäuse WW Übersicht / Detail



Bild 4-67 Graugusspumpe WW Übersicht / Detail

4.7 Untersuchungen an Prüfkörpern aus Messing im Warmwasserbereich

In der Trinkwasser-Hausinstallation werden in großem Umfang Kupfer und Kupferlegierungen als Werkstoffe für Rohre bzw. für Armaturen und Rohrverbinder eingesetzt. Die Anwendbarkeit von Kupfer, Messing und Rotguss in der Trinkwasser-Hausinstallation ist auf ihre Eigenschaft zurückzuführen, korrosionshemmende Deckschichten aus den Korrosionsprodukten zu bilden. Vorgänge, die zur Auflösung der Deckschichten führen bzw. deren Ausbildung verhindern, bestimmen im Wesentlichen das Ausmaß der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit (Korrosionsschaden am Wasser). Korrosionsschäden am Werkstoff werden durch Elementbildung, beispielsweise Loch-, Bimetall- oder Erosionskorrosion hervorgerufen. Untersuchungen zeigten, dass der Temperatureinfluss auf die Schwermetallmigration nicht exakt vorhergesagt werden kann. Damit ist die als allgemein anerkannte Regel der Technik geltende Norm 50930-6 für erwärmte Trinkwässer nicht anwendbar.

Ziel der Untersuchungen im Institut für Korrosionsschutz Dresden im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens (AiF IW080038) ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung des Einflusses der Warmwassertemperatur auf die Schwermetallmigration von Kupfer und Kupferwerkstoffen in der Trinkwasser-Hausinstallation.

In einem ersten Schritt erfolgte die Entwicklung, der Aufbau und Betrieb einer modifizierten Versuchsanlage nach DIN 50931-1 für die Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit durch Installationswerkstoffe in warmem Trinkwasser. Im zweiten Schritt erfolgt die Untersuchung der Schwermetallmigration von Kupfer und Kupferlegierungen hinsichtlich Kupfer- bzw. Blei- und Nickellöslichkeit bei Beaufschlagung mit warmem Trinkwasser unterschiedlicher Zusammensetzung. In Ergänzung dazu werden die Installationskomponenten auf Korrosionserscheinungen hin untersucht.

Die Versuchsanlagen enthalten Installationseinheiten von 3 m Länge, die mit Warmwasser von 58 bis 60 °C aus einem Elektro-Durchlauferhitzer betrieben werden. Wasser mit einer geringeren Temperatur wird über eine Bypass-Strecke solange abgeleitet, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist. Die Installationseinheiten bestehen aus Strecken von jeweils fünf gleichartigen Prüfkörpern entsprechend DIN 50931-1, die über Rohrabschnitte aus nichtrostendem Stahl, Werkstoff Nummer 1.4401, verbunden sind. Die Prüfkörper bestehen aus Standardmessing, entzinkungsbeständigem Messing und Rotguss. Für Untersuchungen am Kupfer bestehen die Installationseinheiten aus Kupferrohr DN 15.

Kupfermigration

Die Legierungen CuZn40Pb2 (Standardmessing), CuZn36Pb1As (entzinkungsbeständiges Messing) und CuZn21Si3 (bleifreies Messing) erfüllen nach den bisherigen Ergebnissen die hygienischen Anforderungen der DIN 50930-6 zum Werkstoffeinsatz hinsichtlich der Kupfermigration im Bereich der Warmwasserinstallation ohne Zirkulation in weichen, salzarmen Wässern mit sehr geringem Kohlensäuregehalt. Die höchsten Kupferwerte wurden in den ersten Tagen nach Inbetriebnahme gemessen. Mit steigendem Kupfergehalt der Legierungen erhöhte sich die Kupfermigration aus den Messingprüfkörpern. Die Bilder 4-68 und 4-69 zeigen die 4-Stunden-Stagnationswerte und die Mittelwerte M(T) von Kupfer in Abhängigkeit

von der Betriebsdauer für diese Werkstoffe im Warmwasser mit Trinkwasser aus dem Wasserwerk Dresden-Coschütz als Ausgangswasser.



Bild	4-68
------	------





Nickelmigration

CuZn40Pb2, CuZn36Pb1As und CuZn21Si3 erfüllen nach den bisherigen Ergebnissen die Anforderungen der DIN 50930-6 in Warmwasser. In den ersten drei Tagen nach Inbetriebnahme traten jedoch bei CuZn40Pb2 erhebliche Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der zulässigen Nickelkonzentration im Trinkwasser auf (Bild 4-70). Die Nickelkonzentration im Prüfkörpervolumen betrug bis zu 311 µg/l. Die Nickelmigration der beiden Legierungen CuZn36Pb1As und CuZn21Si3 ist dagegen nahezu identisch. Ursache für dieses Verhalten

dürfte in dem Nickelgehalt der einzelnen Legierungen liegen. Während CuZn40Pb2 einen Nickelgehalt von 0,0120 % aufweist, liegen die entsprechenden Werte bei CuZn36Pb1As und CuZn21Si3 im Spurenbereich von <0,00060 %.



Bild 4-70



Bild 4-71

4.8 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchungen im Technikumsmaßstab war es zu überprüfen, ob die Ergebnisse von Untersuchungen mit Kaltwasser zur Schwermetallmigration von Bauteilen der Trinkwasser-Hausinstallation auf Warmwasser übertragbar sind. Ebenso werden einschlägige Vorschriften und Richtlinien hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft.

Hierfür wurde eine Versuchsanlage, bestehend aus drei parallelen Testrecken:

- Referenzstrecke für die Migration im Trinkwasser kalt
- Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation
- Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation

konzipiert und technisch umgesetzt. Die Messphasen lagen bei T = 1, 2, 3, 6, 12, 18 und 26 Betriebswochen. Die Probenahme erfolgte je Messphase T nach t = 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h Stagnation nach dem in Anlage 6 beschriebenen Vorgehen.

Bei der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation wird das Wasser wie in der Praxis permanent umgewälzt. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um Resultate "echter" Stagnationswasserproben, da nur zur Probenahme selbst die Zirkulationspumpe ausgeschaltet wurde.

Basis für die Probenahme sind Stagnations- und Spülzeiten, wie sie bereits bei Untersuchungen in kalten Trinkwässern nach DIN 50931-1 realisiert wurden.

Die Trinkwassererwärmung auf die normenkonformen 60 °C erfolgte im Durchflussprinzip. Der Volumenstrom betrug 5 l/min. Folgende Bauteile wurden auf ihre Schwermetallmigration untersucht:

- Plattenwärmeübertrager aus 100% nichtrostendem Stahl
- kupfergelötete Plattenwärmeübertrager aus nichtrostendem Stahl
- nickelgelötete Plattenwärmeübertrager aus nichtrostendem Stahl
- vernickelte Warmwasserzähler aus Messing
- Graugussgehäuse und eine Graugusspumpe.

In

Tabelle **4-3** bis Tabelle 4-7 sind in komprimierter Form die Ergebnisse zur Schwermetallmigration in o.g. Bauteilen zusammengefasst.

Allgemein zeigt sich, dass mit Ausnahme der untersuchten Warmwasserzähler in vertikaler Einbaulage die M(T)-Werte der 26. Betriebswoche der Prüflinge die Bedingungen der TrinkwV 2001 im Bezug auf die Einhaltung der Grenzwerte für Kupfer, Nickel und Blei sowohl im Trinkwasser als auch im Trinkwarmwasser mit und ohne Zirkulation (**Tabelle 4-4**,

Tabelle **4-3** und Tabelle 4-7) erfüllen.

Die Grenzwerte für Kupfer werden von allen Bauteile eingehalten. Allerdings nimmt die Kupfermigration beim "PWÜ nichtrostender Stahl" und beim "PWÜ nickelgelötet" sowohl im kalten als auch im warmen Trinkwasser zwischen der 12. bis 26. Woche zu. Beim "PWÜ aus 100 % nichtrostendem Stahl" ist die Cu-Migration nicht auf das Bauteil PWÜ sondern die integriert Zirkulationspumpe (Messinggehäuse) zurück zuführen. Die Bildung korrosionshemmender Deckschichten auf dem nickelgelöteten PWÜ und der Zirkulationspumpe kann ausgeschlossen werden.

Da Nickel keine schwerlöslichen Deckschichten bildet, ist die tendenziell abnehmende Migration durch eine Verminderung des Nickelgehaltes im Bereich der wasserberührten Oberfläche des Werkstoffs zu erklären. Die Grenzwerte für Nickel werden vom Warmwasserzähler in vertikaler Einbaulage auch in der 26. Woche noch nicht eingehalten. Der zulässige unvermeidbare Anteil einer Vernickelung der Innenoberfläche der Wasserzähler muss insbesondere bei Einsatz im erwärmten Trinkwasser minimiert werden. Dabei stellt sich die Frage, ob ein Oberflächenanteil insgesamt ein sinnvolles Maß für eine solche Anforderung ist (Siehe auch 6 Komplex III).

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die bisherigen Prüfverfahren für Kaltwasser nicht ohne Modifizierung auf Warmwasser übertragbar sind.

Die Lage der Maxima der Schwermetallmigrationsraten M(T) für T = 1 bis 26 Wochen wird für die geprüften Bauteile mit steigender Temperatur in Richtung der 1. Betriebswoche verlagert. Insbesondere innerhalb der im Rahmen des Projektes erstmals detailliert untersuchten ersten Betriebswoche konnte eine signifikant erhöhte Schwermetallmigration bei Anwendung von Warmwasser, mit und ohne Zirkulation, nachgewiesen werden (Tabelle 4-5 und Tabelle 4-6). Auf Grund dieser Erkenntnis, empfiehlt es sich, innerhalb der ersten Betriebswoche 4h-Stagnationsproben zu untersuchen und in die Beurteilung zum Einsatz des Bauteiles in der Trinkwassererwärmung einfließen zu lassen.

	Kupfermigration [µg/]									
Toststrocko	PV	VÜ	PV	VÜ	PWÜ					
I ESISII ECKE	nichtroste	nder Stahl	kupfer	gelötet	nickelgelötet					
	12.Woche	26.Woche	12.Woche	26.Woche	12.Woche	26.Woche				
kalt	10,6	14,8	1160	582	6,3	17,4				
warm	13,4	17,8	467	392	16,6	21,5				
warm Zirk.	53,7	82,7	493	405	281	74,7				

Tabelle 4-3 Kupfermigration Plattenwärmeübertrager (Grenzwert 2000 µg/l)

Tabelle 4-4 Nickelmigration Plattenwärmeübertrager (Grenzwert 20 µg/l)

	Nickelmigration [µg/]								
Toststracka	PV	VÜ	PV	VÜ	PWÜ				
I ESISII ECKE	nichtroster	nder Stahl	kupfer	gelötet	nickelgelötet				
	12.Woche	26.Woche	12.Woche	26.Woche	12.Woche	26.Woche			
kalt	< 2	< 2	356	81,9	< 2	< 2			
warm < 2 < 2		< 2	32,8	8,2	12,2	< 2			
warm Zirk.	< 2	3,0	16,6	13,4	< 2	< 2			

Betriebsdauer	Kupfermigration [µg/]						
in Tagen	PWÜ	PWÜ					
	kupiergelolel		nickeigeiotet				
	warm	kalt	warm	warm Zirk.			
1*	-	4,7	13,9	71,8			
3*	-	4,4	10,7	48,9			
1	664	< 2	16,4	500			
2	610	< 2	6,1	401			
3	560	4,4	20,4	234			
4	551	9,1	24,1	153			
5	544	11,9	23,9	139			
6	520	15,4	27,4	128			
7	455	31,2	39,4	276			

* ohne Beheizung

Betriebsdauer		Nickelmigra	ation [µg/]	
in Tagen	PWÜ			
in ragen	kupfergelötet		nickelgelötet	
	warm	kalt	warm	warm Zirk.
1*		< 2	7,8	< 2
3*		< 2	6,4	< 2
1	616	< 2	166	155
2	538	< 2	60,0	51,4
3	247	< 2	48,7	19,1
4	54,2	< 2	41,0	12,0
5	47,2	5,2	28,9	9,7
6	45,4	3,8	27,0	10,7
7	20,6	< 2	22,8	9,4

Tabelle 4-6 Verlauf Nickelmigration	n innerhalb de	er ersten	Betriebswoche
-------------------------------------	----------------	-----------	---------------

* ohne Beheizung

Tabelle 4-7 Kupfer- und Nickelmigration Warmwasserzähler

		WZ	2		WZ			
Teststrecke	h	orizontale E	vertikale Einbaulage					
	Cu [[µg/]	Ni [µg/]		Cu [µg/]		Ni [µg/]	
	12.Wo	26.Wo	12.Wo	26.Wo	12.Wo	26.Wo	12.Wo	26.Wo
kalt	67,9	99,1	< 2	6,2	151	72,8	14,7	< 2
warm	92,9	138	7,1	7,1	396	306	74,3	29,7
warm. Zirk.	167	186	6,3	7,5	543	464	66,1	31,5

Tabelle 4-8 Migration von Schwermetallen aus Graugussbauteilen

Pautail	Cu	μg/]	Ni [µg/]	Fe [mg/]		
Dauleli	12.Wo	26.Wo	12.Wo	26.Wo	12.Wo	26.Wo	
Graugussgehäuse kalt	< 2	17,0	< 2	< 2	4,5	3,8	
Graugussgehäuse warm	41,0	34,2	2,9	3,8	2,0	1,7	
Graugusspumpe warm Zirk.	254	560	10,7	< 2	0,8	0,8	

Es konnte gezeigt werden, dass in warmen Trinkwässern die Schwermetallmigration mit steigender Temperatur zunimmt Grenzwertüberschreitungen sind insbesondere bei Nickel aufgetreten (siehe **Tabelle 4-4** und Tabelle 4-7).

Die Anwendungsbereiche der DIN 50930-6 müssen für erwärmte Trinkwässer angepasst werden. Die Ergebnisse der Schwermetallmigration (Tabelle 4-8) und der Korrosionsuntersuchungen an den Graugussbauteilen sollten bei der Novellierung der DIN 50930-6 Beachtung finden.

5 Komplex II - Felduntersuchungen

5.1 Allgemeines

Die Felduntersuchungen sollten erste Erkenntnisse zur Schwermetallimigration sowohl im TW- als auch im TWW-Bereich in realen Hausinstallationsanlagen unter Berücksichtigung ausgewählter Einflussparameter liefern.

Die Überwachung der Konzentration an Schwermetallen in Trinkwässern erfolgt nach den Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission /UBA/. Eine Zusammenfassung ausgewählter Daten für kalte Trinkwässer (S1-Probe) aus dem Jahre 2007 zeigt Tabelle 5-1. Während beim Kupfer die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) in weniger als 1 % der Fälle überschritten werden, sind die Überschreitungen für Blei und Nickel deutlich höher.

Parameter	Untersuchungen n	Grenzwert TrinkwV 2001 (mg/L)	Grenzwert- überschrei- tungen n	Grenzwert- überschrei- tungen %
Blei	893	0,025	17	1,90
Kupfer	597	2	2	0,34
Nickel	1124	0,02	94	8,36

Tabelle 5-1Grenzwertüberschreitungen für Schwermetalle in Trinkwässern
(TW –kalt) in der S1-Probe

Im Fokus der Felduntersuchungen stand – ausgehend von der jeweiligen Trinkwasserqualität am Hauseintritt – die Analyse der Veränderung des Gehaltes an Kupfer, Nickel und Blei auf dem Weg bis zur letzten Zapfstelle, differenziert nach dem Verteilungsweg Trinkwasser kalt (TW) bzw. Trinkwasser warm (TWW).

5.2 Ort der Probenahme und Probenahmeverfahren

Für Untersuchungen im Feld kommen als Ort der Probenahme prinzipiell

- der direkte Bereich des Hausanschlusses und der zentralen Trinkwassererwärmung oder
- die Zapfstelle selbst

in Betracht. Beide Orte gleichermaßen für Probenahmen zugängig zu machen, erwies sich als äußerst schwierig. Dies galt insbesondere deshalb, da derzeit völlige Unklarheit darüber besteht, wie im Falle einer Überschreitung im Bezug auf die in TrinkwV 2001 formulierten Grenzwerte zu verfahren ist. Infolge dessen konnten nur bei fachlich involvierten Personen derartige Proben initiiert werden. Generell zugängig war stets nur der Zapfstellenbereich.

Im Rahmen der Detailauswertung einer Vielzahl von Probekörper-Untersuchungen nach DIN 50931-1 zeigte sich, dass der 4-Stunden-Stagnationswert bzgl. der Schwermetallmigration in den meisten Fällen recht gut die mit der "durchschnittlichen wöchentlichen Wasseraufnahme" einhergehende Schwermetallaufnahme durch den Menschen widerspiegelt. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde die Empfehlung /UBA/ vom Umweltbundesamt erarbeitet. Während die dort beschriebene Zufallsstichprobe Z0 sich kaum oder gar nicht für vergleichende Untersuchungen eignet, wurde die S0-, S1- und S2-Beprobungen als grundsätzlich geeignet angesehen, die folgendermaßen 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 mindestens jedoch 2 Stunden Stagnation an der Probenahmestelle.

- S1-Probe: Entnahme des 1. Liters (nach vorstehender Stagnationsphase ohne vorheriges Ablaufen)
- S2-Probe: Entnahme des 2. Liters (ohne weiteren Ablauf unmittelbar nach S₁-Probe).

Da auch /UBA/ nur auf TW abstellt, war bzgl. TWW eine Adaption für die S0-Probe nötig. Die S0-Probe TWW kann nicht immer erst nach Einstellung einer konstanten Temperatur erfolgen. Mindestens ablaufen sollen stets 3 Liter; bei dezentralen Speicherwasser-Erwärmern soll die S0-Beprobung jedoch spätestens nach Verwerfen von 1/2 des Nenninhaltes 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 die Daten zum in Bild 5-1 dargestellten Fragebogen erfasst.

Messort						
Straße		PLZ, Ort				
EFH		ca. Wohnfläche				
MFH		Anzahl Wohnungen gesamt				
		Lage der Wohnung				
Anderes		(z.B. Labor, Büroküche)				
Zapfstelle		(z.B. Küche, Bad, Labor)				
Art des Zapfhahns		Einhebel-Mischer		Fabrikat		
		separat kalt/warm		Fabrikat		
Foto Messort		ja/nein				
Wasserwerk						
Trinkwassererwärmung		Fernwärme		elektrisch		
		Gas	Andere (z.B. I		sel, Solar)	
zentral		Speicher		Volumen in Litern	nen in Litern	
			Ausführung Speic		er (z.B. Edelstahl o. emailliert mit Ku	upferrohrschlange)
		Durchlaufprinzip		Leistung in kW		Fabrikat
Zirkulation		ja/nein				
dezentral		Speicher		Volumen in Litern		Fabrikat
		Durchlaufprinzip		Leistung in kW		Fabrikat
					1	
Werkstoffe Verrohrung		Kupfer		Fabrikat		
(bei Mischinstallationen		Edelstahl		Fabrikat		
auch Mehrfachnennung)		Kunststoff		Fabrikat		
		verzinktes Stahlrohr		Fabrikat		
		Anderes (z.B. Glas)		Fabrikat		

Bild 5-1 Fragebogen zur Trinkwasserinstallation

Je Zapfstelle waren 6 Proben mit je 1 Liter zu entnehmen und entsprechend zu konservieren. Da zwischen S0 und S1 bzw. S2-Probe vorzugsweise 4 Stunden liegen, beträgt der Zeitaufwand allein für die Probenahme vor Ort 1 Tag. Die Probenahme erfolgte überwiegend durch die Mitarbeiter des Institutes für Energietechnik der TU Dresden. Nach einer eigens erstellten Probenahmeanleitung (s. a. Anlage 2) unterstützten auch Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses und des AGFW-Arbeitskreises Wasserchemie sowie interessierte Fachkollegen die Probenahme. Die Analyse der 6 Proben je Standort erfolgte vorzugsweise im IKS Dresden. Die Nachweisgrenze für alle Parameter lag dort bei 2 μ g/l.

5.3 Charakteristik der Probenahmestellen und ausgewählte Ergebnisse

Die Feldmessungen konzentrierten sich im ersten Teil auf Probeorte im Stadtgebiet von Dresden und es wurde angestrebt, möglichst verschiedenartige Systeme der Trinkwassererwärmung in die Untersuchungen zu integrieren. Folgende Systeme konnten beprobt werden:

- Fernwärme, Speicherladesystem zur Trinkwassererwärmung
- Wohnungsweiser Speicher ohne Zirkulation
- Einfamilienhaus (EFH) mit Unterbau-Speicher
- EFH mit Heizkessel und zentralem TWW-Speicher
- TW-Brunnenanlage mit zentraler TWW-Speicher
- EFH mit Oberbauspeicher 5 I
- Mehrfamilienhäuser mit Heizkessel und zentralem TWW-Speicher mit Zirkulation

Nr.	Art TWE	Rohr	Rohr	Rohr	Rohr	Kennzahl Mischin-	Armatur	Zirkulation	Spei- cher	Speicher dezentral	Durch- lauf-
						stallation			zentral	aolonnai	erhitzer
		Cu	Kunststoff	Niro	sonstiaes						
	FW, zentraler WW-Speicher				Jan San San San San San San San San San S						
1	mit Zirk.	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
2	Speicher pro WE ohne Zirk.	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	0	0	1	0
3	FW, zentraler WW-Speicher mit Zirk.	1	0	0	1	2	Einhebelmischer	1	1	0	0
				-	_		Einhebelmischer				
4	Unterbau-Speicher	0	1	0	0	1	langer Auslauf	0	0	1	0
5	EFH zentraler Speicher	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
6	Speicher	1	1	0	0	2	Einhebelmischer	0	0	0	1
7	Oberbauspeicher 5 I	1	0	0	2	3	Speicherarmatur	0	0	1	0
8	MFH zentraler Speicher	0	0	0	1	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
9	Brauchwasser priv. Brunnen 5 I	0	0	0	1	1	Speicherarmatur	0	0	1	0
10	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Finhebelmischer	1	1	0	0
11	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
12	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
13	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
14	FW zentral	1	0	0	0	1	separat kalt/warm	1	1	0	0
15	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelm, ALT	0	0	0	1
16	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelm, NEU	0	0	0	1
17	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
18	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
19	zentraler WWSP	0	0	0	1	1	unbekannt	1	1	0	0
20	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	0	1	0	0
21	zentraler WWSP	1	0	1	0	2	Einhebelmischer	1	1	0	0
22	zentraler WWSP	1	0	1	0	2	separat kalt/warm	1	1	0	0
23	zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Einhebelm.	0	0	0	1
24	Durchlauferhitzer Gas	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	0	0	0	1
25	Gastherme: zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	1
26	zentraler WWSP	1	0	1	1	3	Einhebelmischer	0	0	1	0
27	zentraler WWSP	1	0	0	1	2	Einhebelmischer	1	1	0	0
28	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
29	Durchlauferhitzer Gas	1	0	1	0	2	Einhebelmischer	0	0	0	1
30	zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
31	zentraler WWSP	0	1	0	1	2	Thermostatarmatur	1	1	0	0
32	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
33	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
34	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
35	dezentraler Speicher	0	0	1	0	1	Einhebelmischer	0	0	1	0
36	zentraler WWSP	1	0	1	0	2	Einhebelmischer	1	1	0	0
37	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	0	0	1	1
38	EFH zentraler Speicher "alt" EFH TWE im Durchfluss +	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
39	Kleinmischspeicher	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	1
40	Durchflussprinzip	1	0	1	0	2	Einhebelmischer	1	0	0	0
41	zentraler WWSP	0	1	1	0	2	Einhebelmischer	1	1	0	0
42	zentraler WWSP	0	0	1	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0
43	zentraler WWSP	0	0	1	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0

Tabelle 5-2 Übersicht untersuchte Trinkwasserinstallationen

Bundesweit wurden dann insbesondere Anlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern mit zentralem TWW-Speicher und Zirkulation sowie mit elektrischen Durchlauferhitzern untersucht. Die Beprobung erfolgte nach Möglichkeit an der Armatur im Küchenbereich, da vor allem im Bereich dieser Armaturen und Installationsabschnitte die direkte Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch zu Koch- und Trinkzwecken erfolgt und somit die Schwermetallabgabe einen relevanten Wasserqualitätsparameter darstellt.

Insgesamt stehen für die Auswertung die Ergebnisse der Untersuchung an 43 Trinkwasseranlagen zur Verfügung. Tabelle 5-2 zeigt die wesentlichen Charakteristika der untersuchten Trinkwasserinstallationen. Integriert werden konnten die Regionen Berlin, Dinslaken, Dresden, Dortmund, Erfurt, Essen, Frankfurt, München, Schweinfurt, Unterharz, Weimar und Würzburg.

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 Rohren aus nichtrostendem Stahl ausgeführt.

Mit Ausnahme der Probestellen 40 bis 43 waren die Anlagen mindestens ein Jahr in der Nutzung. Die Anlagen 40 bis 43 wurden in der Installationsphase über Diaphragmalyse desinfiziert. Bei Probe 16 wurde gegenüber der Probe 15 die Armatur erneuert. Zwischen Probe 38 und Probe 39 wurde an der sonst gleichen Installation der zentrale Speicher der TWE-Anlage durch einen Durchfluss-Trinkwassererwärmer mit nachgeschaltetem Mischspeicher ersetzt. Die Probenahme erfolgte 3 Wochen nach der Neuinstallation.

Nur 2 der Anlagen sind private Brunnenanlagen (in den Tabellen jeweils gelb markiert). Für alle anderen wurden entweder die Analysen des Wasserwerkes erfasst bzw. Komplettanalysen am Probenahmetag erstellt. Die Werte sind Tabelle A8-3 im Anlage 8 zu entnehmen. Tabelle 5-3 zeigt die Ergebnisse der vor Ort bestimmten Parameter.

Nr.	Art TWF	t kalt	t warm	рН	LE
		°C	°C	_	mikroS/cm
	FW. zentraler WW-Speicher	Ŭ	Ŭ		
1	mit Zirk.	18,5	49,4	7.9	405
2	Speicher pro WE ohne Zirk.	16,7	74,5	7,9	405
	FW, zentraler WW-Speicher				
3	mit Zirk.	16,1	55,3	7,26	173
4	Unterbau-Speicher	15	59	7,9	405
5	EFH zentraler Speicher	10	44,7	8,21	266
	Brunnenanlage zentraler			_	
6	Speicher	15	44,5	7,1	189
7	Oberbauspeicher 5 I	22,6	49,9	8	273
8	MFH zentraler Speicher	19	45	7	745
	Brauchwasser priv. Brunnen 5 l	10.0	<u> </u>	6.9	444
9		19,6	60	6,8	411
10		15	55	8,02	484
11		15	55	8,02	484
12	zentraler WWSP	15	55	8,02	484
13	zentraler WWSP	13,6	51,8	7,3	671
14	FW zentral	20,6	42,6	7,23	657
15	el. Durchlauferhitzer	11,4	48,6	7,67	622
16	el. Durchlauferhitzer	11,8	46,3	7,65	629
17	zentraler WWSP	10,8	55,7	7,45	511
18	zentraler WWSP	10,9	49,7	7,45	507
19	zentraler WWSP	15	68	7,2	469
20	zentraler WWSP	5,7	48,2	7	300
21	zentraler WWSP	11,1	58,8	6,8	820
22	zentraler WWSP	14,5	60,5	7,5	539
23	zentraler WWSP	14,6	40	8,2	370
24	Durchlauferhitzer Gas	13	35	7,66	213
25	Gastherme; zentraler WWSP	10	45	8,05	429
26	zentraler WWSP	12	55	7,72	446
27	zentraler WWSP	13	44	7,76	405
28	zentraler WWSP	15	38,5	7,72	535
29	Durchlauferhitzer Gas	13	44	7,78	400
30	zentraler WWSP	18	46	7,49	538
31	zentraler WWSP	13	54,4	7,5	350
32	zentraler WWSP	13,8	54,6	7,85	434
33	zentraler WWSP	10,7	54,9	7,82	434
34	zentraler WWSP	13,8	51,2	7,18	755
35	dezentraler Speicher	12,9	63,3	7,52	716
36	zentraler WWSP	10,5	54,7	7,67	785
37	el. Durchlauferhitzer	10,9	48,2	7,45	667
38	EFH zentraler Speicher "alt"	16,3	49,1	7,95	260
	EFH TWE im Durchfluss +	10.1		7.07	000
39		18,1	51,7	7,97	280
40	I vv E Zeninales	14 5	50.0	7 70	350
40		14,0	50,Z	7.10	1220
41		23,0	59,5	7,33	1230
42		19,0	50,1	7,39	1344
43	LEHUALEI WWWOF	20	57,0	1,59	1370

Tabelle 5-3 Übersicht Anlagen der Feldmessungen – Messwerte Vor Ort

Aus den Messwerten der Tabelle 5-3 kann abgeleitet werden:

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 überspannen mit 35 bis 74,5 °C einen sehr weiten Bereich, wobei beide Extremwerte dezentralen Speichern zuzuordnen sind.

Die vor Ort im Kaltwasser gemessenen pH-Werte lagen minimal bei 6,8 und maximal bei 8,2

Die Leitfähigkeiten sind im Bereich zwischen 173 und 1370 $\mu S/cm$ verteilt.

Interessant ist die in Tabelle 5-4 zusammengestellte Häufigkeitsverteilung der einzelnen Temperaturen. Während bei den Kaltwassertemperaturen erwartungsgemäß fast 2/3 der Messwerte im Bereich zwischen 10 und 15 °C liegen, sind 70 % der TWW-Temperaturen im Bereich unter 55 °C bestimmt worden

Temperaturbereich	Anzahl	%				
TW						
≤10	3	7%				
> 10 bis ≤ 15	27	63%				
> 15 bis ≤ 20	10	23%				
> 20 bis ≤ 25	3	7%				
TWW						
≤ 35	1	2%				
> 35 bis ≤ 40	2	5%				
> 40 bis ≤ 45	7	16%				
> 45 bis ≤ 50	9	21%				
> 50 bis ≤ 55	11	26%				
> 55 bis ≤ 60	9	21%				
> 60 bis ≤ 65	2	5%				
> 65 bis ≤ 70	1	2%				
> 70 bis ≤ 75	1	2%				

 Tabelle 5-4 Häufigkeitsverteilung der Temperaturen vor S0-Beprobung

Die pH-Werte liegen mit 42 % am häufigsten im Bereich zwischen 7,5 und 8,0, gefolgt von 35 % im Bereich von 7 bis 7,5. pH-Werte unter 6,5 und über 8,5 sind nicht gemessen worden.

Die überwiegende Anzahl der Proben lagen im Leitfähigkeitsbereich zwischen 200 und 700 μ S/cm, wovon vor allem der Bereich zwischen 400 und 500 mit 30 % dominiert. (Tabelle 5-6)

Tabelle 5-5 Häufigkeitsverteilung der pH-Werte vor S₀-Beprobung

рН			Anzahl	%
von		bis		
	6,5	7,0	4	9%
	7	7,5	15	35%
	7,5	8,0	18	42%
	8	8,5	6	14%
	8,5	9,0	0	0%
	9	9,5	0	0%

Tabelle 5-6 Häufigkeitsverteilung der LF-Werte vor S₀-Beprobung

LF	μS/cm	Anzahl	%
von	bis		
0	100	0	0%
100	200	2	5%
200	301	6	14%
300	401	4	9%
400	500	13	30%
500	600	5	12%
600	700	5	12%
700	800	4	9%
800	900	1	2%
900	1000	0	0%
1000	1100	0	0%
1100	1200	0	0%
1200	1300	1	2%
1300	1400	2	5%
1400	1500	0	0%

5.4 Migration an Kupfer, Nickel und Blei

Im Anlage 9 sind die Analyseergebnisse bezüglich der Migration von Kupfer, Nickel und Blei in das TW bzw. TWW in tabellarischer Form dargestellt. Zur Vereinfachung der Auswertung wurden die unter der Nachweisgrenze liegenden Werte mit 0,1 μ g/l³ belegt. Als einheitliche Nachweisgrenze der IKS-Analytik gelten 2 μ g/l. Für ausgewählte Analysen (Proben Nr. 15-18 und 32-37) liegt die Nachweisgrenze bei 1 μ g/l.

Die nachfolgenden Bilder (Bild 5-2 bis Bild 5-4) zeigen die Übersicht zu den einzelnen Parametern Kupfer, Nickel und Blei für alle Objekte in grafischer Form. Ohne auf die Verschiedenartigkeit der Trinkwasser- und Trinkwarmwasser-Installationen einzugehen, lassen sich aus den Bildern folgende Schlussfolgerungen ableiten:

³ Zur Berechnung der im nachfolgenden Abschnitt definierten Größen war eine Belegung mit "Null" ungeeignet. Eine Belegung mit dem Grenzwert ist nicht gerechtfertigt, da die Nachweisgrenze z. T. bei immerhin 20 % des Grenzwertes liegt.

Kupfer:

Der Grenzwert nach TrinkwV 2001 wird sowohl im TW als auch im TWW eingehalten. Ausnahmen bilden nur eine private Brunnenanlage die unberücksichtigt bleiben kann, sowie zwei 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 liegen tendenziell im TWW über den Migrationswerten für TW. Die S2-Werte weichen nur marginal ab s. a. Anlage 9 Tabelle A9-1).



Bild 5-2 Kupfermigration in μg/l

Nickel:

Der Grenzwert nach TrinkwV wird nur in der S0-Probe sowohl im TW als auch im TWW in den Anlagen, die mindestens 1 Jahr in Betrieb sind eingehalten. Zwei Neuinstallationen überschreiten schon in der S0-Probe TWW den Grenzwert s. a. Anlage 9 Tabelle A9-2).

Der S1-Wert TW belegt durch das häufige grenzwertnahe Untersuchungsergebnis die Richtigkeit der UBA-Empfehlung zum Verwerfen des ersten Liters nach Stagnation. Die der Neuanlagen liegen deutlich darüber. Der S2-Wert TW ist bis auf eine Neuanlage unauffällig.

Insbesondere die S1-Werte für TWW signalisieren jedoch eine zum Teil deutliche Grenzwertüberschreitung. Die S2-Werte TWW erreichen bei Altanlagen häufig noch den Grenzwert bzw. überschreiten ihn bei den Neuanlagen noch deutlich.

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



Bild 5-3 Nickelmigration in µg/I

Blei:

Der Grenzwert nach TrinkwV wird – 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 signalisieren zum Teil eine deutliche Grenzwertüberschreitung. (s. a. Anlage 9 Tabelle A9-3)

Liegen die Migrationsraten über der Nachweisgrenze, so kann konstatiert werden, dass die S0-, S1 und S2-Ergebnisse im TWW deutlich - zum Teil 20fach - über den Migrationswerten für TW liegen.
&



Bild 5-4 Bleimigration in µg/l

Teilweiser Tausch von Installationsteilen:

Erwartungsgemäß wird der Tausch der Armatur (blaue Balken in Bild 5-2 bis Bild 5-4) bzw. die Neuinstallation der Trinkwarmwasserbereitung (TWWB – rosa Balken) durch einen nachweisbaren Anstieg der Migrationswerte innerhalb der hier erfolgten Beprobung <1 Monat nach Installation signalisiert.

5.5 Parameter zur Wertung der Migrationsergebnisse

Trotz der für eine statistische Auswertung vergleichsweise geringen Anzahl der Proben erweist es sich bereits als schwierig, allgemeingültige Aussagen abzuleiten, wenn differenziert nach S₁ und S₂-Probe gewertet wird. Deshalb wird im Folgenden vereinfacht anhand der nach Gleichung 5.1 definierten arithmetische Mittelwert M_{1,2} für Trinkwasser TW bzw. für Trinkwarmwasser TWW diskutiert.

M_{1,2} - Mittelwert der S1 und S2-Probe

$$M_{1,2,TW} = 0.5 \cdot (S1_{TW} + S2_{TW}) bzw. M_{1,2,TWW} = 0.5 \cdot (S1_{TWW} + S2_{TWW})$$
(5.1)

Sowohl die je Probenahmeort stark schwankende Lage der örtlichen Grenze zwischen der S1 und der S2-Beprobung als auch die Fokusierung des Projektes auf den Vergleich TW – TWW rechtfertigen diese Vereinfachung.

Unter Benutzung der Definition für die Mittelwert $M_{1,2}$ für TW bzw. TWW wurden darüber hinaus folgende zwei Größen eingeführt:

Migrationsrate Φ – Verhältnis der Mittelwerte TWW zu TW

$$\Phi = \frac{M_{1,2,TWW}}{M_{1,2,TW}} = \frac{0.5 \cdot (S1_{TWW} + S2_{TWW})}{0.5 \cdot (S1_{TW} + S2_{TW})}$$
(5.2)

Stagnationsmigration SM_{1,2} – Mittelwert der S1 und S2-Probe abzüglich S0-Wert

$$SM_{1,2,TW} = 0.5 \cdot (S1_{TW} + S2_{TW}) - S0_{TW} = M_{1,2,TW} - S0_{TW}$$
(5.3)

bzw.

$$SM_{1,2,TWW} = 0.5 \cdot (S1_{TWW} + S2_{TWW}) - S0_{TWW} = M_{1,2,TWW} - S0_{TWW}$$
(5.4)

Die Migrationsrate Φ gibt direkt Auskunft über den zu berücksichtigenden Temperatureinfluss bei der Stagnation. Dabei gilt:

- $\Phi < 1$ Schwermetallmigration im TWW geringer als im TW
- $\Phi = 1$ keine Einfluß der Temperatur
- $\Phi > 1$ Einfluss der Temperatur

Schwermetallmigration im TWW höher als im TW

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

5.6 Weiterführende Wertung anhand der neuen Parameter

Die im vorhergehenden Abschnitt definierten Größen sollen im Folgenden durchgängig für Nickel diskutiert werden. Die korrespondierenden Grafiken für Kupfer und Blei sind im Anhang 10 zusammengestellt.



Bild 5-5 S0 und M_{1,2}-Werte Nickelmigration

Im Bereich TW zeigt auch die Mittelwertbildung über die ersten zwei Liter nach der 4 h-Stagnation, dass nur in der einen Neuanlage der Grenzwert überschritten wird. Für die TWW-Seite überschreiten hingegen 30 % der Proben den Grenzwert. (Bild 5-5)

Zieht man das Ni-Migrationsverhältnis Φ (Bild 5-6 ff) zur Beurteilung heran, so kann gesagt werden:

- Ist das Verhältnis 1, so konnte in keiner der 6 Proben Nickel nachgewiesen werden.
- Für einige der untersuchten Entnahmestellen liegt das Migrationsverhältnis deutlich über 10. Dies resultiert aus der vereinfachenden Annahme von 0,1 µg/l für Analyseergebnisse, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Liegt dann für eine der 6 Proben je Probenahme Ort der Wert über der Nachweisgrenze, so resultieren aus dieser Annahme diese nicht tatsächlich analytisch belegbaren hohen Migrationsverhältnisse. Auch die Belegung der Werte unter der Nachweisgrenze genau mit der Nachweisgrenze wäre nicht korrekt und könnte zu Fehlinterpretationen durch ggf. deutlich zu niedrig angenommene Migrationsraten führen. Diese Entnahmestellen bleiben deshalb bei den nachfolgenden Betrachtungen unberücksichtigt.
- Wird der Mittelwert f
 ür Φ nur f
 ür die Proben gebildet, deren Migrationsverh
 ältnis zwischen 1 und 10 liegt, so signalisiert der Mittelwert von Φ = 3 doch einen erheblichen Einfluss der Temperatur. Diese Aussage wird überdies durch die Auswertung der Stagnationsmigration in Bild 5-10 unterst
 ützt.
- Ein Einfluss der vor Ort bestimmten Parameter pH-Wert und der Leitfähigkeit ist nicht ablesbar.
- Gleiches gilt f
 ür die den Wasserwerksanalysen entnommenen jahresmittleren Gehalte an Sulfat und Chlorid. F
 ür Probebereiche 41 bis 43 kann jedoch erst eine erneute Probenahme nach einer l
 ängeren Betriebszeit Auskunft geben, ob tats
 ächlich kein nennenswerter Einfluss der doch erheblichen Sulfatgehalte vorliegt.
- Durch die Dominanz der Auslaufarmatur sowie der im Bereich der Zapfstellen installierten metallischen Bauteile (z. B. Warmwasserzähler) kann ein eindeutiger Vorzug für Rohrinstallationen aus Kunststoff bezüglich der Schwermetallmigration nicht belegt werden.







Bild 5-7 Nickelmigrationsverhältnis und Leitfähigkeit

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"







Bild 5-9 Nickelmigrationsverhältnis und Chloridgehaltes

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

Im Bild 5-10 sind Stagnationsmigration $SM_{1,2}$ von TW und TWW sowie die dazugehörigen Calcitlösekapazitäten dargestellt.

- In ausgewählten Einzelproben werden im TWW 60 µg/l Ni also dass 3fache des gültigen Ni-Grenzwertes allein durch die Stagnationsmigration erreicht.
- Selbst wenn man Mittelwerte bildet, bei der nur die Proben herangezogen werden, deren Analyseergebnisse über der Nachweisgrenze des Messverfahrens von 2 μg/l lagen, so ergibt sich für TW ein Mittelwert von 7 μg/l und für TWW von 15 μg/l. Durch die Stagnationsmigration werden mithin bereits im Mittel 35 bzw. 75 % des Grenzwertes ausgeschöpft.
- Obwohl die Calcitlösekapazität im TWW-Bereich eine begünstigte Ausbildung korrosionshemmender Deckschichten erwarten lässt, ist ein Einfluss in Richtung abnehmender Schwermetallmigrationen für TWW nicht festzustellen.

Wie den Darstellungen in Anhang 10 und der Zusammenfassenden Übersicht in Tabelle 5-7 zu entnehmen gilt das vorstehend Gesagte tendenziell auch für die Parameter Kupfer und Blei.



Bild 5-10 Stagnationsmigration Nickel und Calcitlösekapazität

5.7 Zusammenfassung Felduntersuchungen und Empfehlungen

Auf Basis der Auswertung der Messergebnisse und sonstiger Parameter der 43 untersuchten, bundesweit verteilten Installationen kann konstatiert werden:

- Die Schwermetallgehalte Ni, Cu und Pb der S0-Proben lagen für fast alle Installationen sowohl im TW- als auch im TWW-Bereich unter dem Grenzwert.
- Während für die TW-Seite fast ausschließlich im Bereich der S1-Proben Grenzwertüberschreitungen festzustellen waren, trifft dies für die TWW-Seite ebenso auf die S2-Probe zu.
- Zur Auswertung wurden die neuen Parameter Migrationsverhältnisses Φ und Stagnationsmigration SM_{1,2} eingeführt.
- Das Migrationsverhältnisses Φ bewertet das Verhältniss TWW zu TW nach der Stagantionsphase Bewertet man – wie in Abschnitt 5.5 gezeigt – nur die Installationen bei denen alle Werte innerhalb der Nachweisgrenze der Analytik liegen, so ergeben sich die in Tabelle 5-7 dargestellten Migrationsraten, die mit 2 bis 4,7 einen signifikanten Einfluss der Temperatur belegen.
- Liegen die Migrationswerte f
 ür die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Blei
 über der Nachweisgrenze, so sind die Migrationsraten
 Φ in der Trinkwarmwasser-Installation teilweise deutlich
 über denen der kalten Trinkwasserseite analysiert worden. Es ist zu vermuten, dass dies sinngem
 äß auf die unter der Nachweisegrenze liegenden Installationen
 übertragbar ist.

	auswerth	baren Proben	Ψu	la otagnationsmigra		1,2 -	Millerwerte	uci
Tabelle 5-7	Statistik	Migrationsrate	Φu	nd Stagnationsmigra	tion SM	12 -	Mittelwerte	der

	Φ	Grenzwert	SM _{1,2} TW		SM _{1,2} TWW	
				Anteil am		Anteil am
		TrinkwV 2001	TW	Grenzwert	TWW	Grenzwert
	-	μg/l	μg/l	%	μg/l	%
Cu	2,04	2000	358	18	390	20
Ni	3,04	20	7	35	15	75
Pb	4,75	10	2	20	7	70

 Die Stagnationsmigration SM_{1,2} zeigt auf, welcher Betrag des Grenzwertes f
ür das jeweilige Schwermetall allein durch die Stagnation in Anspruch genommen wird. Die Auswertung f
ür die Einzelprobe zeigt deutlich, dass h
äufig allein die Stagnation den Grenzwert der TrinkwV 2001 voll aussch
öpft. Selbst bei entsprechender Mittelwertbil&

dung (siehe Abschnitt 5.5) werden für Nickel und Blei 75 bzw. 70 % des Grenzwertes in Anspruch genommen.

Empfehlungen

Die Anzahl der untersuchten Proben ist als statistische Basis nicht ausreichend, um fundierte Vorschläge zu unterbreiten. Trotzdem sollte Beachtung finden, dass die Auswertungen zum eingeführten Parameter Stagnationsmigration SM_{1,2} für die Einzelprobe darauf hinweist, dass der Grenzwert im Bereich der Hausinstallation oft vollständig ausgeschöpft wird. Es scheint also angeraten, die durch den Grenzwert der jeweils gültigen TrinkwV festgelegten maximal zulässigen Migrationswerte auf Versorger- und Hausinstallationsseite aufzuteilen, wobei zur Verifizierung eines Aufteilungsverhältnisses weitere Untersuchungen erforderlich sind.

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

Wichtig ist, dass der Endverbraucher über eine mögliche Schwermetallbelastung des kalten und erwärmten Trinkwassers ausreichend informiert wird. Für TW gibt die Information des Umweltbundesamtes /UBA-Info/ folgende Empfehlung:

"Das Umweltbundesamt empfiehlt aus all diesen Gründen, Trinkwasser, das mehr als vier Stunden 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 Nickel-haltig sein und bei vorsensibilisierten Personen eine allergische Hautreaktion auslösen."

Die zum Teil doch erheblichen Überschreitungen des Grenzwertes in den S1 und S2-Proben lassen die Erweiterung der Empfehlung für Trinkwarmwasserseite TWW angeraten erscheinen. Eine generelle Empfehlung, TWW nicht für die Zubereitung von Speisen und Getränken zu verwenden, entspricht nicht der TrinkwV und ist daher rechtlich fragwürdig.

Da ein Test über die Temperatur beim TWW nicht praktikabel ist, wäre jedoch zumindest das Weglaufen mehreren Litern TWW zu empfehlen. Eine Entscheidung darüber, wie viel Trinkwarmwasser nach Stagnation wirklich zu verwerfen ist, setzt weitere systematische Untersuchungen voraus und muss dementsprechend der dann anzustellenden Ergebniswertung vorbehalten bleiben.

6 Komplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Schwermetallmigration von Trinkwasserarmaturen

6.1 Allgemeines

Eine weitere Gruppe von Bauteilen der Trinkwasserinstallation, aus denen Schwermetalle in das Trinkwasser eingetragen werden, sind die Auslaufarmaturen. Ihr Wasservolumen ist im Vergleich zur den Volumina der anderen verwendeten Bauteilen relativ gering. Abhängig von dem vom Verbraucher gezapften Wasservolumen können die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) erheblich überschritten werden.

Mit der S1-Probe wird das Trinkwasser aus der Auslaufarmatur und anteilig aus der Rohrleitung erfasst. Da die Volumen der Auslaufarmaturen üblicherweise weniger als 100 ml betragen, ist die Schwermetallbelastung bei kleinen Wasserentnahmen durch den Verbraucher mindestens um eine Zehnerpotenz höher. Um diesem Umstand aus toxikologischer Sicht zu entsprechen, empfiehlt das Umweltbundesamt das Stagnationswasser ablaufen zu lassen /UBA-Info/.

6.2 Gesetzliche Anforderungen, Normen und Regelwerke

Nach § 17 Abs.1 TrinkwV 2001 dürfen nur solche Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser eingesetzt werden, die Stoffe nur in Konzentrationen an das Trinkwasser abgeben, die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik unvermeidbar sind. Die DIN 50930-6 beschreibt als allgemein anerkannte Regel der Technik wasserseitige Anwendungsbereiche für Werkstoffe, die im Wesentlichen als Hauptkomponenten für Rohrleitungen und Apparate in der Trinkwasser-Installation eingesetzt werden. Andere Bauteile dagegen, wie Armaturen, Verbinder, Wasserzähler und Warmwasserbereiter, sind nur zu einem geringeren Anteil in einer Installation vorhanden. Für Armaturenwerkstoffe werden im Sinne einer "Positiv-Liste" zulässige Legierungsbestandteile angegeben.

Nickelüberzüge auf verschiedenen Grundwerkstoffen sind wegen der hohen Nickel-Migrationsraten für trinkwasserberührte Oberflächen nicht geeignet. Technisch unvermeidbar sind Nickeleinträge in das Trinkwasser aus Innenflächen von Armaturen, deren Außenoberflächen elektrolytisch vernickelt werden. Nach DIN 50930-6 wird der Grenzwert der TrinkwV 2001 dann nicht überschritten, wenn der Nickelüberzug nicht mehr als 20 % der gesamten wasserberührten Innenoberfläche der Armatur bedeckt. Für vernickelte kleine Armaturenkomponenten, z. B. metallische Dichtungen, Schrauben und Distanzscheiben, sowie singuläre Lötnähte an Bauteilen sowie Nickelbasisloten in Bauteilen, gelten geringere Anteile. In einer Trinkwasser-Installation dürfen nach DIN 50930-6 nur Bauteile eingesetzt werden, die ein Prüfzeichen einer anerkannten Zertifizierungsstelle haben (z. B. DIN/DVGW- oder DVGW-Zeichen). Für den fachgerechten Einsatz von Werkstoffen sind die entsprechenden Normen und Regelwerke anzuwenden (DIN EN 12502-1 bis DIN EN 12502-5, DIN EN 806-2, DIN EN 1717).

6.3 Veranlassung der Untersuchungen

Ergänzend zu den Komplexen I und II des Vorhabens sollte untersucht werden, welchen Anteil die Auslaufarmaturen an der Schwermetallbelastung des Trinkwassers aus einer Warmwasser-Trinkwasser-Installation haben. Die Untersuchungen sollten Hinweise über die Temperaturabhängigkeit des Migrationsverhaltens der Werkstoffe geben. Da die in DIN 50930-6 genannten Anwendungsbereiche für metallene Werkstoffe auf Untersuchungen und Erfahrungen in kalten Trinkwässern basieren, können die Ergebnisse Hinweise geben, ob und in welcher Weise die Aussagen der Norm hinsichtlich des Werkstoffeinsatzes in erwärmten Trinkwässern zu ergänzen sind.

6.4 Versuchsanlage und Prüfbedingungen

Die Versuchsanlage bestand aus zwei Versuchsständen. Jeder Versuchsstand enthielt acht parallele Prüfstrecken, die von einer Hauptleitung gespeist wurden. Der Volumenstrom jeder Prüfstrecke wurde mit einem Nadelventil auf einen Durchfluss von 1 L/min begrenzt. Vor der Prüfarmatur befand sich ein elektrischer Durchlauferhitzer. Die Fließzustände wurden über ein Magnetventil vor dem Nadelventil eingestellt: 4 h Stagnation, 1 h Betrieb mit 15 min Durchfluss und 45 min Stagnation. Die zu prüfenden Armaturen wurden so eingebaut, dass sie ständig gefüllt waren. Für die Probenahme wurde das Prüfwasser aus der isolierten Armatur durch dünne Leitungen aus nichtrostendem Stahl, die mit einer Klemmvorrichtung metallisch dichtend mit der Armatur verbunden waren, abgeführt. Bild 6-1 zeigt das Schema einer Prüfstrecke.

Als Prüfwässer standen ein Trinkwasser und ein Brunnenwasser zur Verfügung. Die Wässer wurden an den Hauptleitungen entnommen und über Leitungen aus nichtrostendem Stahl (1.4571) zu den Versuchsständen geführt. Alle Rohrleitungen waren in nichtrostendem Stahl (1.4571) mit Pressverbindungen ausgeführt. Jeweils sieben Armaturen wurden parallel von den beiden Prüfwässern durchströmt, Die Armaturen waren handelsübliche Produkte, die im Anlieferungszustand eingebaut wurden: WT = Waschtisch, Einhebelmischer; EHM = Einhebelmischer; STE = Spültisch, Einhebelmischer; STZ = Spültisch, Zweihebelmischer. Die beiden Versuchsstränge wurden jeweils 27 Tage mit kaltem, sowie auf ca. 45 °C und auf ca. 65 °C erwärmtem Wasser betrieben. Für jede Wassertemperatur wurden die Armaturen, die vorher aus einer Lieferung ausgewählt wurden, erneuert. Insgesamt wurden 42 Armaturen mit 2 Wässern und 3 Temperaturen geprüft. Die Probenahme erfolgte entsprechend der UBA-Empfehlung (Z0-, S0-, S1- und S2-Probe) am 27. Versuchstag. Zur Kontrolle wurde am 28. Versuchstag eine S1-Probe entnommen, die jedoch nicht bei der Auswertung berücksichtigt wurde. Die Z0-Probe wurde am 26. Versuchstag entnommen. Alle Wasserproben wurden auf Kupfer Nickel und Blei untersucht. Während der Probenahme war der Durchlauferhitzer in Betrieb.



Bild 6-1 Schema einer Prüfstrecke

In Tabelle 6-1 sind typische Analysewerte der beiden Versuchswässer (Mittelwerte über den Versuchszeitraum) dargestellt. Bei der vorliegenden Installationssituation entsprechen die Schwermetallgehalte des Trink- bzw. Brunnenwassers den S0-Werten des kalten Trinkwassers TW.

Parameter	Einheit	Trinkwasser	Brunnenwasser
Temperatur	°C	10,4	9,9
pH-Wert	-	7,40	7,5

Tabelle 6-1 Analysen des	Trink- und Brunnenwassers
--------------------------	---------------------------

&

Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	506	202
Säurekapazität K _{S4,3}	mmol/L	2,80	1,31
Calcium	mg/L	76	31
Magnesium	mg/L	2,5	2,0
Chlorid	mg/L	33	12
Nitrat	mg/L	11	4
Sulfat	mg/L	52	13
Blei	µg/L	0,5	0,5
Nickel	µg/L	1,0	1,1
Kupfer	µg/L	1,1	1,4

6.5 Ergebnisse

Aufgrund des Versuchsaufbaus war in der S2-Probe keine Schwermetallbelastung zu erwarten, was durch die einzelnen Messwerte bestätigt wurde. Dagegen konnten die Messwerte der Zufallsstichprobe Z0 aufgrund der Betriebsweise der Prüfstrecken nur um den S1-Wert schwanken. Bild 6-2 zeigt am Beispiel des Bleis die Schwankungen, die durch die Art der Probenahme und die Streuung der Analysenwerte hervorgerufen werden. Das Bild verdeutlicht die Güte der nachfolgend diskutierten Ergebnisse.





Bild 6-3 ist zu entnehmen, dass in kaltem Trinkwasser der derzeit gültige Grenzwert für Blei von 25 μ g/L bei keiner Probe überschritten wurde. Der ab 2013 geltende Grenzwert wird bei den Armaturen E (11 μ g/L) und F (13 μ g/L) geringfügig überschritten.

Der Grenzwert für Nickel wird lediglich bei der Armatur G mit 253 µg/L deutlich überschritten, was später diskutiert wird. Beim Kupfer liegen alle Werte deutlich unter dem Grenzwert der TrinkwV.



Bild 6-3 Schwermetallgehalte in kaltem Trinkwasser (S1-Probe)

Es ist theoretisch zu erwarten, dass der Eintrag von Schwermetallen mit steigender Temperatur des Trinkwassers zunimmt. Bild 6-4 zeigt die Ergebnisse für Blei in den mit Trinkwasser betriebenen Versuchsstrecken.



Bild 6-4 Blei-Eintrag in das Trinkwasser in Abhängigkeit von der Temperatur (S1-Probe)

Der derzeit gültige Grenzwert der TrinkwV 2001 wird in kaltem und erwärmtem Trinkwasser nicht überschritten. Dagegen wird der ab 2013 geltende Grenzwert bei 45 °C in 57 % der Fälle, bei 65 °C in allen Fällen überschritten. Erhöhte Bleikonzentrationen können aus dem Armaturengrundwerkstoff, aus schmelztauchverzinkten Rohrleitungen und in Ausnahmefällen aus Blei-Installationen stammen.

Die in der DIN 50930-6 definierten Kupferlegierungen sind bei Verwendung der Armaturen im Warmwasserbereich bezüglich des Blei-Gehaltes zu hoch. Für höhere Wassertemperaturen müssen daher bleiärmere Kupferlegierungen verwendet werden.

Das Brunnenwasser zeigt tendenzielle das gleiche Migrationsverhalten. Ein signifikanter Einfluss der Wasserbeschaffenheit konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse für die Kupfer-Migration zeigen bei allen Wassertemperaturen und den beiden Wässern keine Überschreitungen des Grenzwertes der Trinkw 2001 (Bild 6-5).



Bild 6-5 Kupfer-Eintrag in das Trinkwasser in Abhängigkeit von der Temperatur (S1-Probe)

In Bild 6-6 sind die Migrationswerte der Armaturen für Nickel in Kontakt mit kaltem und erwärmtem Trinkwasser dargestellt.





Im kalten Trinkwasser überschreiten die Nickelkonzentrationen in zwei Fällen (28 %) den Grenzwert der TrinkwV 2001. Mit steigender Temperatur nehmen die Konzentrationen an

Nickel bei allen Armaturen zu. Im Trinkwasser von 45 °C sind die Nickelwerte bei fünf Armaturen oberhalb des Grenzwertes; bei 65 °C sind alle Werte größer als der Grenzwert. Die Nickelwerte der Armatur G weichen in ihrer Höhe deutlich von den anderen Armaturen ab. Diese Daten sollen nachfolgend nicht betrachtet werden.



Bild 6-7 Mikrorissige Chromschicht, 1 μm dick (V = 270:1) Werkbild Dr.-Ing. MAX SCHLOETER, Geislingen

Die Auslaufarmaturen werden vorwiegend aus Messing gefertigt. Der Nickelgehalt des Messings ist jedoch so gering, dass der Nickeleintrag aus dem Grundmetall praktisch vernachlässigbar gering ist. Aus dekorativen Zwecken werden die Auslaufarmaturen verchromt. Galvanisch auf Messing abgeschiedenes Chrom zeigt je nach Stromdichte und Badzusammensetzung Überzüge mit Mikroporen und Mikrorissen, die von Neutralsalzen – insbesondere Chlorid – durchdrungen werden können (Bild 6-7).

Scheidet man das Chrom bewusst mikroporig auf galvanisch erzeugten Nickelschichten ab, so wird die Anodenstromdichte am Nickel erniedrigt und damit die Korrosionsgeschwindigkeit stark herabgesetzt. Die Dicke des Nickelüberzugs liegt zwischen 5 und 20 μ m, während die Glanzchromschicht eine Dicke von 1 bis 5 μ m hat. Beim Vernickeln lässt es sich nicht vermeiden, dass wasserberührte Innenoberflächen zum Teil mit einem Überzug versehen werden.

6.6 Belastung des Trinkwassers mit Schwermetallen am Beispiel Nickel

Die in Bild 6-6 dargestellten Ergebnisse für kalte Trinkwässer werden durch von verschiedenen Instituten 2005/2006 durchgeführte Messungen ergänzt bzw. bestätigt (Tabelle 6-2).

Häufigkeit %	c(max.) mg/L	Anzahl Proben	Quelle
7,9	3,30	341	LGL Bayern
7,3	0,80	783	IWW Mülheim
4,3	-	788	GA Frankfurt
20,1	0,45	53	CUI Wuppertal
12,3	0,75	1026	GA Neuss
17,9	0,63	177	Kantone Schweiz

Tabelle 6-2Grenzwertüberschreitungen für Nickel in Kalten TrinkwässernTW verschiedener Gebiete für die S1-Proben4

Zwar weicht in den einzelnen Gebieten die Häufigkeit der Grenzwertüberschreitung für Nickel erheblich ab, insgesamt jedoch ist der Nickeleintrag in das Trinkwasser als hygienisch bedenklich zu bewerten.

⁴ Die Zahlen basieren auf Angaben der als Quelle zitierten Institutionen. Die Einheit mg/l für den nur einmal auftretenden Maximalwert c(max) ist korrekt.

Nachfolgend soll die Migration von Nickel aus Auslaufarmaturen betrachtet werden.

Die durch Korrosion eines Bauteils in das Trinkwasser gelangte Masse $\Delta M(t)$ (als Massenverlust des Werkstoffs) eines Schwermetalls ergibt sich:

$$\Delta M(t) = v_{Korr} \cdot O \cdot t^{(1-n)} \tag{1}$$

v_{korr} :	Korrosionsgeschwindigkeit (flächenbezogene Massenverlustrate)
0:	Oberfläche
<i>t</i> :	Zeit (z. B. Stagnationszeit)
<i>n</i> :	Exponent der Zeitabhängigkeit

n bestimmt die Form der Massenverlust/Zeit-Kurve und berücksichtigt beispielsweise die Bildung von Deckschichten. Für n = 0.5 ergibt sich das sog. "Quadratwurzel-Gesetz", das z.B. die Verzunderung des Stahls bei hohen Temperaturen beschreibt.

Mit dem Wasservolumen *V* in der Armatur ergibt sich die Konzentration des Schwermetalls (Nickel)

$$c(t) = \frac{\Delta M(t)}{V}$$
(2)

und

$$c(t) = v_{Korr} \cdot t^{(1-n)} \cdot \frac{o}{v}$$
(3)

Für die Versuche zur Ermittlung der Migrationsraten von Nickelschichten wurden von einem Hersteller innen vernickelte Prüfkörper unter den Bedingungen vernickelt, die auch bei den Auslaufarmaturen angewendet werden. Das korrosionschemische Verhalten der Nickelschichten der Prüfkörper dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit dem der realen Schichten in den Auslaufarmaturen entsprechen.

In Stagnationsversuchen (t = 1 ... 4 h) wurde bei innen vernickelten Prüfkörpern (Messingrohre; d_i = 17 mm, L = 90 mm) die Tabelle 6-3 zu entnehmenden Konzentrationen gemessen. Eine statistische Auswertung der Daten mit n = 0,1 ergibt eine mittlere Migrationsrate für kaltes Trinkwasser

$$v_{Korr} = 0,151 \ \frac{mg}{cm^2 \cdot h} \tag{4}$$

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Seite 126 von 142

Stagnati-	Drüfkörpor 1	Prüfkörper	Prüfkörper
onsdauer		2	3
h	Ing/L	mg/L	mg/L
1	0,355	0,358	0,353
2	0,706	0,702	0,708
3	1,054	1,060	1,052
4	1,401	1,392	1,409

 Tabelle 6-3
 Nickel-Stagnationskonzentrationen in galvanisch vernickelten Prüfkörpern

Für die Auslaufarmaturen wurde jeweils die wasserberührte Oberfläche O und das Innenvolumen V errechnet bzw. bestimmt. Die wasserberührten Oberflächen der Armaturen lagen bei 85 ... 240 cm², die Innenvolumen betrugen 32 ... 110 cm³. Daraus ergab sich ein O/V-Verhältnis von 2,5 ... 2,71; der Mittelwert betrug 2,63.

Aus den bei 10 °C gemessenen Konzentrationen und den Daten der fünf betrachteten Armaturen – Oberfläche und Volumen – wurden die in Bild 6-8 dargestellten Flächenanteile der Nickelüberzüge der wasserberührten Oberfläche berechnet.



Bild 6-8 Flächenanteil des fertigungsbedingten Nickelüberzugs an der wasserberührten Oberfläche von Armaturen

Legt man den nach DIN 50930-6 zulässigen Anteil mit fertigungsbedingtem Nickelüberzug von 20 % zugrunde, so werden diese im Trinkwasser 40 %, im Brunnenwasser zu 60 % überschritten.

Der Einfluss der Temperatur auf die Migrationsrate ergibt sich aus den in den Prüfstrecken gemessenen Konzentrationen und ist in Bild 6-9 dargestellt.



Bild 6-9 Migrationsraten in Abhängigkeit von der Temperatur

Die Migrationsrate nimmt mit steigender Temperatur zu. Das Brunnenwasser zeigt bei höheren Temperaturen die Tendenz zur stärkeren Nickellöslichkeit. Während das Trinkwasser bei höheren Temperaturen calcitabscheidend ist, d.h. zur Bildung von korrosionshemmenden Deckschichten neigt, ist im Brunnenwasser eine Calcitabscheidung (- Calcitlösekapazität) nicht oder nur gering ausgeprägt.

Aus den gemessenen Konzentrationen und den entsprechenden Migrationsraten nach Bild 6-9 lassen sich die Anteile des Nickelüberzuges an der wasserberührten Oberfläche berechnen.

Schätzt man aus den Daten der Wässer und den Migrationsraten die Anteile des Nickelüberzugs an der wasserberührten Oberfläche ab, so erhält man das in Bild 6-10 dargestellte Box-Whisker-Diagramm. Die Darstellung enthält u.a. den Median (Kästchenmitte), sowie das 5 %- Perzentil und das 95 %-Perzentil (untere und obere Linie des Kästchens). Die Armaturen C und D liegen erheblich über dem nach DIN 50930-6 zulässigen Wert von 20 % Anteil an der wasserberührten Oberfläche. Die Streuungen für die einzelnen Armaturen zeigen,

dass die Genauigkeit der Abschätzung der Flächenanteile recht genau ist. Wichtig für die Bewertung der Daten ist, dass die Einhaltung des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung nicht das Kriterium ist, sondern die für die Armatur unter den jeweiligen Bedingungen gemessene Konzentration.



Bild 6-10 Abschätzung der Flächenanteile des Nickelüberzugs an der wasserberührten Oberfläche

Unter Berücksichtigung der Einhaltung des TrinkwV-Grenzwertes ergeben sich die im Box-Whisker-Diagramm in Bild 6-11 errechneten zulässigen Anteile des Nickelüberzugs an der gesamten wasserberührten Innenoberfläche der Armatur.

Bild 6-11 zeigt, dass der Anteil des Nickelüberzuges an der wasserberührten Oberfläche bei Wassertemperaturen bis 45 °C kleiner 6 % (Median) bzw. 13 % (95 %-Perzentil) sein sollte. Für 65 °C liegt der Median bei 4 % und das 95 %-Perzentil bei 8 %. Aus den Ergebnissen ist zu folgern, dass aus hygienischer Sicht der fertigungsbedingt unvermeidbare Anteil der Innenvernickelung der Auslaufarmatur zu minimieren ist. Des Weiteren zeigt sich, dass die Anforderung in der DIN 50930-6, die ja nur für kaltes Trinkwasser gilt, für die sichere Einhaltung des Nickelgrenzwerte im kalten Wasser, insbesondere aber im erwärmten Trinkwasser unzureichend ist.

&





6.7 Schlussfolgerungen

Anhand von beispielhaft ausgewählten und untersuchten Auslaufarmaturen ergab sich, dass in kalten Trinkwässern bei Einhaltung der Normen und Regelwerke als anerkannte Regeln der Technik die Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit durch diese Bauteile gering ist. Die Anforderungen der Trinkwasserverordnung können sicher eingehalten werden. In warmen Trinkwässern nimmt die Schwermetallmigration mit steigender Temperatur zu, so dass bei Blei und Nickel Grenzwertüberschreitung auftreten können. Die Anwendungsbereiche der DIN 50930-6 müssen für erwärmte Trinkwässer angepasst werden. Dies wird am Beispiel des Nickels verdeutlicht. Der zulässige unvermeidbare Anteil einer Vernickelung der Innenoberfläche der Auslaufarmatur muss insbesondere bei Einsatz im erwärmten Trinkwasser minimiert werden. Dabei stellt sich die Frage, ob ein Oberflächenanteil insgesamt ein sinnvolles Maß für eine solche Anforderung ist.

Bis zu einer normativen Regelung sollte man aus hygienischen Gründen nach längeren Stagnationszeiten (z. B. während der Nacht) insbesondere bei kleinen Entnahmevolumina das Stagnationswasser vor seiner Verwendung ablaufen lassen.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Mit dem Schlussbericht zum Forschungsvorhaben "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" liegen Ergebnisse systematischer Untersuchungen zur Veränderung des Verhaltens von Bauteilen unter dem Einfluss von Trinkwarmwasser vor.

Es handelt sich um die erste derartige Untersuchung in Deutschland und nach Kenntnis der Verfasser auch in Europa. Primäres Ziel war es, erste vergleichende Erkenntnisse zum Verhalten von Bauteilen der Hausinstallation bzw. der Hausinstallation selbst unter den Bedingungen Trinkwasser kalt (TW) bzw. Trinkwarmwasser (TWW) zu erhalten.

In allen drei Untersuchungskomplexen wurde deshalb besonderes die vergleichende Wertung der Ergebnisse Trinkwarmwasser zur Trinkwasser herausgearbeitet.

Die Anzahl der untersuchten Trinkwasserqualitäten war naturgemäß begrenzt. Bei den Technikumsversuchen in den Komplexen I und III wurde bewusst und in Abstimmung mit den begleitenden Gremien auf die jeweils lokal vorhandene Wasserqualität zurück gegriffen. Da weder für die Feldprobenahme im Trinkwarmwasser TWW noch für die Interpretation der Ergebnisse der Schwermetallmigrationsraten eindeutige Vorschriften und Regelwerke existieren, konnte auch die Feldprobenahme im Komplex II nur an solchen Orten erfolgen, an denen Fachleute der Branche mitwirkten.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse der drei Untersuchungskomplexe kurz dargestellt werden.

Komplex I – Versuchsanlage in Anlehnung an DIN 50931-1

Im Komplex I wurde eine Versuchsanlage, bestehend aus drei parallelen Testrecken:

- 1 Referenzstrecke für Trinkwasser kalt
- 2 Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation
- 3 Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation

konzipiert und technisch umgesetzt.

Basis für die Probenahme sind Stagnations- und Spülzeiten, wie sie bereits bei Untersuchungen in kalten Trinkwässern nach DIN 50931-1 realisiert wurden. Die Messphasen lagen bei T = 1, 2, 3, 6, 12, 18. und 26 Betriebswochen. Die Probenahme erfolgte je Messphase Tnach t = 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h Stagnation. Die Trinkwassererwärmung auf 60 °C erfolgte im Durchflussprinzip. Bei der Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation wird das Wasser wie in der Praxis permanent umgewälzt. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um Resultate "echter" Stagnationswasserproben, da nur zur Probenahme selbst die Zirkulationspumpe ausgeschaltet wurde.

Wie Tabelle 7-1 und 7-2 zeigen, erfüllen mit Ausnahme der untersuchten Warmwasserzähler in vertikaler Einbaulage die M(T)-Werte der 26. Betriebswoche aller anderen Prüflinge die Bedingungen der TrinkwV 2001 im Bezug auf die Einhaltung der Grenzwerte für Kupfer, Nickel und Blei sowohl im Trinkwasser als auch im Trinkwarmwasser mit und ohne Zirkulation. Für Warmwasserzähler sind ggf. weitere Untersuchungen zur Validierung der Ergebnisse erforderlich um eine gesicherte Basis für die Entscheidungsfindung zu den Nickelüberzügen zu erhalten.

Teststrecke	W horizontale	Z Einbaulage	WZ vertikale Einbaulage		
	Cu [µg/]	Ni [µg/]	Cu [µg/]	Ni [µg/]	
kalt	99,1	6,2	72,8	< 2	
warm	138	7,1	306	29,7	
warm. Zirk.	186	7,5	464	31,5	

Tabelle 7-1 Kupfer- und Nickelmigration Warmwasserzähler - 26. Woche

 Tabelle 7-2
 Kupfer- und Nickelmigration Plattenwärmeübertrager - 26.
 Woche

	Kupfermigration [µg/]						
Teststrecke	PWÜ		PWÜ		PWÜ		
I COLORC	nichtroste	nichtrostender Stahl		kupfergelötet		nickelgelötet	
	Cu [µg/]	Ni [µg/]	Cu [µg/]	Ni [µg/]	Cu [µg/]	Ni [µg/]	
kalt	14,8	< 2	582	81,9	17,4	< 2	
warm	17,8	< 2	392	8,2	21,5	< 2	
warm Zirk.	82,7	3,0	405	13,4	74,7	< 2	

Die Grenzwertüberschreitung für Nickel des kupfergelöteten Plattenwärmeübertragers in der Referenzstrecke Trinkwasser kalt ist zwar für die menschliche Gesundheit nicht relevant, da derartige Bauteile nur im Bereich Trinkwarmwasser zum Einsatz kommen. Umso mehr gab gerade dieses Ergebnis Anlass zur gezielten Ursachensuche.

Deshalb wurde der Testumfang der Prüfanforderung gemäß DIN 50931-1 bzw. DIN EN 15664-1 gezielt um folgende Untersuchungen erweitert

- Als einfacher Grundtest f
 ür die Vergleichbarkeit der zu pr
 üfenden Bauteile werden vor Start der 26 Wochen Betriebsdauer f
 ür drei Tage alle Teststrecken parallel ohne Beheizung nach dem Zapfprofil nach DIN 50931-1 betrieben. Eine 4 h-Stagnationsbeprobung wird am 1. und am 3. Tag ohne Beheizung vorgenommen.
- Danach wird, bis zur regulären Messphase T = 1 Woche, je Teststrecke täglich eine 4 h-Stagnationsbeprobung durchgeführt.



Bild 7-1 Nickelmigration nickelgelöteter PWÜ

Es konnte gezeigt werden, dass innerhalb der ersten Betriebswoche, ein deutlicher Unterschied zwischen den Kaltwasser- und Warmwasseruntersuchungen nachzuweisen ist. (Bild 7-1; Bild 7-2)

Es ist daher empfehlenswert bei Migrationsuntersuchungen im Warmwasser innerhalb der ersten Woche täglich eine 4h-Stagnationsbeprobung durchzuführen und in die Beurteilung zum Bauteileinsatz in der Trinkwassererwärmung einfließen zu lassen.

Im Vergleich der Untersuchungsergebnisse der 4h- und 8h und 16h-Stagnationsbeprobung innerhalb der einzelnen Messphasen mit den Wochenmittelwerten M(T) lässt sich kein deutlicher Unterschied erkennen, d.h. eine 4h- und 8h-Stagnationsbeprobung ist als ausreichend zu bewerten.

Es wird empfohlen, die einschlägigen Prüfvorschriften um die tägliche Beprobung der ersten Untersuchungswoche zu erweitern und im Gegenzug den laufenden Untersuchungsumfang in den Messphasen T =1 bis 26 Wochen auf die Beprobung der 4 und 8h-Stagnationswerte zu reduzieren.



Bild 7-2 Kupfermigration nickelgelöteter PWÜ

Komplex II – Felduntersuchungen

In Erweiterung der UBA-Empfehlung /UBA/ wurde ein Konzept für die vergleichende Entnahme der S0-, S1- und S2-Proben im Trinkwasser und Trinkwarmwasser erarbeitet, die folgendermaßen definiert sind:

• S0-Probe: Ablauf von Trinkwasser kalt bis zum Erreichen einer konstanten Temperatur; Erfassen der Temperatur und Entnahme von 1 Liter Probe.

Vorzugsweise 4 mindestens jedoch 2 Stunden Stagnation an der Probenahmestelle.

- S1-Probe: Entnahme des 1. Liters (nach vorstehender Stagnationsphase ohne vorheriges Ablaufen)
- S2-Probe: Entnahme des 2. Liters (ohne weiteren Ablauf unmittelbar nach S₁-Probe).

Die Auswertung der Messergebnisse und sonstiger Parameter der 43 untersuchten, bundesweit verteilten Installationen führte zu folgenden Ergebnisse:

• Die Schwermetallgehalte Ni, Cu und Pb der S0-Proben lagen für fast alle Installationen deutlich unter dem Grenzwert.

- Während für die TW-Seite fast ausschließlich im Bereich der S1-Proben Grenzwertüberschreitungen festzustellen waren, trifft dies für die TWW-Seite ebenso auf die S2-Probe zu.
- Liegen die Migrationswerte f
 ür die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Blei
 über der Nachweisgrenze, so sind die Migrationsraten in der Trinkwarmwasser-Installation teilweise deutlich
 über denen der kalten Trinkwasserseite analysiert worden. Es ist zu vermuten, dass dies sinngem
 äß auf die unter der Nachweisegrenze liegenden Installationen
 übertragbar ist.
 - **Tabelle 7-3**Statistik Migrationsrate Φ und Stagnationsmigration SM 1,2 Mittelwer-
te der auswertbaren Proben

	Φ	Grenzwert	SM _{1,2} TW		SM _{1,2} TWW		
				Anteil am		Anteil am	
		TrinkwV 2001	TW	Grenzwert	TWW	Grenzwert	
	-	μg/l	μg/l	%	μg/l	%	
Cu	2,04	2000	358	18	390	20	
Ni	3,04	20	7	35	15	75	
Pb	4,75	10	2	20	7	70	

- Zahlenmäßig fassen lässt sich dieser Sachverhalt über die Bestimmung des neu eingeführten Migrationsverhältnisses C erfassen. Die Migrationsrate Φ gibt direkt Auskunft über den zu berücksichtigenden Temperatureinfluss bei der Stagnation. Dabei gilt:
 - Φ < 1 Schwermetallmigration im TWW geringer als im TW
 - Φ = 1 keine Einfluss der Temperatur
 - Φ > 1 Einfluss der Temperatur;

Schwermetallmigration im TWW höher als im TW

- Bewertet man nur die Installationen bei denen alle Werte innerhalb der Nachweisgrenze der Analytik liegen, so ergeben sich Migrationsraten, von Φ = 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 Hausinstallation den Grenzwert der TrinkwV 2001 voll ausschöpft. (Tabelle 7-3)

Die Anzahl der untersuchten Proben ist als statistische Basis nicht ausreichend, um fundierte Vorschläge zu unterbreiten. Trotzdem sollte Beachtung finden, dass die Auswertungen zum eingeführten Parameter Stagnationsmigration SM_{1,2} für die Einzelprobe darauf hinweist, dass der Grenzwert im Bereich der Hausinstallation oft vollständig ausgeschöpft wird. Dies konnte

insbesondere durch die Untersuchungen ausgewählter Armaturen im Komplex III bestätigt werden. Es scheint also angeraten, die durch den Grenzwert der jeweils gültigen TrinkwV festgelegten maximal zulässigen Migrationsraten auf Versorger- und Hausinstallationsseite aufzuteilen, wobei zur Verifizierung eines Aufteilungsverhältnisses weitere Untersuchungen erforderlich sind.

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

Entschieden werden muss überdies über eine adäquate Information der Endverbraucher. Für die Trinkwasserseite TW gibt die Information des Umweltbundesamtes /UBA-Info/ folgende Empfehlung:

"Das Umweltbundesamt empfiehlt aus all diesen Gründen, Trinkwasser, das mehr als vier Stunden 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 Nickel-haltig sein und bei vorsensibilisierten Personen eine allergische Hautreaktion auslösen."

Die zum Teil doch erheblichen Überschreitungen des Grenzwertes in den S1 und S2-Proben lassen die Erweiterung der Empfehlung für Trinkwarmwasserseite TWW angeraten erscheinen. Dabei wäre zu entscheiden, ob generell empfohlen wird, TWW nicht für die Zubereitung von Speisen und Getränken zu verwenden.

Da ein Test über die Temperatur beim TWW nicht praktikabel ist, wäre jedoch zumindest das Weglaufen mehreren Litern TWW zu empfehlen. Eine Entscheidung darüber, wie viel Trinkwarmwasser nach Stagnation wirklich zu verwerfen ist, setzt weitere systematische Untersuchungen voraus und muss dementsprechend der dann anzustellenden Ergebniswertung vorbehalten bleiben.

Komplex III - Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Schwermetallmigration von Trinkwasserarmaturen

Die Untersuchung von beispielhaft ausgewählten Auslaufarmaturen nach einem speziell entwickelten Testverfahren ergab, dass in kalten Trinkwässern bei Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik die Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit durch Auslaufarmaturen gering ist. Dagegen nimmt in erwärmten Trinkwässern mit steigender Temperatur die Schwermetallmigration zu (siehe beispielhaft **Fehler! Verweisquelle konnte icht gefunden werden.**).





Bei Nickel und Blei werden die Grenzwerte der TrinkwV teilweise erheblich überschritten. Daher muss der Anwendungsbereich der DIN 50930-6 um erwärmte Trinkwässer erweitert werden.

Der zulässige unvermeidbare Anteil einer Vernickelung der Innenoberfläche der Auslaufarmatur muss insbesondere bei Einsatz im erwärmten Trinkwasser minimiert werden. Dabei stellt sich die Frage, ob ein Oberflächenanteil insgesamt ein sinnvolles Maß für eine solche Anforderung ist. Bei der derzeit gültigen Anforderung sollte zur Einhaltung der Grenzwerte der TrinkwV der tolerierbare vernickelte Oberflächenanteil im kalten Wasser 15 %, in erwärmtem Trinkwasser von 45 °C 5 % und von 65 °C 3 % nicht übersteigen. Aus hygienischen Gründen ist zu empfehlen, bei kleinen Entnahmevolumina das Stagnationswasser der Armatur (ca. 100 ml) vor seiner Verwendung ablaufen zu lassen.

Empfehlungen

Die vorliegenden Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigen, dass eine hygienische Beeinflussung des Trink- bzw. Trinkwarmwassers durch Schwermetallmigration stattfindet. Partiell werden die Grenzwerte der TrinkwV nicht eingehalten. Deshalb sollten die Ergebnisse in die Überarbeitung der geltenden Normen und Prüfvorschriften einfließen.

8 Formelzeichen, Indizes, Abkürzungen⁵

Formelzeichen

C _{max} (t)	Maximalwert je Messphase T
d	Durchmesser
М	Mittelwert Migration
M(T)	Mittelwert je Messphase <i>T</i>
0	Oberfläche
V	Volumen
Z0, S0, S1, S2	Probenahme nach /UBA/ bzw. der jeweils zugeordneten Analyseergebnisse

Indizes

1,2	Mittelwert S1 und S2 Probe
1	Innen
TW	Trinkwasser
TWW	Trinkwarmwasser

Abkürzungen

AAS	Atomabsorptionsspektrometer
IKS	Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH
КW	Steht in den graphischen Auswertungen für Teststrecke Kaltwasser
PWÜ	Plattenwärmeübertrager (gelötet bzw. gebondet)
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TUD	Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft des Instituts für Energietech-

⁵ Anmerkung: Hier werden nur die Größen erfasst, die nicht bereits an der betreffenden Stelle im Text eindeutig definiert wurden.

	nik der Technischen Universität Dresden
TW	Trinkwasser
TWW	Trinkwarmwasser
WW	Steht in den graphischen Auswertungen für Teststrecke Warmwasser
WWZ	Warmwasserzähler
WWZ	Steht in den graphischen Auswertungen für Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation
WZ	Steht in den graphischen Auswertungen für Warmwasserzähler.

&

9 Schrifttum

Veröffentlichungen zum Forschungsprojekt

/IKS09-1/	van Loyen, D.; Schubert, I.: Schwermetallmigration aus Bauteilen der Warmwasser- Installation
	Korrosionsschutzseminar des Institutes f. Korrosionsschutz GmbH - Aktuelle Aspekte bei Hygiene und Korrosionsschutz in der Trinkwasser-Hausinstallation – 21.04.2009
/IKS09-2/	van Loyen, D.; Schubert, I.: Schwermetallmigration und Korrosion von Werkstoffen für die Warmwasser-Installation
	Korrosionsschutzseminar des Institutes f. Korrosionsschutz GmbH - Aktuelle Aspekte bei Hygiene und Korrosionsschutz in der Trinkwasser-Hausinstallation – 21.04.2009
/Nissing09-1/	Nissing, W.; Rühling, K.: Wirkungen und Hygieneanforderungen auf Energieeinsparung und Energieeffizienz. Wasserfachliche Aussprachetagung 2009, 31.03 01.04.2009, Berlin
/Rüh09/	Rühling, K.: Felduntersuchungen zur Schwermetallmigration und ein kurzer Exkurs zu Wirkungen von Hygieneanforderungen auf Energieeinsparung und Energieeffizienz. Korrosionsschutzseminar des Institutes f. Korrosionsschutz GmbH - Aktuelle Aspekte der Hygiene und Korrosionsschutz in der Trinkwasserinstallation – 21.04.2009

Literatur

/ASUE 01/	ASUE: Mikro-KWK Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen, Dezember 2001			
/Erning/	Erning, J. W.: Einlaufverhalten von Plattenwärmeübertragern im Labor. Vortrag anläss-			
	lich des Mitwirkendenkreises zum AiF-Forschungsvorhaben 13019 B, 23.10.2001 Han-			
	nover			
/IMSA09/	Rothmann, R; Gassel, A.; Pfeifer, Th.: IMSA - Internetbasierte Messdaten-Sichtung und			
	Auswertung. Version 2; TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Energie-			
	systemtechnik und Wärmewirtschaft, 2009			
/Nissing04/	Nissing, W.: Trinkwasser in Kontakt mit metallischen Werkstoffen. ewp-			
	energie/Wasserpraxis 06/2004, S. 22-27			
/PWÜ04/	Allgaier, A.; Erning, J. W.; Köhler, S.; Pareidt, H.; Rühling, K.: Untersuchungen an gelö-			
	teten Plattenwärmeübertragern (PWÜ). EuroHeat&Power 33 (2004) 3, S. 84 ff			
/Rab03/	Rabinkin, A.: Improving resistance of brazed stainless steel heat exchangers to Ni-			
	leaching. Honeywell Int., Metglas Solutions, hand out anlässlich des			
	Mitwirkendenkreises zum AiF-Forschungsvorhaben 13019 B, 03. Juni 2003 Berlin			
/SH03-1/	van Loyen, D.; Meyer, J.; Schulz, WD.; Nissing, W.: Neutralsalze und Kupferlöslichkeit			
	(Teil 1). Sanitär- und Heizungstechnik 68 (2003) 2, S. 50-54			
/SH03-2/	van Loyen, D.; Meyer, J.; Schulz, WD.; Nissing, W.: Neutralsalze und Kupferlöslichkeit			
	(Teil 2). Sanitär- und Heizungstechnik 68 (2003) 3, S. 156-158			
/SH04/	van Loyen, D.; Nissing, W.; Ritter,T.; Erdmann, L.: Untersuchungen zur Kupferlöslichkeit			
	(Teil1). Sanitär- und Heizungstechnik 69 (2004) 11, S.46-49			

/UBA/	Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission		
	Bundesministeriums für Gesundheit und Soziale Sicherung vom 27.11.2003 "Beurtei-		
	lung der Trinkwasserqualität hinsichtlich der Parameter Blei, Kupfer und Nickel" (UBA-		
	Empfehlung)		
/UBA-Info/	TRINK WAS - TRINKWASSER AUS DEM HAHNGESUNDHEITLICHE ASPEKTE DER		
	TRINKWASSER-INSTALLATION INFORMATIONEN UND TIPPS FÜR MIETER,		
	HAUS- UND WOHNUNGSBESITZER.		
	Link: http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3058.pdf; 19.10.2009, 16:55 Uhr;		

Verordnungen und technische Regeln

DIN 50930-6	DIN 50930-6; Korrosion der Metalle – Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von	
	Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer - Teil	
	6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit	
DIN 50931-1	Korrosion der Metalle; Korrosionsversuche mit Trinkwässern. Teil 1: Prüfung der Verän-	
	derung der Trinkwasserbeschaffenheit; DIN 50931-1:1999-11	
DIN EN 15664-1	Einfluss metallischer Werkstoffe auf Wasser für den menschlichen Gebrauch - Dynami-	
	scher Prüfstandversuch für die Beurteilung der Abgabe von Metallen - Teil 1: Auslegung	
	und Betrieb; Deutsche Fassung EN 15664-1:2008	
TrinkwV 2001	Verordnung über die Qualität von Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch (Trink-	
	wasserverordnung – TrinkwV 2001) vom 21. Mai 2001, BGBI. I (2001), 959 – 980	
VDI 4655 08	VDI-Richtlinie 4655: Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Ein-	
	satz von KWK-Anlagen, Mai 2008	

&

10 Anlagen

Nr.	Bezeichnung	Seitenzahl
1	Plattenwärmeübertrager	33
2	Warmwasserzähler	11
3	Graugussbauteile	11
4	Allgemeines	8
5	Korrosionsuntersuchungen an Bauteilen	31
6	Versuchsanlage zur Bestimmung der Schwermetallmigration aus Bauteilen der	16
	Trinkwassererwärmung	
	Funktionsbeschreibung, Handhabung Probenahme, Messwerterfassung	
7	Feldmessungen zur Schwermetallmigration	8
	Anleitung zur Probeentnahme	
8	Objekte der Felduntersuchungen	3
9	Ergebnisse der Migrationsuntersuchungen	3
10	Feldmessungen - Ausgewählte Grafiken zum Vergleich unterschiedlicher Bewer-	19
	tungsgrößen für die Migration von Kupfer, Nickel und Blei mit ausgewählten ande-	
	ren Wasserparametern	

Anlage 1 Plattenwärmeübertrager

Anlage 1.1 Plattenwärmeübertrager nichtrostender Stahl (1.VS)

Anlage 1.2 kupfergelötete Plattenwärmeübertrager (2.VS)

Anlage 1.3 nickelgelötete Plattenwärmeübertrage (3.VS)
Anlage 1.1 Plattenwärmeübertrager nichtrostender Stahl

Tabelle 1 Nickelmigration f f ichtrostender Stahl (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]										
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	3,1	4,3	8,2	10,8	3,3		
1	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	2,4	2,9	4,1	5,2	1,8		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	3,5	4,5	7,0	12,6	3,5		
2	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	3,3	3,7	5,3	0)		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	2,0	3,1	4,9	8,2	13,0	3,9		
3	Ni	PWÜ WWZ	0	2,0	0	0	0	0	3,2	5,7	0		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	0	2,5	4,6	8,8	2,0		
6	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	3,5	3,7	0		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	3,9	5,9	0		
12	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	2,7	0		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	2,0	3,1	6,0	4,8	2,0		
18	Ni	PWÜ WWZ	0	0	2,7	3,7	2,4	2,1	5,0	3,2	2,4		
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	2,1	3,4	0		
26	Ni	PWÜ WWZ	0	0	2,5	2,2	3,8	3,3	4,0	4,5	2,5		

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]									
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	
	Cu	PWÜ KW	4,2	4,9	3,5	3,4	3,9	4,1	6,6	7,4	4,8	
	Cu	PWÜ WW	5,6	5,1	5,1	5,2	5,5	6,6	8,3	7,3	6,1	
1	Cu	PWÜ WWZ	27,0	32,0	42,9	45,2	57,1	77,8	101	104	60,9	
	Cu	PWÜ KW	6,2	6,2	6,8	9,6	11,3	10,6	7,1	7,9	8,2	
	Cu	PWÜ WW	8,3	8,7	8,7	9,6	11,3	14,0	14,3	13,2	11,0	
2	Cu	PWÜ WWZ	40,8	41,5	50,1	54,4	53,3	59,6	77,3	84,8	57,7	
	Cu	PWÜ KW	7,1	6,3	6,3	8,0	7,2	6,3	9,5	8,0	7,3	
	Cu	PWÜ WW	8,0	7,6	9,0	9,0	9,2	10,5	11,4	12,3	9,6	
3	Cu	PWÜ WWZ	38,3	29,6	40,8	34,6	48,9	56,9	79,9	88,7	52,2	
	Cu	PWÜ KW	4,6	2,7	3,1	3,2	4,1	2,9	2,1	2,3	3,1	
	Cu	PWÜ WW	4,0	4,1	5,0	5,9	7,5	8,7	10,7	12,8	7,3	
6	Cu	PWÜ WWZ	40,1	39,9	45,4	40,2	52,1	61,8	66,4	98,3	55,5	
	Cu	PWÜ KW	6,0	4,9	5,3	8,1	9,1	8,7	11,0	14,1	8,4	
	Cu	PWÜ WW	8,9	7,9	11,5	10,0	8,9	12,1	14,2	15,2	11,1	
12	Cu	PWÜ WWZ	34,0	39,0	40,0	42,4	37,3	43,1	59,2	67,8	45,4	
	Cu	PWÜ KW	14,0	11,0	12,4	9,1	15,5	10,9	20,2	13,0	13,3	
	Cu	PWÜ WW	21,1	15,3	17,1	18,6	20,5	21,1	34,1	83,3	28,9	
18	Cu	PWÜ WWZ	48,4	42,9	51,6	71,1	51,4	60,7	173,3	191,0	86,3	
	Cu	PWÜ KW	7,8	9,9	9,8	11,8	12,1	13,0	13,2	16,3	11,7	
	Cu	PWÜ WW	6,5	8,9	10,4	11,5	14,4	18,6	22,0	24,9	14,7	
26	Cu	PWÜ WWZ	40,0	41,8	55,0	48,5	55,8	72,1	92,0	155	70,0	

Tabelle 2 Kupfermigration für PWÜ nichtrostender Stahl (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]										
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	4,5	4,8	12,4	2,7		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	Pb	PWÜ WWZ	0	0	2,7	2,1	2,4	2,9	4,6	4,0	2,3		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	2,9	2,8	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0		
12	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	2,2	2,2	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
26	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabelle 3 Bleimigration für PWÜ nichtrostender Stahl (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor











Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 1 – S. 5















Anlage 1.2 kupfergelötete Plattenwärmeübertrager

Betriebsdauer					Kon	zentration	µg/l] nach S	Stagnation	[h]		
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Ni	PWÜ KW	23,1	22,5	45,8	46,8	87,5	203	307	564	162
	Ni	PWÜ WW	11,9	10,4	36,1	36,4	46,7	94,4	109	264	76,1
1	Ni	PWÜ WWZ	8,1	10	18,1	16,4	28,7	55	69,4	158	45,5
	Ni	PWÜ KW	148	139	273	301	597	1080	1210	1300	631
	Ni	PWÜ WW	13,5	13,1	18,8	20	26,1	41,3	61,1	203	49,6
2	Ni	PWÜ WWZ	12,7	12,2	13,1	15,3	27,4	68,8	107	160	52,1
	Ni	PWÜ KW	149	144	256	292	474	704	854	876	469
	Ni	PWÜ WW	8,2	6,7	8,1	9,6	15	24,8	62,6	93,8	28,6
3	Ni	PWÜ WWZ	2,7	4	5,8	6,5	20,9	33,3	89,2	118	35,1
	Ni	PWÜ KW	96	97,7	158	188	219	340	524	560	273
	Ni	PWÜ WW	3,4	3,7	4,9	5,1	4,4	6,9	14,1	36,2	9,8
6	Ni	PWÜ WWZ	0	0	2,3	2,7	2,6	6,6	14,3	38	8,3
	Ni	PWÜ KW	104	98,1	149	141	208	353	502	541	262
	Ni	PWÜ WW	7,3	8,8	15,7	13,6	17	25,7	36,3	81,4	25,7
12	Ni	PWÜ WWZ	0	0	6,9	8,5	16,2	17,9	20,4	31,9	12,7
	Ni	PWÜ KW	25,4	27,3	56,8	56,1	71,3	123	242	498	137
	Ni	PWÜ WW	5,2	3,9	4,6	4,6	6,4	8,9	10	23,2	8,4
18	Ni	PWÜ WWZ	4,3	4,3	7,5	9,5	13	20,5	61	97,1	27,2
	Ni	PWÜ KW	22,2	21,6	30,9	31,5	43	57,7	102	173	60,2
	Ni	PWÜ WW	2,7	2,6	2,9	4,6	4	5,5	8,5	20,7	6,4
26	Ni	PWÜ WWZ	3	2,3	3,2	4,6	4,2	8,1	14,2	42,1	10,2

 Tabelle 4
 Nickelmigration kupfergelötete PWÜ (2.VS) – Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration $[\mu g/l]$ nach Stagnation $[h]$ 0.50.51124816M(T)										
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)		
	Cu	PWÜ KW	284	274	539	608	679	739	807	787	590		
	Cu	PWÜ WW	301	295	354	387	418	513	521	553	418		
1	Cu	PWÜ WWZ	269	273	310	369	392	464	476	567	390		
	Cu	PWÜ KW	1240	1250	1440	1510	1890	2370	1350	883	1490		
	Cu	PWÜ WW	280	297	347	335	358	490	521	500	391		
2	Cu	PWÜ WWZ	268	279	302	323	358	485	535	526	385		
	Cu	PWÜ KW	869	1030	1460	1300	2000	2270	1610	1150	1460		
	Cu	PWÜ WW	302	279	313	310	353	381	454	448	355		
3	Cu	PWÜ WWZ	200	250	299	299	342	378	490	463	340		
	Cu	PWÜ KW	15	678	647	794	781	913	929	1170	887		
	Cu	PWÜ WW	377	360	437	467	526	566	950	849	566		
6	Cu	PWÜ WWZ	300	302	440	406	433	523	k.A.	618	432		
	Cu	PWÜ KW	578	797	674	949	884	899	949	1100	853		
	Cu	PWÜ WW	288	253	338	302	351	385	435	577	366		
12	Cu	PWÜ WWZ	295	284	334	309	387	354	438	615	377		
	Cu	PWÜ KW	379	373	449	494	537	630	747	775	548		
	Cu	PWÜ WW	293	311	321	368	383	402	545	492	389		
18	Cu	PWÜ WWZ	331	311	341	351	379	396	543	502	394		
	Cu	PWÜ KW	322	314	382	377	444	489	529	571	429		
	Cu	PWÜ WW	245	239	262	268	291	318	448	387	307		
26	Cu	PWÜ WWZ	224	240	258	278	290	309	366	512	310		

 Tabelle 5
 Kupfermigration kupfergelötete PWÜ (2.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]										
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
26	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabelle 6 Bleimigration kupfergelötete PWÜ (2.VS)-Rohdaten ohne Faktor



Abb. 11









Tabelle 7

Betriebsdauer [Tagen]	Cu	Ni	Pb
1	664	616	< 2
2	610	538	< 2
3	560	247	< 2
4	551	54,2	< 2
5	544	47,2	< 2
6	520	45,4	< 2
7	455	20,6	< 2





















Anlage 1.3 nickelgelötete Plattenwärmeübertrager

Betriebsdauer					Kon	zentration	[µg/l] nach \$	Stagnation	[h]		
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	11	11,1	14,3	13,1	17,8	12,7	15,3	27,8	15,4
1	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	2,1	2,7	3,6	14,6	28,4	6,4
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	10	0
	Ni	PWÜ WW	2,5	2,8	3,0	3,0	3,9	5,1	9,7	19,1	6,1
2	Ni	PWÜ WWZ	2,7	2,7	3,5	3,4	2,9	3,5	8,4	14,7	5,2
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	3,4	3,4	11,4	17	4,4
3	Ni	PWÜ WWZ	0	0	2,1	2,7	3,7	2,3	9,9	11,7	4,1
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	3	3,3	4,5	10,4	17,5	4,8
6	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	10,3	6,1	5,6	5,4	6,5	6,9	18,1	21,7	10,1
12	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	7,3	4,3	11,4	25,3	15,7	8,0
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	2,7	4,1	3,0	4,1	5,4	7,8	16,2	28,8	9,0
18	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	3,5	4,0	6,5	0
	Ni	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ni	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	5,8	6,7	0
26	Ni	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

 Tabelle 8
 Nickelmigration nickelgelötete PWÜ (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer					Ko	onzentratior	i [µg/l] nach	Stagnation	ո [h]		
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Cu	PWÜ KW	5,6	2,2	2,4	2,5	4,1	4,2	5,3	5,4	4,0
	Cu	PWÜ WW	9,3	8,8	18,1	14,7	14,2	11,2	13,3	17,1	13,3
1	Cu	PWÜ WWZ	39,4	39,6	60,2	59,1	105	40,6	k.A	k.A	57,3
	Cu	PWÜ KW	0	0	5,1	4,9	4,9	4,4	11,1	4,7	4,4
	Cu	PWÜ WW	11,1	9,9	11,5	11,6	12,5	8,7	15,6	4,9	10,7
2	Cu	PWÜ WWZ	42,4	35,8	106	72,6	35,5	38,2	523	110	120
	Cu	PWÜ KW	19,9	16,8	25	31,1	33,6	39	51,7	45,6	32,8
	Cu	PWÜ WW	61,5	57,9	64,6	67,9	71,8	64,7	76,8	70,7	67,0
3	Cu	PWÜ WWZ	18	25,9	37,2	109	130	139	287	71,7	102
	Cu	PWÜ KW	3,1	3	2,9	4,1	2,4	3,4	4,4	8,1	3,9
	Cu	PWÜ WW	2,9	0	2,1	3,7	4	4	4,9	3,7	3,2
6	Cu	PWÜ WWZ	18,3	27,9	65,2	50,4	80,5	68,7	75,5	184	71,3
	Cu	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cu	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Cu	PWÜ WWZ	0	0	0	0	218	132	311	502	145
	Cu	PWÜ KW	9,2	9,3	9,4	9,3	11,1	13,3	13,0	10,3	10,6
	Cu	PWÜ WW	15,4	14,4	14,6	14,5	15,8	18,4	55,9	27,8	22,1
18	Cu	PWÜ WWZ	79,1	39,4	34,2	47,5	35,2	46,0	57,7	44,4	49,9
	Cu	PWÜ KW	7,8	7,9	7,9	7,7	9,1	14,8	14,1	19,4	11,1
	Cu	PWÜ WW	11,9	10,1	15,8	13,9	12,1	18,2	19,1	11,4	14,1
26	Cu	PWÜ WWZ	45,1	39,2	44,1	40,1	46,5	49,8	56,1	47,1	46,0

 Tabelle 9
 Kupfermigration nickelgelötete PWÜ (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer					Kor	nzentration	[µg/l] nach	Stagnation	[h]		
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	k.A	16,0	0
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	18	7,6	28,3	42,8	12,8
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pb	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Pb	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 10 Bleimigration nickelgelötete PWÜ (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]										
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	M(T)*Faktor	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	Fe	PWÜ WWZ	0	0	0,2	0,5	0,2	0,2	16,6	5,5	2,9	4,7	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Fe	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	2,5	0,3	0	0	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	Fe	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Fe	PWÜ WWZ	0	0	0	0	0	0	1,9	0,5	0	0	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Fe	PWÜ WWZ	0,4	0,3	0,9	0	0	0	1,1	0	0,3	0,5	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	
18	Fe	PWÜ WWZ	0	0	0,2	0,3	0	0	0	0,5	0,4	0,6	
	Fe	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fe	PWÜ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Fe	PWÜ WWZ	0,4	0,3	0,8	0	0	0	0,9	0	0,3	0,5	

 Tabelle 11
 Eisenmigration nickelgelötete PWÜ (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]									
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	M(T)*Faktor
	Mn	PWÜ KW	0	0	0	0	3	2,9	0	3,9	1,2	1,9
	Mn	PWÜ WW	9,6	7	7,6	7,9	5,9	5	4,2	7,7	6,9	10,5
1	Mn	PWÜ WWZ	0	3,9	2,5	3,9	6,5	5,1	10,0	4,1	4,5	7,3
	Mn	PWÜ KW	4,3	4,3	3,9	5	5	3,8	6,7	2,2	4,4	6,9
	Mn	PWÜ WW	0	0	11,8	10,4	10,7	15,7	42,2	42	16,6	25,3
2	Mn	PWÜ WWZ	4,9	8,4	17,8	2,2	2,4	4,5	95	34,5	21,2	34,4
	Mn	PWÜ KW	0	3,1	0	0	2,4	3,1	0	3,7	0	0
	Mn	PWÜ WW	0	0	3,2	0	3,3	0	0	0	0	0
3	Mn	PWÜ WWZ	12	16,6	26,2	16,5	16,3	23,9	31,2	39,6	22,8	37,0
	Mn	PWÜ KW	0	0	7	6,4	5,6	6,7	3,5	3,2	4,1	6,3
	Mn	PWÜ WW	0	0	2,1	3,9	7,7	4,7	8,1	9,4	4,5	6,8
6	Mn	PWÜ WWZ	17,1	19,1	16,9	20,1	20,8	40,8	60,8	52,0	31,0	50,3
	Mn	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mn	PWÜ WW	14	6	10	3	6	6,1	61,1	10,1	15,3	23,3
12	Mn	PWÜ WWZ	190	70,1	240	30,9	40,1	10,1	450	70,1	138	224,1
	Mn	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mn	PWÜ WW	13,2	7,8	9,2	8	12,3	20,4	14,1	8,6	11,7	17,8
18	Mn	PWÜ WWZ	40,5	50,4	95,0	80,9	61,1	80,1	198	99,1	88,1	143,1
	Mn	PWÜ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mn	PWÜ WW	10	7	11,2	4	7,2	6,2	40,7	19,1	13,2	20,1
26	Mn	PWÜ WWZ	165,0	80,4	116	40,9	41,1	20,1	300	60,1	103,0	167,3

 Tabelle 12
 Manganmigration nickelgelötete PWÜ (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor



Abb. 24





Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"





Anlage 1 – S. 29





Abb. 33







Abb. 36











Anlage 2 Warmwasserzähler

- Anlage 2.1 Warmwasserzähler horizontale Einbaulage (1.VS)
- Anlage 2.2 Warmwasserzähler vertikale Einbaulage (2.VS)

Anlage 2.1 Warmwasserzähler horizontale Einbaulage (1.VS)

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	2,9	0
	Ni	WZ WW	0	0	0	0	3,1	5,6	11,2	14,6	4,3
1	Ni	WZ WWZ	0	0	0	0	3,1	5,1	5,0	7,0	2,5
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	2,5	2,6	2,6	5,0	1,6
	Ni	WZ WW	0	0	0	2,3	6,6	7,1	10,4	17,0	5,4
2	Ni	WZ WWZ	0	0	3,3	3,4	5,2	5,1	5,9	8,3	3,9
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	2,8	2,3	3,9	4,7	1,7
	Ni	WZ WW	0	0	0	0	4,0	5,6	8,5	12,7	3,9
3	Ni	WZ WWZ	0	0	0	0	0	2,3	6,6	10,1	2,4
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	0	2,8	2,9	9,6	1,9
	Ni	WZ WW	0	0	0	0	2,8	5,1	8,4	11,8	3,5
6	Ni	WZ WWZ	0	0	2,9	3,4	3,1	6,4	3,9	4,9	3,1
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	0	2,4	2,4	2,7	0
	Ni	WZ WW	0	0	0	0	2,5	3,1	5,1	11,5	2,8
12	Ni	WZ WWZ	0	0	0	2,4	2,9	5,1	5,3	6,1	2,7
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	0	4,0	5,1	3,2	1,5
	Ni	WZ WW	0	0	2,1	2,5	2,8	3,1	4,8	4,1	2,4
18	Ni	WZ WWZ	0	0	3,9	2,5	4,1	3,7	3,6	6,6	3,1
	Ni	WZ KW	0	0	3,1	2,8	3,0	2,5	3,1	6,7	2,7
	Ni	WZ WW	0	2,3	2,2	2,8	3,3	3,6	3,8	4,0	2,8
26	Ni	WZ WWZ	2,4	2,5	3,6	3,6	2,9	2,8	2,9	4,6	3,2

Tabelle 13 Nickelmigration (horizontaler Einbau) WZ (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 2 – S. 2

Betriebsdauer			Konzentration [µg/I] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Cu	WZ KW	12,7	10,9	18,3	19,4	18,4	22,3	39,7	38,8	22,6
	Cu	WZ WW	35,0	35,4	36,3	33,7	58,6	22,5	19,8	12,4	31,7
1	Cu	WZ WWZ	33,5	33,6	38,0	42,3	31,9	64,2	71,2	97,3	51,5
	Cu	WZ KW	11,8	11,2	17,8	21,7	21,0	24,8	36,1	43,9	23,5
	Cu	WZ WW	40,1	39,1	36,1	35,9	32,1	32,6	30,1	29,9	34,5
2	Cu	WZ WWZ	36,1	39,1	34,5	36,1	40	59,1	68,3	79,4	49,1
	Cu	WZ KW	14,6	11,5	17,9	17,5	22,1	32,8	42,4	56,3	26,9
	Cu	WZ WW	40,9	32,1	46,3	43,5	32,6	29,8	30,6	26,2	35,3
3	Cu	WZ WWZ	40,3	31,7	34,6	35,1	44,8	63,2	66,5	83,6	50
	Cu	WZ KW	14,5	18,6	22,1	33,8	44,4	49,1	83,7	89,1	44,4
	Cu	WZ WW	38,9	33,9	38,9	41,1	42,5	40,4	41,0	32,2	38,6
6	Cu	WZ WWZ	47	53,1	44,8	49,4	54,8	71,9	81,4	100	62,8
	Cu	WZ KW	12,1	12,0	15,3	19,1	22,8	32,4	43,8	78,1	29,5
	Cu	WZ WW	26,9	31,9	41,1	45,4	43,3	37,9	38,0	29,5	36,8
12	Cu	WZ WWZ	49	49,9	54,3	56	73	79	85,1	123	71,2
	Cu	WZ KW	0	18,8	38,1	41,1	60,4	71,9	70,2	101	50,2
	Cu	WZ WW	55,6	40,6	57,6	65,9	58,4	56,4	201	62,8	62,3
18	Cu	WZ WWZ	47,6	39,4	53,4	76,2	101	131	98	73	77,5
	Cu	WZ KW	15,1	18	25,1	30,1	45,8	55,1	72,1	83,3	43,1
	Cu	WZ WW	44,5	42,9	48,7	47,7	55,6	48,5	55,8	60,8	50,6
26	Cu	WZ WWZ	45,8	49,8	60,5	51,9	66,9	94,1	142	122	79,1

 Tabelle 14
 Kupfermigration (horizontaler Einbau) WZ (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor
Betriebsdauer				Konzentration [µg/I] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	
	Pb	WZ KW	2,3	2,1	2,1	0	3,1	5,2	6,3	12,8	4,2	
	Pb	WZ WW	0	3,4	3,6	3,4	3,9	3,9	4,3	3,6	3,3	
1	Pb	WZ WWZ	2,4	2,7	2,8	2,6	2,6	5,9	5,9	4,9	3,7	
	Pb	WZ KW	0	0	0	2,4	2,9	13	9,8	5,5	4,2	
	Pb	WZ WW	2,7	2,5	2,7	2,9	2,2	2,6	4,2	2,3	2,8	
2	Pb	WZ WWZ	2,9	3,4	3,0	3,0	3,1	2,9	2,8	2,9	3,0	
	Pb	WZ KW	2,1	0	0	0	2,0	3,7	4,3	5,3	2,2	
	Pb	WZ WW	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	2,6	3,6	5,3	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	2,9	2,9	0	
6	Pb	WZ WWZ	0	2,1	2,4	2,2	0	0	2,9	2,8	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	2,8	3,4	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	
	Pb	WZ KW	0	0	2,1	2,5	0	2,2	3,9	3,2	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

 Tabelle 15
 Bleimigration (horizontaler Einbau)) WZ (1.VS)-Rohdaten ohne Faktor



Abb. 41





Gemeinsamer Schlussbericht - FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"







Abb. 45

Abb. 46

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)
	Ni	WZ KW	0	0	4	4,3	3,9	5,7	12,7	25,5	7
	Ni	WZ WW	45,7	38	90,7	79,1	105	159	176	315	126
1	Ni	WZ WWZ	0	0	8,1	7	23,5	45,9	63,7	171	39,9
	Ni	WZ KW	3,1	3,4	3,8	4,7	6	10,2	20,3	32,2	10,5
	Ni	WZ WW	41	37,9	59,5	63,6	103	151	177	268	113
2	Ni	WZ WWZ	2,4	2,9	4	6,3	12,9	51,6	95,7	151	40,9
	Ni	WZ KW	2,8	3,2	4	5,1	5,7	10,5	k.A.	12,8	6,3
	Ni	WZ WW	15,8	14,1	24,3	25,2	26,4	42,3	78,9	122	43,6
3	Ni	WZ WWZ	0	0	3,4	5,9	14,8	14	31,4	101	21,3
	Ni	WZ KW	0	0	2,8	3	4,5	6,9	10,1	18,9	5,8
	Ni	WZ WW	5,9	5,4	10,9	12,6	17,7	38,5	44	71	25,8
6	Ni	WZ WWZ	3,9	3,1	9,9	10	14	17	20	43,4	15,2
	Ni	WZ KW	0	0	2,9	3,1	3,8	4,9	8,9	15,4	4,9
	Ni	WZ WW	6,8	6,3	11,2	10,8	23,6	25,8	38,5	75,2	24,8
12	Ni	WZ WWZ	9	11,1	15,3	13,9	25,2	28,5	31,8	47	22,6
	Ni	WZ KW	0	0	3,4	2,5	2,3	3,6	6,4	10,4	3,6
	Ni	WZ WW	4,7	7,7	8,7	11,8	12	15,7	17,5	24,6	12,8
18	Ni	WZ WWZ	5,8	3	6,2	7,2	13,5	18	46,8	68,2	21,2
	Ni	WZ KW	0	0	0	0	0	0	4,2	6,1	0
	Ni	WZ WW	2,6	3,4	6,9	6,7	7,6	8,2	17,2	26,7	9,9
26	Ni	WZ WWZ	0	0	2,7	3,8	4,7	8,7	16,1	49,8	10,8

Tabelle 16 Nickelmigration (vertikaler Einbau) WZ (2.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Anlage 2.2 Warmwasserzähler vertikale Einbaulage (2.VS)

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 2 – S. 7

Betriebsdauer				Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	
	Cu	WZ KW	0	0	0	0	0	0	14,1	23,7	4,7	
	Cu	WZ WW	0	0	8	9,6	58,1	177	255	419	116	
1	Cu	WZ WWZ	32,5	45,7	114	128	183	296	316	433	194	
	Cu	WZ KW	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	52,8	71,5	43,9	44,4	
	Cu	WZ WW	15,9	15,9	26,3	33,6	55,3	171	267	324	114	
2	Cu	WZ WWZ	65,3	89,8	120	144	205	301	430	386	218	
	Cu	WZ KW	40,5	40,5	49,5	50,4	65,9	83,7	k.A.	89,8	60	
	Cu	WZ WW	10,3	10,3	26,2	31,5	74,5	154	241	293	105	
3	Cu	WZ WWZ	22	29,8	121	143	183	233	254	342	166	
	Cu	WZ KW	50,5	50,5	50,5	50,5	60,6	70,4	74	95,2	62,8	
	Cu	WZ WW	24,5	24,5	59,8	70,7	109	248	363	444	168	
6	Cu	WZ WWZ	73,7	69,9	188	210	266	318	460	530	264	
	Cu	WZ KW	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	58,6	68,5	50	
	Cu	WZ WW	55,7	55,7	89,8	91,6	95,7	192	224	255	132	
12	Cu	WZ WWZ	75	94	136	140	192	204	303	347	186	
	Cu	WZ KW	0	0	4,6	4,9	8,6	23,9	59,5	44,5	18,3	
	Cu	WZ WW	23,5	14,3	28,8	61,7	111	150	303	313	126	
18	Cu	WZ WWZ	90	94	100	140	161	198	307	329	177	
	Cu	WZKW	13,7	13,7	13,7	13,7	19,6	21,1	54,5	42,5	24,1	
	Cu	WZWW	44,7	44,7	44,7	47,1	59	123	208	248	102	
26	Cu	WZ WWZ	101	101	101	101	122	150	272	322	159	

 Tabelle 17
 Kupfermigration f(vertikaler Einbau) WZ (2.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer				Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen]	Element	Bauteil	0,5	0,5`	1	1`	2	4	8	16	M(T)	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	4	7,5	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	2,5	8,3	0	
1	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	k.A.	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ KW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pb	WZ WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Pb	WZ WWZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabelle 18 Bleimigration (vertikaler Einbau) WZ (2.VS)-Rohdaten ohne Faktor



Abb. 47







Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Abb. 50





Abb. 51



Anlage 3 Graugussbauteile

Anlage 3.1 Graugussgehäuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)

						gueepuii					
Betriebsdauer					Ko	nzentration [ug/l] nach S	Stagnation	[h]		
[Wochen] El	ement	Bauteil	0,5	0,5` 1		1`2		4	8	16	M(T)
	Ni	GG KW	000			000			2,3	3,6	0
	Ni	GGP WW	5,6 5,3		8	8,8	10,8	31,6	8,6 11	,5	11,3
1	Ni	GG WW	000			000			6,8	7,1	0
	Ni	GG KW	000			00		2,2	3,1	12,3	2,2
	Ni	GGP WW	9,2	9,1 18,	8	16,3 8,8		7,7	12,3	22,7	13,1
2	Ni	GG WW	2,3 2,4	7,5		5,9 3,8	4,5		7,7	11,7	5,7
	Ni	GG KW	000			000			6,9	0	0
	Ni	GGP WW	7,8 8		9,1	9,5	13,5	19,5	12,0 1 ⁷	,5	11,4
3	Ni	GG WW	000			000			15,2	19,0	4,3
	Ni	GG KW	000			000			4,5	0	0
	Ni	GGP WW	2,5 3,2	3,8		3,2 3,1	4,5		6,5	4,7	3,9
6	Ni	GG WW	000			000			0	0	0
	Ni	GG KW	000			000			3,2	0	0
	Ni	GGP WW	3	0 2,9 0	2,9			0	8,6	3,1	2,6
12	Ni	GG WW	2,1 0		0	0	0	3,3	0	11,1	2,1
	Ni	GG KW	000			000			0	0	0
	Ni	GGP WW	4	9,3	4,9	4,2 3,9	3,6		5,4	3,8	4,9
18	Ni	GG WW	000			0	3,5	4,0	6,5	0	0
	Ni	GG KW	000			000			0	0	0
	Ni	GGP WW	000			000			2,4	2,4	0
26	Ni	GG WW	2,8 2,2	2,5		2,4 2,2	2,3		5,1	2,4	2,7

Nickelmigration für Graugussgehäuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor Tabelle 19

Gemeinsamer Schlussbericht - FKZ DVGW - W10/01/05

Anlage 3 – S. 2

"Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

Anlage 3.1 Graugussgehäuse und Graugusspumpe (3.VS)

Betriebsdauer				Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]							
[Wochen] El	ement	Bauteil	0,5	0,5` 1		1`2		4	8	16	M(T)
	Cu	GG KW	3	2,8 3,1	2,9		4,2	11	38,3	27,7	11,6
	Cu	GGP WW	8,1	10	27,4 27	6	30,1 25	1	33	28,1	23,6
1	Cu	GG WW	8,5	4,1 4,9	2,9		12,8	15,1	20,1	8,7	9,6
	Cu	GG KW	0 0		7,6	6,2	6,5	11,5	38,0	37,8	13,4
	Cu	GGP WW	22,3 27	4	140	22,8 27	1	42,2	73,0	120	59,3
2	Cu	GG WW	5,0	3,6	17,4 17	3	17,3 16	1	106	52,1	29,3
	Cu	GG KW	5,8	3,3	13,3 15	1	21,9 30	2	76,6	85,6	31,4
	Cu	GGP WW	90,4	106 114	111		193	273	157 10	8	144
3	Cu	GG WW	19,1 79	9	89,8	121	97	90,7	271	53,8	102
	Cu	GG KW	5,6	7,5	14,4 13	1	12,3 14	2	90,3	57,1	26,8
	Cu	GGP WW	76	91,1 84	1 78,5		159	135	165	104	111
6	Cu	GG WW	27,3 38	41,5		44,9	54,4	65,7	115	88,4	59,4
	Cu	GG KW	0	000			0 0		0	0	0
	Cu	GGP WW	0	000			0	118	164	212	61,6
12	Cu	GG WW	0	000			0 0		0	236	29,4
	Cu	GG KW	8,6	7,5 7,2	8,9		8,3	13,7	22,5	22,2	12,4
	Cu	GGP WW	181	165 13 [.]	107		105 13:	8	176	109	138
18	Cu	GG WW	67,6	29,3 23	3	38	22,6 29	8	24,2	35,3	33,8
	Cu	GG KW	7,7 6,5		8	8,9 9,7		15,1	19,4	23,9	12,4
	Cu	GGP WW	105	109 123	8 140		155	160	144 14	8	136
26	Cu	GG WW	12,4	15,8 20	1 22,4		26,8 27	1	42,1	29,1	24,5

 Tabelle 20
 Kupfermigration f
 ür Graugussgeh
 äuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen] El	ement	Bauteil	0,5	0,5`1		1`2		4	8	16	M(T)
	Pb	GG KW	0	0	000			0	2,3	2,6	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
1	Pb	GG WW	0	0	000			0	3,7	2,4	0
	Pb	GG KW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
2	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GG KW	0	0	000			0	2,1	2,8	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
3	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GG KW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
6	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GG KW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
12	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	16,1	9,3
	Pb	GG KW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
18	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GG KW	0	0	000			0	0	0	0
	Pb	GGP WW	0	0	000			0	0	0	0
26	Pb	GG WW	0	0	000			0	0	0	0

 Tabelle 21
 Bleimigration f
 ür Graugussgeh
 äuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [mg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen] El	ement	Bauteil	0,5	0,5`1,0		1` 2,0		4,0	8,0	16,0	M(T)
	Fe	GG KW	0,9	1,1	2,0 2,2	4,2 6,8			16,3	16,2	6,2
	Fe	GGP WW	0,4	0,3	0,3 0,3	0,2 5,0			5,3	2,1	1,7
1	Fe	GG WW	0,7	0,9	1,3 1,2	1,8 4,3			48,2	24,5	10,4
	Fe	GG KW	1,2	0,9	1,5 1,9	4,3 7,8			13,2	17,8	6,1
	Fe	GGP WW	0	0	0,3 0,3	0,2 0,2			0,7	0,7	0,3
2	Fe	GG WW	0,5	0,6	0,8 0,9	0,9 1,2			3,3	6,7	1,9
	Fe	GG KW	1,2	0,9	2,2 1,7	4,6 9,3			17,3	19,4	7,1
	Fe	GGP WW	0 0		0,5	0,2	1,3	0 0		0	0,3
3	Fe	GG WW	0,5	0,4	0,4 0,4	0,5 0,9			3,1	5,8	1,5
	Fe	GG KW	1,4	0,8	1,5 1,4	3,1 7,0			20,4	16,7	6,5
	Fe	GGP WW	0,3 0		0	0,3	0	0	0,5	0,3	0,2
6	Fe	GG WW	0,2	0,4	0,4 0,4	0,7 0,9			2,7	2,6	1,0
	Fe	GG KW	2,0	0,8	0,6 0,5	0,9 1,5			14,1	6,0	3,3
	Fe	GGP WW	0	0	0,3	000			0,8	0	0,2
12	Fe	GG WW	1,4	0,4	0,9 0,4	1,3 0,5			4,2	2,2	1,4
	Fe	GG KW	0,5	0,2	0,4 0,6	0,5 1,9			4,3	5,1	1,7
	Fe	GGP WW	0,4	0,4	0,3 0,2	0,2 0,3			0,4	0,4	0,3
18	Fe	GG WW	0,7	0,5	0,6 1,4	0,6 1,0			3,2	6,0	1,7
	Fe	GG KW	1,9	0,9	0,8 0,6	1,0 1,6			9,1	6,8 2,8	
	Fe	GGP WW	0,2	0	0000)			0,8	0,4	0,2
26	Fe	GG WW	0,5	0,4	0,9 0,8	0,9 0,9			2,9	2,4	1,2

 Tabelle 22
 Eisenmigration f
 ür Graugussgeh
 äuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor

Betriebsdauer			Konzentration [µg/l] nach Stagnation [h]								
[Wochen] El	ement	Bauteil	0,5	0,5` 1		1`2		4	8	16	M(T)
	Mn	GG KW	3,7 3,3	4,2		5,3 2,6	4,5		3,9	7,3	4,4
	Mn	GGP WW	0	0 4,9		3,8	0 3,1		2,9	37,7	6,6
1	Mn	GG WW	9,4	9,1	11,3	14,9 15	1 30,8		51,5	56,1	24,8
	Mn	GG KW	3,9	6,9	11,7	23,5 24	3 38,5		71,2	86,6	33,3
	Mn	GGP WW	2,2 2,9	5,9		5,7 3,2		5	8,9	24,1	7,2
2	Mn	GG WW	9,7 8,0		12,4	13,4	18,5	22	24,1	36,1	18,0
	Mn	GG KW	12,9 12	1 16,5		26,5 15	7 22,1		31,3	39,7	22,1
	Mn	GGP WW	4,9 4,7	8,7		7,9 4,0	8,1		12,6	29,9	10,1
3	Mn	GG WW	9,4	8,4	10,2	10,2 10	8 16,5		19,9	19,7	13,1
	Mn	GG KW	3,3 7,4	5,8		13,7	26,2	79	100	89,1	40,6
	Mn	GGP WW	4,3 4,1	4,4		9,4	26,5	21	19,9	46	17,0
6	Mn	GG WW	32,4 29	9 46,5		24,3 24	8 24,6		66	31,4	35,0
	Mn	GG KW	000			0 0		0	51	91,4	17,8
	Mn	GGP WW	100	37,1 48	1	24,1 27	1 27,1		90,1	30,1	48,0
12	Mn	GG WW	50,1 27	1 27,1		16,1 26	1 10,9		15,1	10,8	22,9
	Mn	GG KW	0	0	10,4	19,8 33	1 56,5		72,8	306	62,3
	Mn	GGP WW	19,1 22	1 25,7		29,8 45	6 40,2		60,2	75,8	39,8
18	Mn	GG WW	14,1 19	0 32,0		39,8 56	1 60,1		69,8	51,9	42,9
	Mn	GG KW	000			0 0		19,1	31,4	66,5	14,6
	Mn	GGP WW	48,1 <mark>40</mark>	1 19,8		20,2 27	1 22,1		66,8	45,1	36,2
26	Mn	GG WW	12,0 19	0 42,0		461	16,1 20	1	22,5	10,8	75,4

 Tabelle 23
 Manganmigration f
 f
 ir Graugussgeh
 äuse (GG) und Graugusspumpe (GP) (3.VS)-Rohdaten ohne Faktor





Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 3 – S. 7



Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Abb. 59 Abb.



60



Abb. 63



Abb. 64



Anlage 3 – S. 10



Abb. 65









Abb.

66

Abb. 67

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 3 – S. 12

Anlage 4 Allgemeines

Anlage 4.1 Übersicht relevanter Armaturen im Bereich der Probenahme

Anlage 4.2 Volumina und Umrechnungsfaktoren

Anlage 4.1 Übersicht relevanter Armaturen im Bereich der Probenahme



Abb. a: Referenzstrecke für Migration im Trinkwasser (kalt)



Abb. b: Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation



Abb. c: Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation

Erklärung:

- AN Pumpe (Antrieb)
- K Kugelhahn
- RV Regulierventil
- R Regler ohne Hilfsenergie

Bezeichnung:

- XXYZ XX Kurzzeichen Armatur
 - Y Nummer der Strecke
 - Z Nummerierung innerhalb Strecke

Beispiel:

RV31Regulierventil in der Strecke 3, 1. RV



Armaturen nur von eingewiesenem Personal zu betätigen/ einzuregulieren.



Armaturen müssen bei Entnahme geschlossen sein. Vorher darf keine der grün markierten Armaturen geöffnet werden.

Sie sind nach der Entnahme zu öffnen. Erst dann darf "Weiter" betätigt werden.



Armaturen zur Entnahme der Probe bzw. Belüftung. Sie sind nach der Entnahme zu schließen. Erst dann darf "Weiter" betätigt werden.

Ausführliche Beschreibung der Probenahme siehe Bericht TUD

Bemerkung: Blindwertproben: PWÜ Blindwertprobe für alle drei Strecken K17 in der 12:00Uhr Spülphase (10I Spülung) nach 7I Spülung WZ Kaltwasser K13 WZ Warmwasser ohne Zirkulation K23 WZ Warmwasser mit Zirkulation K33 in der 7:00Uhr Spülphase(10I Spülung) nach 7I Spülung

Probenahme Plattenwärmeübertrager: PWÜ Kaltwasser: K12 und K14 schließen, Probenahme K17 PWÜ Warmwasser ohne Zirkulation: K25 und K28 schließen, Probenahme K27 PWÜ Warmwasser mit Zirkulation: K35 und K38 schließen, Probenahme K37

Probenahme Warmwasserzähler/ Graugussbauteile WZ / GG Kaltwasser: : K11 und K14 schließen, Probenahme K13 WZ / GGP Warmwasser ohne Zirkulation: : K21 und K24 schließen, Probenahme K23 WZ / GG Warmwasser mit Zirkulation: : K31 und K34 schließen, Probenahme K33

Anlage 4.2 Volumina und Umrechnungsfaktoren

1.VS Plattenwärmeübertrager nichtrostender Stahl:

Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Volumen PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWÜ, Teststrecke Kaltwasser:							
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Volumen PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation:	520 ml 440 ml 1,182						

2.VS kupfergelötete Plattenwärmeübertrager:						
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Volumen PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Fakter zur Berechnung der Schwarmetallkonzentration im Volumen des BWÜ	530 ml 390 ml					
Teststrecke Kaltwasser:	1,359					
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Warmwasser: Volumen PWÜ, Teststrecke Warmwasser:						
Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWU, Teststrecke Warmwasser:						
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Volumen PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation:	510 ml 390 ml					
Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation:	1,308					

3.VS nickelgelötete Plattenwärmeübertrager:

Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Volumen PWÜ, Teststrecke Kaltwasser: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWÜ, Teststrecke Kaltwasser:	470 ml 300 ml 1,567
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Warmwasser: Volumen PWÜ, Teststrecke Warmwasser: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWÜ, Teststrecke Warmwasser:	472 ml 310 ml 1,523
Volumen Testeinheit PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Volumen PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen des PWÜ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation:	471 ml 290 ml 1,624

1.VS vernickelte Wasserzähler:	
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Kaltwasser: Volumen WZ, Teststrecke Kaltwasser:	92 ml 40 ml
Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen WZ, Teststrecke Kaltwasser:	2,300
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Warmwasser: Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser:	101 ml 40 ml
Teststrecke Warmwasser:	2,525
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation*):	94 ml
Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation*):	40 ml
*) Anmerkung: WZ ist in die Zirkulation selbst nicht eingebunden	2,000

2.VS vernickelte Wasserzähler:	
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Kaltwasser: Volumen WZ, Teststrecke Kaltwasser: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen WZ, Teststrecke Kaltwasser:	154 ml 51 ml
	3,02
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Warmwasser Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser:	153 ml 51 ml
	3,00
Volumen Testeinheit WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation*): Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation: Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen WZ, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation*):	149 ml 51 ml
	2,92
*) Anmerkung: WZ ist in die Zirkulation selbst nicht eingebunden	

Volumen Testeinheit Graugussgehäuse, Teststrecke Kaltwasser:	246 ml
Volumen Graugussgehäuse, Teststrecke Kaltwasser:	180 ml
Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen Graugussg	Jehäuse,
Teststrecke Kaltwasser:	1,367
Volumen Testeinheit Graugusspumpe, Teststrecke Warmwasser	433 ml
Volumen Graugusspumpe, Teststrecke Warmwasser:	105 ml
Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen Graugussp	oumpe,
Teststrecke Warmwasser:	4,123
Volumen Testeinheit Graugussgehäuse, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulatie	on*): 237 ml
Volumen Graugussgehäuse, Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation:	170ml
Faktor zur Berechnung der Schwermetallkonzentration im Volumen Graugussg	Jehäuse,
Teststrecke Warmwasser mit Zirkulation*):	1,394
*) Anmerkung: WZ ist in die Zirkulation selbst nicht eingebunden	

Anlage 5 Korrosionsuntersuchungen an Bauteilen

- Anlage 5.1 Plattenwärmeübertrager nichtrostender Stahl
- Anlage 5.2 kupfergelötete Plattenwärmeübertrager
- Anlage 5.3 nickelgelötete Plattenwärmeübertrager
- Anlage 5.4 Wasserzähler
- Anlage 5.5 Graugussbauteile

Anlage 5.1 Plattenwärmeübertrager nichtrostender Stahl



Abb. 68: PWÜ KW Querschliff Übersicht / Detail



Abb. 69: PWÜ WW Querschliff Übersicht /Detail



Abb. 70: PWÜ WWZ Querschliff Übersicht / Detail







Abb. 72: PWÜ zwischen den Rippen

Anlage 5.2 kupfergelötete Plattenwärmeübertrager



Abb. 73: kupfergelöteter PWÜ KW



Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Abb. 74: kupfergelöteter PWÜ KW nicht durchströmt

Abb. 75: kupfergelöteter PWÜ KW durchströmt


Abb. 76: kupfergelöteter PWÜ KW Schnittkante



Abb. 77: kupfergelöteter PWÜ KW grüner Belag



Abb. 78: kupfergelöteter PWÜ KW, Randbereich, Cu-Film auf nichtrostendem Stahl



Abb. 79: kupfergelöteter PWÜ WW



Abb. 80: kupfergelöteter PWÜ WW nicht durchströmt



Abb. 81: kupfergelöteter PWÜ WW durchströmt



Abb. 82: kupfergelöteter PWÜ WW, brauner Belag



Abb. 83: kupfergelöteter PWÜ WW, grauer Belag



Abb. 84: kupfergelöteter PWÜ WW, 1 Woche Betriebsdauer



Abb. 85: kupfergelöteter PWÜ WW, nicht durchströmter Bereich, 1 Woche Betriebsdauer

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Abb. 86: kupfergelöteter PWÜ WW, durchströmter Bereich, 1 Woche Betriebsdauer



Abb. 87: kupfergelöteter PWÜ WW, grauer Belag, 1 Woche Betriebsdauer



Abb. 88: kupfergelöteter PWÜ WW, brauner Belag, 1 Woche Betriebsdauer



Abb. 89: kupfergelöteter PWÜ WWZ



Abb. 90: kupfergelöteter PWÜ WWZ, nicht durchströmter Bereich



Abb. 91: kupfergelöteter PWÜ WWZ, durchströmter Bereich



Abb. 92: kupfergelöteter PWÜ WWZ, grauer Belag



Abb. 93: kupfergelöteter PWÜ WW, brauner Belag

Anlage 5.3 nickelgelötete Plattenwärmeübertrager



Abb. 94: nickelgelöteter PWÜ KW



Abb. 95: nickelgelöteter PWÜ KW, nicht durchströmter Bereich



Abb. 96: nickelgelöteter PWÜ KW, durchströmter Bereich



Abb. 97: nickelgelöteter PWÜ WW

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



Abb. 98: nickelgelöteter PWÜ WW, nicht durchströmter Bereich



Gemeinsamer Schlussbericht - FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung" Anlage 5 – S. 23



Abb. 100: nickelgelöteter PWÜ WWZ



Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/05 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

Abb. 101: nickelgelöteter PWÜ WWZ, nicht durchströmter Bereich



 IKS Dresden 870.09 Probe 2 unten geätzt
 IKS Dresden 871.09 Pr

 Abb. 102: nickelgelöteter PWÜ WWZ, nicht durchströmter Bereich

Anlage 5.4 Wasserzähler



Abb. 103: Wasserzähler, Teststrecke KW



Abb. 104: Wasserzähler, Teststrecke WW



Abb. 105: Wasserzähler, Teststrecke WWZ



Abb. 106: Wasserzähler, Teststrecke WW Querschliff, Angriffstiefe 430 μm



Abb. 107: Wasserzähler, Teststrecke WWZ, Querschliff, Angriffstiefe 350 μm



Abb. 108: EDX-Analyse Außenoberfläche Wasserzähler



Abb. 109: EDX-Analyse Matrix Wasserzähler



Abb. 110: EDX-Analyse Innenseite WZ nach 6 Monaten Betrieb, Teststrecke KW

Anlage 5.5 Graugussbauteile



Abb. 111: GG-Bauteil KW



Abb. 112: GG-Bauteil WW



Abb. 113: GGP-Bauteil WW



Abb. 114: GG-Bauteil KW Übersicht / Detail





Abb. 115: GG-Bauteil WW Übersicht / Detail



Abb. 116: GGP-Bauteil WW Übersicht / Detail





Anlage 6 Versuchsanlage zur Bestimmung der Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung Funktionsbeschreibung, Handhabung Probenahme, Messwerterfassung



1 Funktionsbeschreibung

Ein Ziel des Forschungsvorhabens besteht darin, durch Auslegung, Errichtung und Betrieb einer Versuchsanlage zu Aussagen zur Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwarmwasserversorgung zu gelangen.

Der versuchstechnische Teil wird zunächst auf den Test von Plattenwärmeübertragern und Warmwasserzählern zugeschnitten, ist jedoch so konzipiert, dass er geeignet ist, auch die Schwermetallmigration aus anderen Bauteilen der Trinkwasserversorgung zu bestimmen.

Grundsätzlich sind mit der Versuchsanlage auch Untersuchungen zum mikrobiologischen Verhalten von Werkstoffen (Biofilmbildung, Aufkeimungserscheinungen) möglich.

Die Versuchsanlage zur Bestimmung der Schwermetallmigration aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung besteht wie auf Seite A1 – 1 ersichtlich aus folgenden Hauptbaugruppen

- 1. "Trinkwassermodul" mit integrierter SPS7-Systemsteuerung (IKS-Leistunsganteil)
- 2. "Modul Beheizung" mit integrierter Messwerterfassung (TUD-Leistunsganteil)

In den Bildern der Beschreibung ist die Installation in der ersten Versuchsreihe mit vertikal eingebauten Warmwasserzählern und Plattenwärmeübertragern aus nichtrostendem Stahl dargestellt.

Beide Module werden über die übergeordnete SPS7-Steuerung (Siemens) gesteuert und überwacht. Ausgewählte Temperaturen und Volumenströme können als Mittelwerte für Zeitraster ≥ 2 s über ein AMR-Control-System (Ahlborn) erfasst und archiviert werden.

Im Fokus des Forschungsvorhabens stand neben Warmwasserzählern und Pumpengehäusen vor allem auch die Prüfung der Plattenwärmeübertrager als Hauptelement der Trinkwassererwärmer unterschiedlicher Bauart.

Die einfache Version der Trinkwassererwärmung über Standard-Durchlauferhitzer konnte somit nicht realisiert werden. Zur Simulation von in Fernund Nahwärmenetzen üblichen Bedingungen, die im konkreten Fall nahezu gleichzeitig das Zapfen in drei parallelen Strängen mit jeweils ca. 17 kW Leistung zu realisieren hat, erfolgte deshalb der Aufbau eines beheizungsseitigen Speicherladesystems mit elektrischer Heizpatrone.





Bild 1 Zapfprofil nach DIN 50931-1



Das Trinkwassermodul ist wie folgt in drei trinkwasserseitig parallel geschaltete Teststrecken aufgeteilt:



Trinkwassermodul mit 3 parallelen Teststrecken

Teststrecke 1 Referenzstrecke für die Migration im Trinkwasser (kalt)

Teststrecke 2

Trinkwassererwärmungssystem ohne Zirkulation

Teststrecke 3 Trinkwassererwärmungssystem mit Zirkulation

Die Zapfkurve nach DIN 50931-1 (s. a. Bild 1) wird über von der SPS7 angesteuerte Magnetventile realisiert. Insgesamt erfolgt je Strecke täglich die Zapfung von 145 Liter Trinkwasser. Dabei wird jeweils mit einem Volumenstrom von 5 l/min gearbeitet, wobei die Magnetventile je nach Tageszeit über 1 bzw. 2 Minuten geöffnet sind. Die grundsätzliche Funktion soll nachfolgend getrennt für die drei Teststrecken erläutert werden.









Teststrecke 2

Im Speicher des Moduls Beheizung wird für die Teststrecken 2 und 3 eine vorgegebene Temperatur $\vartheta_{soll,HW}$ (i. A. 80 °C) vorgehalten.

Zu den nach DIN 50931-1 vorgegebenen Zeiten wird das Magnetventil auf der Trinkwassersseite durch den Regelkreis 1 geöffnet. Der auf der Trinkwasserseite am Austritt des Wärmeübertragers integrierte Fühler registriert sofort einen Volumenstrom und öffnet ohne Hilfsenergie das Regelventil auf der beheizenden Seite und reguliert die Temperatur am Trinkwarmwasseraustritt ϑ_{Aus} auf 60 °C.

Je nach Uhrzeit werden – gesteuert über den Durchflusssensor F_{TW} 5 bzw. 10 Liter Trinkwasser in ca. 1 bzw. 2 Minuten erwärmt und dem Sammelbehälter (Abwasser) zugeführt.





Teststrecke 3

Auf der Trinkwasserseite der Teststrecke 3 ist zur Abbildung der Verhältnisse in Anlagen mit Zirkulation eine während der kompletten Versuchsdauer permanent arbeitende Zirkulationspumpe integriert.

Um die Bedingungen der DVGW W 551 für Zirkulationsanlagen zu simulieren, muss am Austritt des Wärmeübertragers die Temperatur ϑ_{Aus} ständig auf 60 °C gehalten werden. Der auf der Trinkwasserseite am Austritt des Wärmeübertragers integrierte Fühler registriert die Temperatur und regelt ohne Hilfsenergie den Volumenstrom am Regelventil auf der beheizenden Seite.

Zu den nach DIN 50931-1 vorgegebenen Zeiten wird das Magnetventil auf der Trinkwassersseite durch den Regelkreis 1 geöffnet. Der auf der Trinkwasserseite am Austritt des Wärmeübertragers integrierte Fühler registriert die mit der Volumenstromänderung einhergehende Temperaturänderung sofort und regelt den beheizenden Volumenstrom zur Einhaltung von $\vartheta_{Aus} = 60$ °C entsprechend nach.

Je nach Uhrzeit werden – gesteuert über den Durchflusssensor F_{TW} 5 bzw. 10 Liter Trinkwasser in ca. 1 bzw. 2 Minuten erwärmt und dem Sammelbehälter (Abwasser) zugeführt.



2 Handhabung Probenahme

2.1 Allgemeines

Die Entnahme der Proben zur Untersuchung auf den Gehalt an Kupfer, Nickel und Blei erfolgt nach den in DIN 50 931-1 vorgegebenen Stagnationszeiten. In DIN 50931-1 sind ebenfalls die vorgegebenen Zeitabstände bezogen jeweils auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme angegeben. Die Probenahme erfolgt dem entsprechend innerhalb der 1., 2., 3., 6., 12., 18. und 26. Wochen Betriebsdauer jeweils nach 0,5 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h Stagnation. Zusätzlich wurde in Versuchsserie 3 in der ersten Betriebswoche täglich eine 4h-Stagnationsbeprobung durchgeführt.

Nach Initialisierung der Entnahme und Freigabe derselben durch die Steuerung kann das Entnehmen der Proben in den 3 parallelen Trinkwasserstrecken nach dem in 2.2 bis 2.3 beschriebenen Vorgehen erfolgen.

In Strecke drei kann ggf. nach der Entnahme bzw. nach Stillstand der Anlage ein Entlüften erforderlich sein.

Bild 5 zeigt die im Bereich der Entnahme installierten Armaturen und das nebenstehende Textfeld gibt Auskunft über die grundsätzliche Bedeutung.

Wichtig ist, dass die weiß gekennzeichneten Armaturen nur von eingewiesenem Fachpersonal zu betätigen und einzuregulieren sind.

Um die Kontrolle der Richtigkeit der Ventilstellungen zu vereinfachen, wurden die Bedienhebel der Kugelhähne K (rot, grün, magenta) folgendermaßen angeordnet:

- Regulärer Betrieb: ALLE HEBEL WAAGERECHT
- Entnahme: Erst alle roten und magenta-farbenen Hebel senkrecht

Danach die grünen Hebel zur eigentlichen Entnahme betätigen

– "Weiter: Erst wenn ALLE HEBEL wieder WAAGERECHT "Weiter" in Steuerung betätigen




Bild 5 Übersicht relevante Armaturen im Bereich der Probenahme

AN Pumpe (Antrieb) Κ Kugelhahn RV Regulierventil R Regler ohne Hilfsenergie Bezeichnung: XXYZ XX Kurzzeichen Armatur Y Nummer der Strecke Ζ Nummerierung innerhalb Strecke Beispiel: RV31 Regulierventil in der Strecke 3, 1. RV Armaturen nur von eingewiesenem Personal zu betätigen/ einzuregulieren. Armaturen müssen bei Entnahme geschlossen sein. Vorher darf keine der grün markierten Armaturen geöffnet werden. Sie sind nach der Entnahme zu öffnen. Erst dann darf "Weiter" betätigt werden. Armaturen zur Entnahme der Probe bzw. Belüftung. Sie sind nach der Entnahme zu schließen. Erst dann darf "Weiter" betätigt werden.



2.2 Probenahme Strecke 1



- K11, K14(=K15) und K18 schließen
- Probenahme Prüfling P11 "Wärmeübertrager": Probenahmegefäß an K17→ K17 langsam öffnen (Achtung Überdruck) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K16 öffnen → K16 und K17 schließen
- Probenahme Prüfling P12 "Warmwasserzähler": Probenahmegefäß an K13→ K13 langsam öffnen (Achtung Überdruck) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K12 öffnen → K12 und K13 schließen
- K11, K14(=K15) und K18 öffnen
- Strecke mit Befehl "Weiter" über Touch Panel starten.
- PWÜ Blindwertprobe für alle drei Strecken an K17 in der 12:00Uhr Spülphase nach 7I Spülung
- WWZ- Blindwertprobe an K13 in der 7:00Uhr Spülphase nach 7I Spülung



Probenahme Strecke 2



- K21, K24, K25, K28 und K29 schließen
- Probenahme Prüfling P21 "Wärmeübertrager": Probenahmegefäß an K27→ K27 langsam öffnen (Achtung Überdruck und Temperaturen bis 60 °C) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K26 öffnen → K26 und K27 schließen
- Probenahme Prüfling P22 "Warmwasserzähler": Probenahmegefäß an K23→ K23 langsam öffnen (Achtung Überdruck und Temperaturen bis 60 °C) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K22 öffnen → K22 und K23 schließen
- K21, K24, K25, K28 und K29 öffnen
- Strecke mit Befehl "Weiter" über Touch Panel starten.
- WWZ- Blindwertprobe an K23 in der 7:00Uhr Spülphase nach 7I Spülung



2.3 Probenahme Strecke 3



- K31, K34, K35, K38 und K39 schließen
- Probenahme Prüfling P31 "Wärmeübertrager": Probenahmegefäß an K37→ K37 langsam öffnen (Achtung Überdruck und Temperaturen bis 60 °C) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K36 öffnen → K36 und K37 schließen
- Probenahme Prüfling P32 "Warmwasserzähler": Probenahmegefäß an K33→ K33 langsam öffnen (Achtung Überdruck und Temperaturen bis 60 °C) → zur vollständigen Entleerung des Prüflings K22 öffnen → K32 und K33 schließen
- K31, K34, K38 und K39 öffnen
- Strecke mit Befehl "Weiter" über Touch Panel starten dabei K35 entsprechend der Entlüftungsstrategie zeitverzögert öffnen.
- WWZ- Blindwertprobe an K33 in der 7:00Uhr Spülphase nach 7I Spülung





3 Datenerfassung Schwermetallmigration AMR-Control (Ahlborn)

Erfasst wurden jeweils 2 Volumenströme und 6 Temperaturen. Die Anordnung der Sensoren wurde dabei den Migrationserkenntnissen angepasst. Bild 6 bis Bild 8 zeigt die drei verschiedenen Anordnungsvarianten. Nachfolgend sei die Bedienung des AMR-Control-Rechners und es AMR-Control selbst kurz beschrieben:

- Der mit der Ahlborn-Erfassungseinheit gekoppelte Rechner arbeitet als lokale Arbeitsstation
- Auf dem nach passwortgestütztem Start erscheinenden Standard-Desktop wird das Programm "AMR-Control" mittels Doppelklick gestartet.
- Im dann erscheinenden Fenster wird "Hauptmenü" durch Einfachklick aufgerufen. Ein kleines Fenster mit Namen "Hauptmenü" wird geöffnet. In diesem Fenster ist auf den Button "Verbinden" zu klicken.
- In Hauptmenü wird jetzt über den Button "Geräte→Liste" das etwas größere Fenster "Geräteliste" aufgerufen. Dort wird, falls es nicht automatisch erfolgen sollte, der Button "Liste Aktualisieren" betätigt. Das Programm sucht jetzt nach einem angeschlossenen Gerät (Ahlborn-Gerät muss vorher eingeschaltet werden). Das zur Verfügung stehende Gerät wird dann auch im Fenster "Geräteliste" angezeigt.
- Anschließend ist im Fenster "Hauptmenü" über den Button "Datei" und dann den Button "Terminal" das Fenster "Terminal" zu öffnen. In diesem Fenster wird über "Datei" und "Terminalmitschnitt öffnen" das Fenster "Terminal-Mittschnitt speichern unter" geöffnet. Dort speichert man unter Arbeitsplatz\D:\Messwerte Migration\IKS-Messungen eine Textdatei mit entsprechender Bezeichnung (Datum etc.) zur Aufnahme der Messdaten ab.
- Jetzt kann mit "**Start**" im Fenster "**Terminal**" die Datenerfassung gestartet werden.
- Nach Beendigung der Messungen wird mit "**Stop**" im Fenster "**Terminal**" die Datenerfassung angehalten.
- Um die Messwerte der gespeicherten Textdatei ansehen, auswerten bzw. kopieren zu können, sind alle Fenster des Programms "AMR-Control" zu schließen und das Programm damit zu beenden. Jetzt kann die benötigte Textdatei im entsprechenden Verzeichnis aufgerufen und geöffnet werden.





Bild 6 Sensorbelegung für Versuchsreihe 1 und 1. Teil Versuchsreihe 2





Bild 7 Sensorbelegung für 2. Teil Versuchsreihe 2





Bild 8 Sensorbelegung für Versuchsreihe 3





Anlage 7

Feldmessungen zur Schwermetallmigration

Anleitung zur Probeentnahme



ZIEL und METHODIK

Fakultät Maschinenwesen Institut für Energietechnik

Die Probenahme im Rahmen der Feldmessungen erfolgt mit dem Ziel der Ermittlung folgender Trinkwasser-Parameter am Zapfhahn

- Blei
- Kupfer
- Nickel

Methodik: Entnahme von insgesamt 6 Proben

Grundlage ist die **gestaffelten Stagnationsbeprobung** (S0,S1 und S2) nach Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA-Empfehlung). Die Beprobung erfolgt je "Zapfhahn" jeweils für die Seite

- Trinkwasser kalt (S0, S1, S2) und
- Trinkwasser warm (S0, S1, S2)

Da die Proben mit Salpetersäure anzusäuern sind, sollte die Probenahme nur von eingewiesenem und belehrtem Personal durchgeführt werden.



A Trinkwasser kalt

- S0 1 Liter nach stabiler Temperatur
- S1 1. Liter nach 2 bzw. 4 Stunden Stagnation
- S2 2. Liter nach 2 bzw. 4 Stunden Stagnation

B Trinkwasser warm

- S0 1 Liter nach stabiler TWW-Temperatur
- S1 1. Liter nach 2 bzw. 4 Stunden Stagnation
- S2 2. Liter nach 2 bzw. 4 Stunden Stagnation



Erfassen von Eckdaten zur Trinkwasserinstallation

(Wird gemeinsam bei der Einweisung von Herrn Gietzelt oder Frau Rühling ausgefüllt!)

Messort				
Straße	PLZ, Ort			
EFH	ca. Wohnfläche			
MFH	Anzahl Wohnungen gesamt			
	Lage der Wohnung			
Anderes	(z.B. Labor, Büroküche)			
Zapfstelle	(z.B. Küche, Bad, Labor)			
Art des Zapfhahns	Einhebel-Mischer	Fabrikat		
	separat kalt/warm	Fabrikat		
Foto Messort	ja/nein			
Wasserwerk				
		I I	-	
Trinkwassererwärmung	Fernwärme	elektrisch	<u> </u>	
	Gas	Andere (z.B. Holzkes	sel, Solar)	
zentral	Speicher	Volumen in Litern	Fabrikat	
		Ausführung Speich	er (z.B. Edelstahl o. emailliert mit Kupferrohrschla	inge)
	Durchlaufprinzip	Leistung in kW	Fabrikat	
Zirkulation	ja/nein			
dezentral	Speicher	Volumen in Litern	Fabrikat	
	Durchlaufprinzip	Leistung in kW	Fabrikat	
Werkstoffe Verrohrung	Kupfer	Fabrikat		
(bei Mischinstallationen	Edelstahl	Fabrikat		
auch Mehrfachnennung)	Kunststoff	Fabrikat		
	verzinktes Stahlrohr	Fabrikat		
	Anderes (z.B. Glas)	Fabrikat		

FKZ DVGW - W10/01/05



S0-Probe Trinkwasser kalt :

- 1. Zapfhahn auf 100 % Zapfung Trinkwasser kalt stellen
- 2. Zapfen von Trinkwasser bei gleichzeitiger Messung der Temperatur (z.B. im Becherglas) bis sich eine konstante Temperatur einstellt (Anmerkung: Es müssen u. U. mehrere Liter Wasser auch über 10 I - abgelassen werden)
- Bestimmung von pH-Wert und Leitfähigkeit bzw. entsprechende Probenahme in 500 ml-Probeflasche
- 4. Entnahme von genau 1 Liter Trinkwasser kalt
- 5. Sofern nicht Probeflaschen bereits mit Salpetersäure vorkonditioniert sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure
- 6. Beschriftung (Muster s. oben rechts)
- 7. Sperren der Zapfstelle für die Wasserentnahme-Kennzeichnen mit Schild für 2 oder 4 Stunden

A-Trinkwasser kalt	Bei Einhebel-Mischern Position "nur kalt"!
Temperatur in °C	
pH-Wert	
el. Leitfähigkeit in μS/cm	
	1 Liter nach Erreichen konstanter Temperatur
	S0-Probe kalt
Probe Nr.	1-K
Datum	
Uhrzeit	
Messort / Name Probenehmer	

ACHTUNG!	
Zapfstelle gesperrt	
Bis voraussichtlich	Uhr
Wir danken für Ihr Verständnis!	



S1-Probe Trinkwasser kalt :

- Abwarten der vorzugsweise genau 4 Stunden Stagnation, mindestens jedoch 2 Stunden nach S0-Beprobung
- 2. Entnahme des 1. Liters ohne vorheriges Ablaufen;
- 3. Falls Flaschen nicht bereits konditioniert, sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure,
- 4. Beschriftung (Muster s. rechts)

S2-Probe Trinkwasser kalt :

- 1. In unmittelbarer Folge zur S1-Beprobung Entnahme des 2. Liters;
- 2. Falls Flaschen nicht bereits von uns konditioniert, sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure,
- 3. Beschriftung (Muster s. rechts)

	S1-Probe kalt
Probe Nr.	2-K
Datum	
Uhrzeit	
Messort / Name Probenehmer	

1. Liter nach 2 bis 4 h Stagnation

	2. Liter nach 2 bis 4 h Stagnation					
	S2-Probe kalt					
Probe Nr.	3-К					
Datum						
Uhrzeit						
Messort / Name Probenehmer						

Anmerkung: Hier kann bis zur Beprobung für die Warmwasserseite eine Pause von Stunden oder ggf. 1 bis 2 Tagen eingelegt werden.



S0-Probe Trinkwasser warm :

- 1. Zapfhahn auf 100 % Zapfung Trinkwasser warm stellen
- Zapfen von Trinkwasser bei gleichzeitiger Messung der Temperatur (z.B. im Becherglas) bis sich eine konstante Temperatur einstellt

(Anmerkung: Es müssen u. U. mehrere Liter Wasser auch über 10 I - abgelassen werden. Bei Speichern an der Zapfstelle jedoch nicht mehr als 50 % des Speicherinhalts!)

- 3. Entnahme von genau 1 Liter Trinkwasser warm
- 4. Sofern nicht Probeflaschen bereits mit Salpetersäure vorkonditioniert sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure
- 5. Beschriftung (Muster s. oben rechts)
- 6. Sperren der Zapfstelle für die Wasserentnahme-Kennzeichnen mit Schild für 2 oder 4 Stunden

B-Trinkwasser warm	Bei Einhebel-Mischern Position "nur warm"!
Temperatur	
	1 Liter nach Erreichen konstanter Temperatur
	S0-Probe warm
Probe Nr.	4-W
Datum	
Uhrzeit	
Messort / Name Probenehmer	

ACHTUNG!	
Zapfstelle gesperrt Bis voraussichtlich	Uhr
Wir danken für Ihr Verständnis!	



S1-Probe Trinkwasser warm :

- Abwarten der vorzugsweise genau 4 Stunden Stagnation, mindestens jedoch 2 Stunden nach S0-Beprobung
- 2. Entnahme des 1. Liters ohne vorheriges Ablaufen;
- 3. Falls Flaschen nicht bereits konditioniert, sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure,
- 4. Beschriftung

S2-Probe Trinkwasser warm :

- 1. In unmittelbarer Folge zur S1-Beprobung Entnahme des 2. Liters;
- 2. Falls Flaschen nicht bereits konditioniert, sofortiges Ansäuern mit Salpetersäure,
- 3. Beschriftung

	1. Liter nach 2 bis 4 h Stagnation
	S1-Probe warm
Probe Nr.	5-W
Datum	
Uhrzeit	
Messort / Name Probenehmer	

	2. Liter nach 2 bis 4 h Stagnation
	S2-Probe warm
Probe Nr.	6-W
Datum	
Uhrzeit	
Messort / Name Probenehmer	

Wir bedanken uns recht herzlich für Ihre Unterstützung! Gern informieren wir Sie über die Ergebnisse.

Das Migrations-Team

Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung

Anlage 8 Objekte der Felduntersuchungen

Nr.	Art TWE	Rohr	Rohr	Rohr	Rohr	Kennzahl	Armatur	Zirkulation	Spei-	Speicher	Durch-	
						Mischin-			cher	de-zentral	lauf-	
						stallation			zentral		erhitzer	
		Cu	Kunststoff	Niro	sonstiges							
	FW, zentraler WW-Speicher				Ť							
1	mit Zirk.	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
2	Speicher pro WE ohne Zirk.	1	0	0	0	1	Einhebelm.	0 0 1			0	
	FW, zentraler WW-Speicher		0	~	4	2	Einhach also		0	0		
3	mit Zirk.	1	0	0	1	2	Einnebelm. 1 1		0	0		
	Linterheux Cresiehen	0	4	0	0	1		0	0	1	0	
4	Chierbau-Speicher	0	1	0	0	1	langer Auslauf 0 0		1	0		
5	Brunnenanlage zentraler	0	-	0	0	1				0	0	
6	Speicher	1	1	0	0	2	Einhebelm.	0	0	0	1	
7	Oberbauspeicher 5 I	1	0	0	2	3	Speicherarmatur	0	0	1	0	
8	MFH zentraler Speicher	0	0	0	1	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
	Brauchwasser priv. Brunnen 5 I											
9	Unterbauspeicher	0	0	0	1	1	Speicherarmatur	0	0	1	0	
10	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
11	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
12	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
13	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
14	FW zentral	1	0	0	0	1	separat kalt/warm	1	1	0	0	
15	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelm. ALT	0	0	0	1	
16	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelm. NEU	0	0	0	1	
17	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
18	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
19	zentraler WWSP	0	0	0	1	1	unbekannt	1	1	0	0	
20	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	0	1	0	0	
21	zentraler WWSP	1	0	1	0	2	Einhebelmischer	1	1	0	0	
22		1	0	1	0	2	separat kalt/warm	1	1	0	0	
23	zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Einnebeim.	0	0	0	1	
24	Durchlaufernitzer Gas	0	1	0	0	1	Einnebeim.	0	0	0	1	
25	Gastherme: zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Finhehelm	1	1	0	1	
26	zentraler WWSP	1	0	1	1	3	Einhebelm.	0	0	1	0	
27	zentraler WWSP	1	0	0	1	2	Einhebelm.	1	1	0	0	
28	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
29	Durchlauferhitzer Gas	1	0	1	0	2	Einhebelm.	0	0	0	1	
30	zentraler WWSP	0	1	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
31	zentraler WWSP	0	1	0	1	2	Thermostatarmatur 1		1	0	0	
32	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
33	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0	
34	zentraler WWSP	1	0	0	0	1	Einhebelmische	1	1	0	0	
35	dezentraler Speicher	0	0	1	0	1	Einhebelmischer	0	0	1	0	
36	zentraler WWSP	1	0	1	0	2	Einhebelm.	1	1	0	0	
37	el. Durchlauferhitzer	1	0	0	0	1	Einhebelmischer	0	0	1	1	
38	38 EFH zentraler Speicher "alt" 0 1		1	0	0	1	Einhebelm.	1	1	0	0	
	EFH TWE im Durchfluss +											
39	Kleinmischspeicher	0	1	0	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	1	
1	I WE zentrales		0	1	0	2	Finhoholmischer	1	0	0	0	
40		1	1	1	0	2	Einhebelmischer	1	1	0	0	
41		0	0	1	0	1	Einhebelmischer	1	1	0	0	
42		0	0	1	0	1	Finhebelmischer	1	1	0	0	
43 zentraler WWSP		U	U		0		Linnebelinischel			U	U	

Tabelle A3-1 Übersicht Anlagen der Feldmessungen - Installationsdaten

Nr.	Art TWE	t kalt	t warm	рH	LF		
		°C	°C	-	mikroS/cm		
	FW, zentraler WW-Speicher	-	-				
1	mit Zirk.	18,5	49,4	7,9	405		
2	Speicher pro WE ohne Zirk.	16,7	74,5	7,9	405		
	FW, zentraler WW-Speicher						
3	mit Zirk.	16,1	55,3	7,26	173		
4	Unterbau-Speicher	15	59	7,9	405		
5	EFH zentraler Speicher	10	44,7	8,21	266		
	Brunnenanlage zentraler			7.4	400		
6	Speicher	15	44,5	7,1	189		
7	Oberbauspeicher 5 I	22,6	49,9	8	273		
8	MFH zentraler Speicher	19	45	/	745		
0	Linterbauspeicher	10.6	60	6.8	411		
10	zontralor WWSP	19,0	55	8.02	484		
11	zentraler WWSP	15	55	8.02	484		
12	zentraler WWSP	15	55	8.02	404		
12		13.6	51.8	7.3	671		
14		20.6	42.6	7,3	657		
14		20,0	42,0	7,23	622		
10		11,4	40,0	7,07	620		
17		10.9	40,3	7,05	511		
10		10,0	35,7 40.7	7,45	507		
10		10,9	49,7	7,43	460		
19		10	40.0	7,2	409		
20		5,7	48,Z	/ 6 9	300		
21		11,1	58,8 60,5	0,0	620 520		
22		14,5	60,5	7,5	239		
23		14,6	40	8,2	370		
24	Durchlaufernitzer Gas	13	35	7,00	213		
25	Gastherme: zentraler WWSP	10	45	8.05	429		
26	zentraler WWSP	12	55	7 72	446		
27	zentraler WWSP	13	44	7.76	405		
28	zentraler WWSP	15	38.5	7,72	535		
20	Durchlauferbitzer Gas	13	44	7.78	400		
30	zentraler WWSP	18	46	7 49	538		
31	zentraler WWSP	13	54.4	7.5	350		
32	zentraler WWSP	13.8	54.6	7,85	434		
33	zentraler WWSP	10,0	54.9	7,82	434		
34	zentraler WWSP	13.8	51.2	7.18	755		
35	dezentraler Speicher	12.0	63.3	7.52	716		
36	zentraler WWSP	10.5	54.7	7,62	785		
37		10,0	48.2	7.45	667		
38	FFH zentraler Speicher "alt"	16.3	40,2 40,1	7 95	260		
- 30	EFH TWE im Durchfluss +	10,5		7,00	200		
39	Kleinmischspeicher	18.1	51.7	7,97	280		
	TWE zentrales	- , -	- ,-	,			
40	Durchflussprinzip	14,5	58,2	7,73	350		
41	zentraler WWSP	23,8	59,3	7,33	1238		
42	zentraler WWSP	19,6	56,1	7,39	1344		
43	zentraler WWSP	20	57,8	7,39	1370		

Tabelle A3-2 Übersicht Anlagen der Feldmessungen – Messwerte Vor Ort

Nr.	pН	t(TrW)	LF	LF (25 °C)	К _{в8,2}	К _{S4,3}	Natrium	Kalium	Calcium	Mag-	Summe Erd-	Chlorid	Nitrat	Sulfat	тос	Calcitlöse- kapazität	Calcitlöse- kapazität
										nesium	alkalien					Kaltwasser	Warmwasser
		°C	mikroS/cm	mikroS/cm	mmo/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mgl/l	mgl/l
1	7,89	10,5	369	412	0,055	1,757	14,1	2,9	55,4	5,5	1,609	21	16	62,2	1,51	-0,3	-4,8
2	8,08	7,4	237	264	0,025	1,46	6,3	1,6	40,1	3,1	1,128	9,5	13,7	31,7	1,9	0,2	-6,9
3	7,89	10,5	369	412	0,055	1,757	14,1	2,9	55,4	5,5	1,609	21	16	62,2	1,51	-0,1	-6,1
4	7,89	10,5	369	412	0,055	1,757	14,1	2,9	55,4	5,5	1,609	21	16	62,2	1,51	0,0	-7,0
5	8,08	7,4	237	264	0,025	1,46	6,3	1,6	40,1	3,1	1,128	9,5	13,7	31,7	1,9	0,5	-2,0
5	7 89	10.5	369	412	0.055	1 757	14 1	29	55.4	5.5	1 609	21	16	62.2	1 51	-0.7	-4 9
8	1,00	10,0	505	412	0,000	1,101	14,1	2,5	55,4	0,0	1,005		27	02,2	1,01	-0,7	4,5
9	6,8		411											108	n.B.		
10	8,02	12,5	484	484	0,04	2,33	46,6	4,2	42,2	7,4	1,357	48	14,2	41,8	1,1	-2,5	-10,0
11	8,02	12,5	484	484	0,04	2,33	46,6	4,2	42,2	7,4	1,357	48	14,2	41,8	1,1	-2,5	-10,0
12	8,02	12,5	484	484	0,04	2,33	46,6	4,2	42,2	7,4	1,357	48	14,2	41,8	1,1	-2,5	-10,0
13	7,35	12,0	720	804	0,52	4,447	23,6	2,6	132	11,4	3,763	34,6	2,8	152	3,4	-12,4	-42,4
14	7,40	12,0	817	817	0,39	3,818	60,6	14,7	92	8,7	2,653	87	9,2	92,3	4,5	-4,1	-16,9
15	7,67	11,4	622	622	0,17	3,2	60,9	4,0	51	12,1	1,770	34	21	90	1,3	1,3	-10,1
16	7,65	11,4	621	621	0,17	3,22	60,9	4,0	49,8	12	1,736	33	22	88	1,3	1,2	-9,2
17	7,45	10,4	506	506	0,27	2,0	10,0	4,0	70	12,5	2,411	33	11	52	2,0	5,2	-12,7
10	7,45	10,4	455	508	0.33	4 648	3.6	4,0	77.6	19.4	2,734	92	69	27	2,0	-14.7	-54.8
20	7.3	5.7	400	446	0.22	1.5	24.7	1,0	50	8.0	1.577	16	2.3	70	0,0	16.6	11.1
21	7,34	11,1	774	864	0,67	5,36	24,7	2,5	117	28,5	4,092	44,7	32,1	94	0,5	-14,7	-60,2
22	7,2														>1,5		
23	8,62	10,3	199	203	-0,02	1,37	14,1	3,5	18,9	6,2	0,727	15,3	5,1	14	0,4	-1,4	-2,2
24	8,62	10,3	199	203	-0,02	1,37	14,1	3,5	18,9	6,2	0,727	15,3	5,1	14	0,4	-1,3	-2,0
25	8,04	10,0	198	221	0,03	1,65	14,1	4,3	33,7	0,5	0,861	12,3	5,2	12,5	1	0,7	-2,3
26	7,88	10,1	458	511	0,11	3,22	10,3	4,2	58,8	22,7	2,401	17,4	9,5	71,2	1,1	-6,4	-21,0
27	7,57	11,0	417	465	0,24	3,462	40,0	1,8	45,8	5,4	1,365	23,9	2,6	22,1	0.5	3,6	-7,4
28	7,49	10,0	508	146	0,20	2,37	19,0	3,4	65,3	12,4	2,140	40,1	30,1	47,0	0,5	-0.5	-7.3
29	7,70	10.0	508	567	0,10	2,33	19.6	3.4	65.3	12.4	2 140	46.1	36.1	47.8	0.5	-0,5	-7,5
31	8.07	10,0	290	324	0.02	1.65	5.3	1.3	37	10.0	1.335	17.6	3.6	41	2,1	0,0	-3.9
32	7,85	13,8	434	434	0,06	2,05	35	3,9	40	6,9	1,282	40	13,2	38	1,1	1,1	-5,3
33	7,82	10,7	434	434	0,06	2,05	35	3,9	40	6,9	1,282	40	13,2	38	1,1	2,4	4,5
34	7,18	13,8	755	755	0,75	4,71	21,5	3,6	117	12	3,413	36	18	91	1,3	- 0 ,6	-34,2
35	7,52	12,5	716	716	0,27	3,56	30,7	4,9	96,7	11,2	2,874	68	7,9	74	4,3	-6,6	-35,9
36	7,59	10,5	485	485	0,20	2,97	10,4	1,6	68,4	11,3	2,172	29,2	21,1	29	1,4	0,2	-16,5
37	7,45	10,9	667	667	0,32	3,39	20	3,6	102	7,5	2,854	39	14,9	96	1,6	-2,1	-20,8
38	8,08	7,4	237	264	0,025	1,46	6,31	1,64	40,1	3,05	1,126	9,52	13,7	31,7	1,9	0,2	-2,6
39	8,08	7,4	237	264	0,025	1,46	6,31	1,64	40,1	3,05	1,126	9,52	13,7	31,7	1,9	0,2	-2,91
40	6.96	10,5	1330	1330	1 75	4,470	18,0	4,0	219.7	20,0	6,963	34,0	40	317	1,0	-9,5	-42,7
42	6,96	10,0	1330	1330	1,75	6,1	18,5	2,0	219,7	36.0	6,963	18,5	40	317	0,4	-10,0	-66.3
43	6,96	10,0	1330	1330	1,75	6,1	18,5	2,0	219,7	36,0	6,963	18,5	40	317	0,4	-11,2	-69,3

 Tabelle A3-3 Übersicht Anlagen der Feldmessungen – Wasseranalytik



Gemeinsamer Schlussbericht - FKZ DVGW - W10/01/0

Anlage 8 – S. 3

"Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

Anlage 9 Ergebnisse der Migrationsuntersuchungen

Tabelle A4-1 Übersicht Kupfer

Cu-Gehalt in µg/I

		MESSWE	RTE	< Nachweise	grenze mit 0	,1 belegt	
					В -		
					Trinkwarmw		
Nr.		A- TW kalt			asser		
		S0	S1	S2	S0	S1	S2
		2000	2000	2000	2000	2000	2000
	1	140	680	650	550	640	560
	2	15	55	20	22	80	35
	3	2	86	9,3	34	163	45,4
	4	24,5	53,3	151	80,8	258	290
	5	3,4	8,3	4,7	11	16,4	13,4
	6	146	1580	179	221	2850	648
	7	12,7	201	127	143	142	122
	8	7,5	20,6	8,1	13,9	32,6	15
	9	0,1	2,2	0,1	0,1	0,1	0
	10	130	229	214	226	407	432
1	11	39	212	115	186	347	292
1	12	16	104	46	145	214	286
1	13	93	613	488	307	570	356
1	14	1310	1530	1560	1410	2000	1400
1	15	210	610	660	180	840	790
1	16	220	590	680	190	810	710
1	17	30	1710	1560	30	1660	1630
1	18	30	1770	1690	30	1770	1650
1	19				30	33	33
2	20	4,7	80,4	18,7	207	225	218
2	21	40,7	469	159	247	583	286
2	22	285	296	181	151	247	171
2	23	30,2	47,3	29,8	20,4	85,7	65,1
2	24	7,8	26,9	21,8	9	24,4	21
2	25	0,1	0,1	0,1	2,8	3,1	2,4
2	26	16,2	142	51	70,3	134	70,2
2	27	8,7	44,2	9,9	14,5	68	28,9
2	28	99,1	255	151	293	296	293
2	29	67,5	561	206	35,1	402	583
3	30	10,3	12,4	10,9	7,8	9,1	8,1
	31	13,4	20,4	12,1	37,5	39,5	35,2
	32	45	450	510	35	560	750
3	33	35	780	880	41	720	760
3	34	170	2910	2950	220	3050	3650
3	35	4,3	17,3	24,2	4,1	22,5	31,1
3	36	1,2	58	85	0,9	82	102
3	37	10	2040	2220	10	2310	2640
	38	0.1	5.4	3.7	10.3	16.7	12.6
	39	38.3	47.6	40.5	162	173	177
4	10	21 7	97 1	26.1	301	337	288
	11	440	738	489	1019	1041	1031
/	12	9.2	180	229	269	307	252
	13	78.4	355	107	130	196	133
		, 0, 4	555	107	1.57	. 70	100

Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/0

"Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"

Tabelle A4-2 Übersicht Nickel

Ni-Gehalt in µg/I

MESSWERTE < Nachweisgrenze mit 0,1 belegt							
					В -		
					Trinkwarmw		
Nr.		A- TW kalt			asser		
		S0	S1	S2	S0	S1	S2
		20	20	20	20	20	20
	1	0,1	3,8	0,1	0,1	11	0,1
	2	0,1	6,4	0,1	2,6	3,8	3,6
	3	0,1	8,7	0,1	0,1	18,9	0,1
	4	0,1	6,1	2,8	11,7	22,8	19,1
	5	2,3	11,3	2,8	9,7	35,1	15
	6	2,3	7,9	0,1	0,1	0,1	0,1
	7	0,1	0,1	0,1	0,1	2,2	0,1
	8	0,1	5,6	0,1	0,1	0,1	0,1
_	9	12,4	14,6	13,7	13,8	26,2	14
	11	0 1	, 0.1	5	0.1	7	0.1
	12	0,1	11	0 1	0,1	13	0,1
	13	0.92	23	5.4	11	19	11
	14	2 1	23	0.1	23	4.5	2.7
	15	1 1	8	3	1 2	48	17
	16	1.3	13	6	1,1	91	24
	17	1	9	5	1	48	10
	18	1	26	9	1.4	103	23
	19	-			3	8	6
	20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	21	0,1	0,1	0,1	4,7	12,6	13,9
	22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	24	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	26	0,1	0,1	0,1	3,7	12,8	5,9
	27	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	28	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	29	0,1	0,1	0,1	0,1	5,9	3,8
	30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	31	4,2	6,3	0,1	8,3	8,9	4,5
	32	0,9	6,5	1,5	0,8	33,4	11,5
	33	0,6	12,7	4,5	0,6	48,5	23,5
	34	0,8	6,5	1,1	1	7,1	2,1
	35	0,5	2,8	1,9	0,5	2,9	2,1
	36	0,7	14,7	2,3	0,6	14,5	4,8
	37	1,0	18,5	4,5	1,0	45,6	3,4
	38	0,1	2,9	0,1	2,4	5,6	5,4
	39	2,1	0,1	3,6	8,1	10,2	9,6
	40	0,1	0,1	0,1	0,1	3	25,7
	41	4,8	25,2	12	21,9	93,2	30,4
	42	19,3	49	60	7,3	13,5	26,3
	43	6,7	25,3	6,3	21,6	120	13,7

Tabelle A4-3 Übersicht Blei

Pb-Gehalt in µg/I

		MESSWE	RTE	< Nachweisgrenze mit 0,1 belegt			
					В -		
					Trinkwarmw		
Nr.		A- TW kalt			asser		
		S0	S1	S2	S0	S1	S2
	1	10	10	10	10	10	10
	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	, 8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	13	1,4	7,8	5,4	13	16	17
	14	1,6	1,8	1,1	2,2	2,8	2,3
	15	1,1	3	1,1	1,1	18	4
	16	1,1	3	1,1	1,3	18	9
	17	1,1	2	1,3	1,1	5	5
	18	1,2	6	1,3	1	14	8
	19				3	3	3
	20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	21	0,1	0,1	0,1	0,1	2,7	0,1
	22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	24	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	28	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	29	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	31	0,1	2,7	0,1	0,1	2,3	0,1
	32	0,5	3,3	1,5	0,5	13,7	5,4
	33	0,5	4,8	2,5	0,5	18,4	7,7
	34	1,2	18,4	2,9	1	23,5	7,3
	35	0,9	1,7	1,5	0,7	3,3	2,5
	36	1,1	5,5	0,5	1,3	16,5	4,3
	37	0,5	22,7	5,7	0,5	28,7	6,4
	38	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	39	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	40	0,1	0,1	0,1	0,1	4,4	2,8
	41	0,1	0,1	4,3	7,1	7,3	7
	42	5,9	37,6	0,1	10,2	7,5	6,2
	43	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

- Anlage 10 Feldmessungen Ausgewählte Grafiken zum Vergleich unterschiedlicher Bewertungsgrößen für die Migration von Kupfer, Nickel und Blei mit ausgewählten anderen Wasserparametern
- S. 02 bis 07 Grafiken Ergebnisse Kupfer
- S. 08 bis 13 Grafiken Ergebnisse Nickel
- S. 14 bis 19 Grafiken Ergebnisse Blei

KUPFER

















Nickel


















Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/0 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"







Gemeinsamer Schlussbericht – FKZ DVGW - W10/01/0 "Migration von Schwermetallen aus Bauteilen der Trinkwassererwärmung"



