

Ermittlung und Bilanzierung von Wasserverlusten

– Anwendung von Kennzahlen

Erwin Kober, Dipl.-Ing, RBS wave GmbH, e.kober@rbs-wave.de

Die Bilanzierung von Wassermengen im Rahmen einer Wassermengenbilanz stellt die Grundlage für die Bewertung der realen Wasserverluste und alle daraus abgeleiteten Maßnahmen zur Verlusterkennung und nachhaltigen Minimierung von Wasserverlusten dar.

Einleitung

Das DVGW Arbeitsblatt W 392 „Rohrnetzinspektion und Wasserverluste – Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen liefert die Grundlage für die Ermittlung und Bilanzierung von Wasserverlusten. Aufgrund neuer technischer Entwicklungen und der geplanten Berücksichtigung international üblicher Kennwerte wird das Arbeitsblatt aktuell neu überarbeitet.

Um die aktuellen Wasserverluste in einem Wasserversorgungsunternehmen qualifiziert beurteilen zu können, ist die Verwendung von national oder international gängigen Kennzahlen (DVGW, IWA) üblich. Diese Kennzahlen basieren auf einer aussagefähigen Wassermengenbilanz.

Bilanzierung von Wasserverlusten - Wassermengenbilanz

Die Überwachung bzw. das Monitoring von Volumenströmen dient der Erfassung und Bewertung des Netzzustands im Hinblick auf eine Verkürzung der Reaktions- und Reparaturzeiten bei Leckagen. Dazu gehört die Überwachung der Volumenströme (Zu-, Durch- und Abflüsse) insgesamt bzw. in Teilbereichen (Messzonen/District Metered Areas – DMAs). Eine solche Überwachung ist Voraussetzung einer aussagefähigen Wasserbilanz.

Bei der Wasserbilanz müssen die in der nachfolgenden Tabelle 1 beschriebenen Mengenbestandteile möglichst genau bestimmt werden, damit auf dieser Grundlage eine Bewertung des Wasserverlusts und die Festlegung von Maßnahmen zur Instandhaltung des Netzes nach DVGW W 400-3 (A) im Hinblick auf eine langfristige Minimierung des Wasserverlusts erfolgen kann.

Die Wasserbilanz sollte nach folgendem Muster jährlich (oder in kürzeren Zeiträumen) erstellt werden:

- Ermittlung der Netzeinspeisung Q_E
- Bestimmung der Netzaufgabe Q_A durch Ermittlung und Summierung der in Rechnung gestellten Netzaufgabe Q_{AR} und nicht in Rechnung gestellten Netzaufgabe Q_{AN}
- Bestimmung des gesamten (realen und scheinbaren) Wasserverlusts:
 $Q_V = Q_E - Q_A$ (1)
- Ermittlung des scheinbaren Wasserverlusts Q_{VS}
- Bestimmung des realen Wasserverlusts: $Q_{VR} = Q_V - Q_{VS}$ (2)

Tabelle 1: Wasserbilanz (Jahresmengen)

Netzein- speisung Q_E	Netzauf- gabe Q_A	in Rechnung gestellt: Q_{AR}	gemessen: Q_{ARG}	Verkaufte Wassermenge
			ungemessen: Q_{ARU}	
		nicht in Rech- nung gestellt: Q_{AN}	gemessen: Q_{ANG}	Nicht verkaufte Wassermenge
			ungemessen: Q_{ANU}	
	Wasser- verlust Q_V	scheinbar: Q_{VS}	Messfehler	
			Ablesefehler	
			Abgrenzungsfehler	
			Wasserdiebstahl	
		real: Q_{VR}	Behälter	
			Zubringerleitungen ^a	
			Hauptleitungen	
			Versorgungsleitungen	
			Anschlussleitungen	
			realer Hintergrundverlust Q_{VRH}	

^a sofern innerhalb der Bilanzgrenzen

Die nachfolgend dargestellte Abbildung zeigt eine beispielhafte Veranschaulichung der Wasserbilanz als Flussbild.

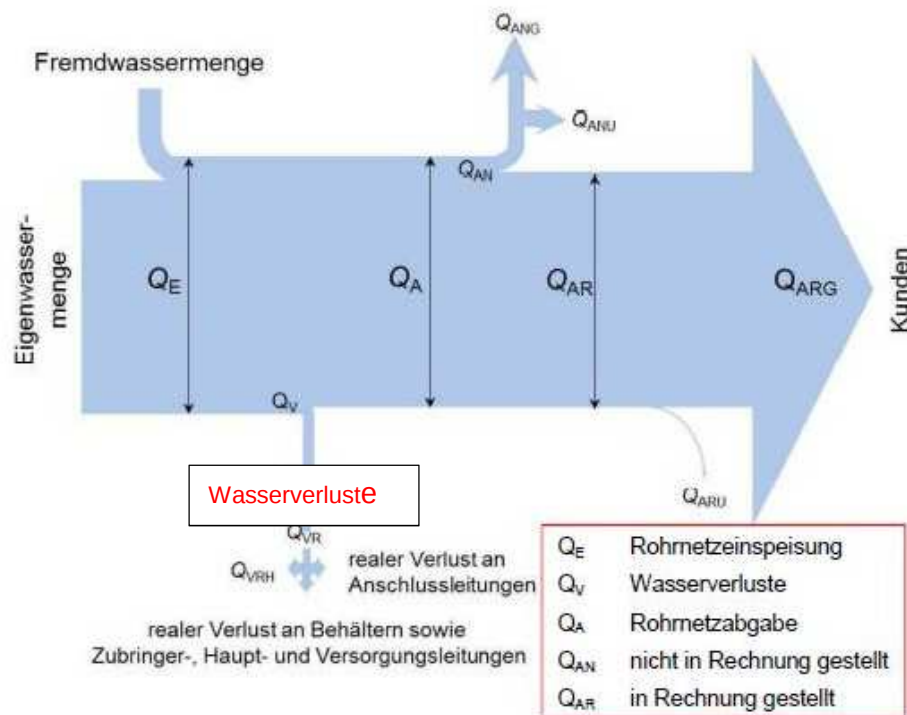


Abb.1: Flussbild Wasserbilanz

Bewertung wichtiger Bilanzpositionen

Netzeinspeisung Q_E

Die Netzeinspeisung Q_E ist die Summe aller eingespeisten Eigen- und Fremdwassermengen.

Netzabgabe Q_A

Die Netzabgabe Q_A setzt sich aus der in Rechnung gestellten Netzabgabe Q_{AR} und der nicht in Rechnung gestellten Netzabgabe Q_{AN} zusammen, wobei Mess-, Ablese- und Abgrenzungsfehler sowie Wasserdiebstahl gesondert betrachtet werden. Im Hinblick auf die nicht in Rechnung gestellte, gemessene Netzabgabe Q_{ANV} sowie die geschätzten Anteile von Q_{AR} und Q_{AN} (Q_{ARU} und Q_{ANU}) sollten insbesondere Wasserwerke, Hydranten- und Leitungsspülungen, Bewässerung von Grünflächen, Straßen- und Kanalreinigungen und Löschwasser genau betrachtet werden.

Scheinbarer Wasserverlust Q_{VS}

Mess-, Ablese- und Abgrenzungsfehler, die jeweils positiv wie negativ ausfallen können, sowie Wasserdiebstahl ergeben den scheinbaren Wasserverlust. Ein scheinbarer Wasserverlust über 0,5 % der Netzeinspeisung muss detailliert begründet werden. Im Sinne von Fehlervermeidung sind Zählanlagen sorgfältig zu bemessen (DVGW W 406 A). Sofern keine genauen Kenntnisse vorliegen ist davon auszugehen, dass die Summe der Ablesefehler Null ist.

Besonderer Augenmerk ist auf rollierende Abrechnungen und die Abgrenzung auf Bezugszeiträume zu legen (Jahresübergreifende Effekte).

Wasserdiebstahl

Hierbei handelt es sich um unautorisierte Wasserentnahmen (nicht abgerechnete Standrohre, Zählermanipulationen, illegale Entnahmen vor Zählern).

Realer Wasserverlust Q_{VR} und realer Hintergrundverlust Q_{VRH}

Der reale Wasserverlust Q_{VR} erfasst alle tatsächlichen Leckagen im Netz und an Behältern.

Als realer Hintergrundverlust Q_{VRH} wird der Teil des realen Wasserverlusts bezeichnet, der auf Leckagen beruht, die keinen Schäden am Netz bzw. an Behältern unmittelbar zugeordnet werden können und vor allem an mechanischen Verbindungen zwischen Rohrleitungsteilen und an Armaturen auftreten können.

Kennzahlen

Prozentualer Wasserverlust [1]

Weil der reale Wasserverlust in Prozent der Netzeinspeisung keine Infrastrukturmerkmale berücksichtigt, ist er für Vergleiche (Benchmarks) nicht geeignet. So führen bei gleichem absolutem Wasserverlust hohe Netzeinspeisungen (z. B. in Städten mit hohen spezifischen Netzaufgaben) zu niedrigen Prozentwerten, während geringe Netzeinspeisungen (z. B. in Landgemeinden mit niedrigen spezifischen Netzaufgaben) zu hohen Prozentwerten führen. In der Praxis werden häufig die gesamten Verluste anstelle der realen Verluste für die Berechnung der prozentualen Verluste verwendet.

Spezifischer realer Wasserverlust q_{VR} [2]

$$q_{VR} = Q_{VR} / (K \times L_N) \text{ [m}^3\text{/(h}\times\text{km)]} \quad (3)$$

Das Arbeitsblatt W 392:2003-05 basiert auf dem spezifischen realen Wasserverlust q_{VR} . Dieser Kennwert wird in den deutschsprachigen Ländern verwendet und berücksichtigt nur die Netzlänge während andere Netzparameter unberücksichtigt bleiben. Für die Bewertung wurde in der alten Ausgabe von W 392 zwischen ländlichen, städtischen und großstädtischen Strukturen unterschieden und in Abhängigkeit der realen Wasserverluste zwischen geringen, mittleren und hohen Wasserverlusten differenziert.

Das folgende Schaubild zeigt die Klassifizierung von Wasserverlusten nach W 392.

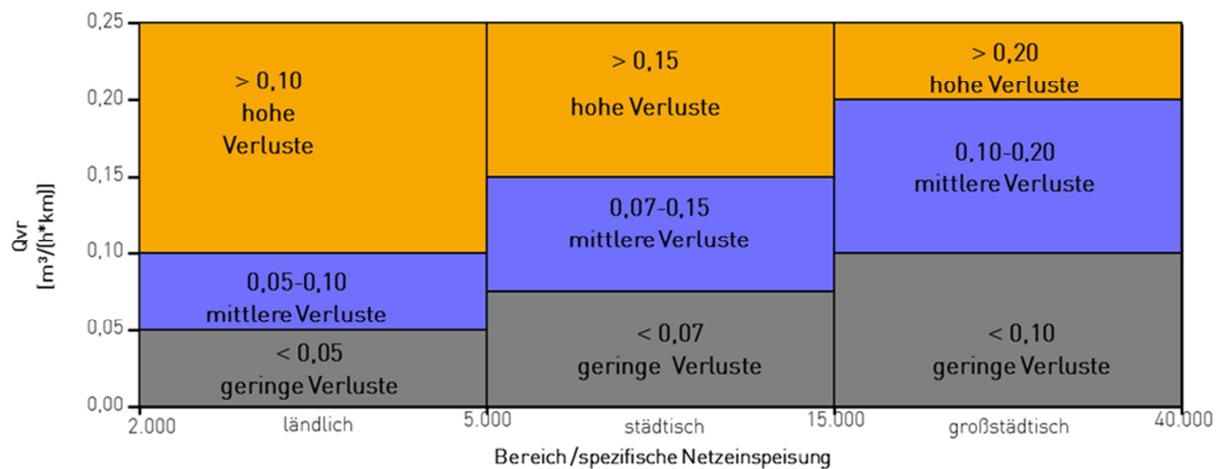


Abb. 2: Bewertung von Wasserverlusten nach W 392 (Ausgabe 2003)

Infrastructure Leakage Index ILI [3]

Die International Water Association (IWA) verwendet den „Infrastructure Leakage Index“ (ILI) als Kennzahl zur Beurteilung der Dichtheit von Netzen der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Hierbei werden die realen Verluste ins Verhältnis zu den unvermeidbaren Verlusten gesetzt.

Diese Kennzahl hat sich im internationalen Kontext etabliert, weshalb in der Neufassung des Arbeitsblatts W 392 eine Beziehung zwischen q_{VR} und ILI abgeleitet werden soll, so dass es dem Anwender überlassen bleibt, mit welcher Kennzahl er arbeiten möchte. Der ILI berücksichtigt neben der Länge der Haupt- und Versorgungsleitungen zusätzlich auch die Länge und Zahl der Anschlussleitungen, den durchschnittlichen Betriebsdruck sowie einen „unvermeidbaren jährlichen realen Verlust“.

Bei neuen oder rehabilitierten Netzen kann der auf internationalen Konventionen beruhende Minimumwert von $ILI = 1$ unterschritten werden.

$$ILI = CARL / UARL \quad (4)$$

Dabei ist

CARL Current Annual Real Loss („jährlicher realer Verlust“)

UARL Unavoidable Annual Real Loss („unvermeidbarer jährlicher realer Verlust“)

Der *CARL* wird wie folgt berechnet:

$$CARL = (Q_{VR} \times K_1) / (n_{AL} \times K_2) \quad [l/(d \times AL)] \quad (5)$$

Dabei ist:

Q_{VR} realer Wasserverlust in m^3/a

n_{AL} Zahl der Anschlussleitungen

K_1 1000 l/m^3

K_2 Zahl der Tage pro Jahr

Der $UARL$ wird wie folgt berechnet:

$$UARL = (18 \times L_N / n_{AL} + 0,8 + 0,025 \times I_{AL}) \times p \quad [l/(d \times AL)] \quad (6)$$

bzw. wenn Schäden rasch festgestellt werden können (z. B. optisch an der Geländeoberfläche oder durch eine entsprechend wirksame Überwachung):

$$UARL = (15,8 \times L_N / n_{AL} + 0,65 + 0,0185 \times I_{AL}) \times p \quad [l/(d \times AL)] \quad (7)$$

Dabei ist

L_N Netzlänge ohne Anschlussleitungen in km

n_{AL} Zahl der Anschlussleitungen

I_{AL} durchschnittliche Länge der Anschlussleitungen auf Privatgrund in m; I_{AL} wird als durchschnittliche Länge der Anschlussleitungen in der Entscheidungsbefugnis des Kunden bezüglich der Leitungserneuerung aufgefasst; hat ein Versorgungsunternehmen die Entscheidungsbefugnis über die gesamte Anschlussleitung, gilt $I_{AL} = 0$

p durchschnittlicher Betriebsdruck in mWS = 0,1 bar

Für den $UARL$ wird darüber hinaus angenommen:

$$UARL = ULL + UBL \quad (8)$$

Dabei ist

ULL Unavoidable Leakage Loss (unvermeidbarer Leckageverlust)

UBL Unavoidable Background Leakage (unvermeidbarer Hintergrundverlust)

Diese Aufteilung dient dazu, den realen Hintergrundverlust Q_{VRH} mit dem unvermeidbaren Hintergrundverlust UBL vergleichen zu können. Der ULL bezeichnet den Verlust, der insgesamt bei bemerkten Schäden auftritt, die anschließend beseitigt werden

Der UBL wird wie folgt berechnet:

$$UBL = (480 \times L_N / n_{AL} + 30 + 0,792 \times I_{AL}) \times (AZNP/50)N1 \quad [l/(d \times AL)] \quad (9)$$

Dabei ist

L_N , n_{AL} , I_{AL} wie oben in Gleichung (7)

AZNP Average Zone Night Pressure (durchschnittlicher Zonen-Nacht-Druck) in mWS = 0,1 bar (im Normalfall identisch mit p aus Gleichung (7))

N1 Potenz in Abhängigkeit von der Elastizität der Rohrleitungswerkstoffe (auf Basis eines Konzepts namens FAVAD – fixed and variable area discharges). Für Netze mit diversen Rohrleitungswerkstoffen wird üblicherweise $N1 = 1,0$ gesetzt, wonach UBL linear von $AZNP$ abhängt.

Für $ILI > 1,0$ ist die Differenz $CARL - UARL$ der reduzierbare Verlust, der wiederum die Summe aus vermeidbarem Verlust nach Schäden und vermeidbarem Hintergrundverlust $Q_{VRH} - UBL$ ist

Tabelle 2: Bewertung von Wasserverlusten nach IWA und ILI

ILI	Technical Performance Category	
1 – 2	A	Further loss reduction may be uneconomic unless there are shortages; careful analysis needed to identify cost effective improvement
2 – 4	B	Potential for marked improvements; consider pressure management; better active leakage control practices, and better network maintenance
4 – 8	C	Poor leakage record; tolerable only if water is plentiful and cheap; even then, analyze level and nature of leakage and intensify leakage reduction efforts
> 8	D	Horrendously inefficient use of resources; leakage reduction programs imperative and high priority

Die nachfolgend dargestellte Beispielrechnung (Tabelle 3) mit den Verbrauchsdaten eines realen Wasserversorgers zeigt die Bewertung der Wasserverluste unter Verwendung verschiedener Kennzahlen. In der Berechnung wurde der Jahresverbrauch des angeschlossenen Stahlerzeugungsbetriebs herausgerechnet um aufzuzeigen, dass die Verwendung des prozentualen Verlusts für eine Bewertung der Verlustsituation ungeeignet ist. In diesem Beispiel würde sich bei gleichbleibenden Parametern der prozentuale Wasserverlust bei Wegfall der Stahlproduktion deutlich verschlechtern. Dagegen bleiben die Kennzahlen spezifischer Wasserverlust und ILI hiervon unbeeinflusst bzw. nahezu unbeeinflusst. Das Beispiel zeigt ferner, dass der international übliche Bewertungsmaßstab des ILI für Deutschland in dem neuen Arbeitsblatt W 392 schärfer gefasst werden sollte.

Tabelle 3: Verlustbetrachtung mit unterschiedlichen Kennzahlen

	Kleinstadt mit Stahlerzeugung	Kleinstadt ohne Stahlerzeugung
Einwohner	11.700	11.700
Netzlänge [km]	80,0	80,0
Anzahl Hausanschlüsse	2.897	2.896
HA-Länge auf Privatgrund [km]	34,6	34,6
durchschnittl. Netzdruck [bar]	5,5	5,5
Rohrnetzeinspeisung [m ³ /a]	843.653	643.653
abgerechnete Verbrauchsmenge [m ³ /a]	755.570	555.750
unvermeidbare reale Verluste [m ³ /a]	87.903	87.903
prozentualer Verlust [%]	10,4	13,7
spezifische Rohrnetzeinspeisung [m ³ /km*a]	10.546	8.046
spezifische Wasserverluste [m ³ /km*h]	0,13	0,13
Verlustbereich nach q_{VR}	mittlere Verluste	mittlere Verluste
Infrastructure Leakage Index (ILI)	1,0	0.92
Verlustbereich nach ILI	gering	gering
Verbrauchsmenge Stahlerzeugung [m ³ /a]	200.000	

Überarbeitung des Arbeitsblatts W 392 - Ausblick

Bei der Überarbeitung des Arbeitsblatts W 392 hat sich gezeigt, dass die Einteilung des spezifischen Wasserverlusts nach Strukturbereichen in vielen Fällen nicht mehr zeitgemäß ist. Die Ursache liegt darin, dass durch signifikante Rückgänge des Wasserverbrauchs, dies gilt in besonderem Maß für ostdeutsche Städte und Kommunen, und durch spezifische Versorgungsverhältnisse bei kleineren und mittelgroßen Versorgern die definierten Grenzen nicht mehr passen (Abb.5:).

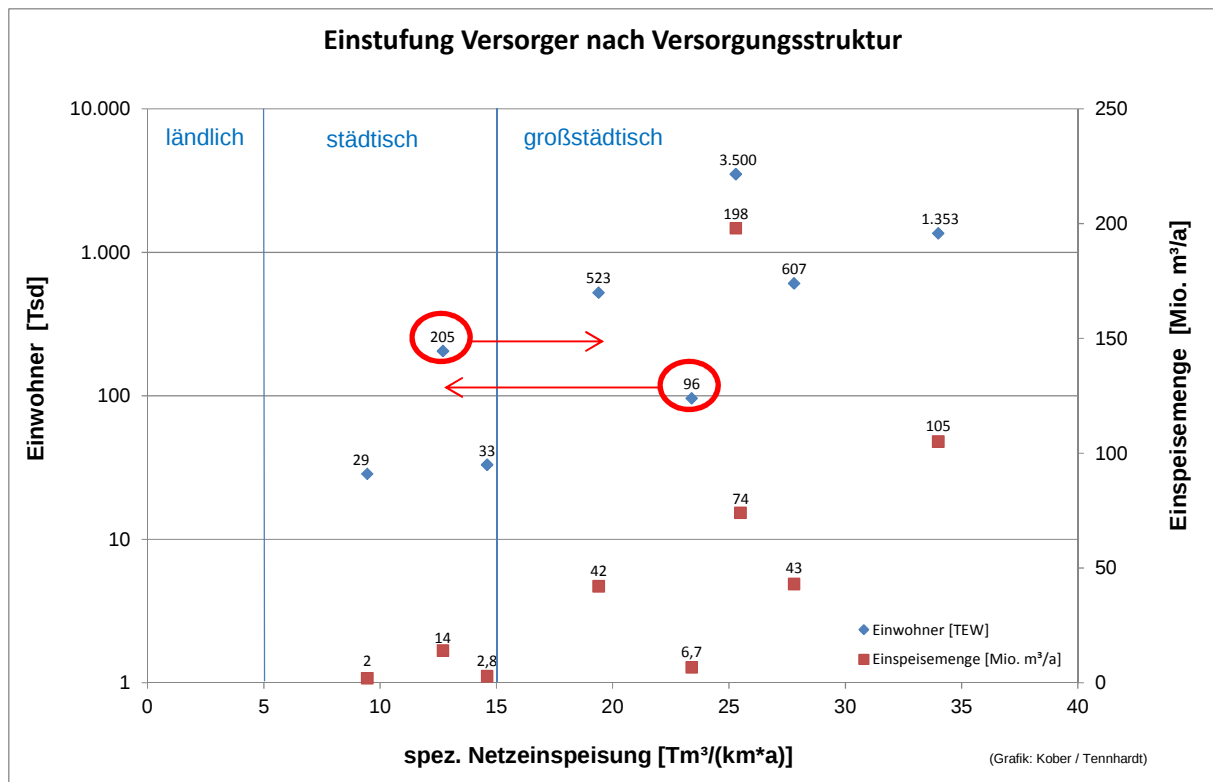


Abb.5: Einstufung Versorger nach Strukturbereichen

In der Grafik ist zu erkennen, dass eine ostdeutsche Großstadt mit über 200.000 Einwohnern aufgrund von starken Verbrauchsrückgängen in den Bereich städtisch fällt und im anderen Fall eine mittelgroße Stadt wegen hoher industrieller Wasserverbräuche in den Bereich großstädtisch fällt. Diese Beispiele zeigen, dass die starre Unterteilung in die drei Strukturbereiche nicht mehr haltbar ist. Gegenüber der Kennzahl ILI ist ein weiterer Nachteil der Klassifizierung entsprechend des spezifischen Wasserverlusts darin zu sehen, dass die Hausanschlusslänge und der Netzdruck nicht berücksichtigt werden obwohl beide Parameter nachweislich Einfluss auf die Höhe der Wasserverluste haben.

Ziel der Überarbeitung des Arbeitsblatts W 392 ist die Etablierung eines Bewertungsschemas, welches sowohl die Verwendung von spezifischen Wasserverlusten als auch des Infrastructure Leakage Index zulässt und hierbei die beiden Kennwerte unter Verwendung einer breiten Datenbasis in einen mathematischen Zusammenhang bringt.

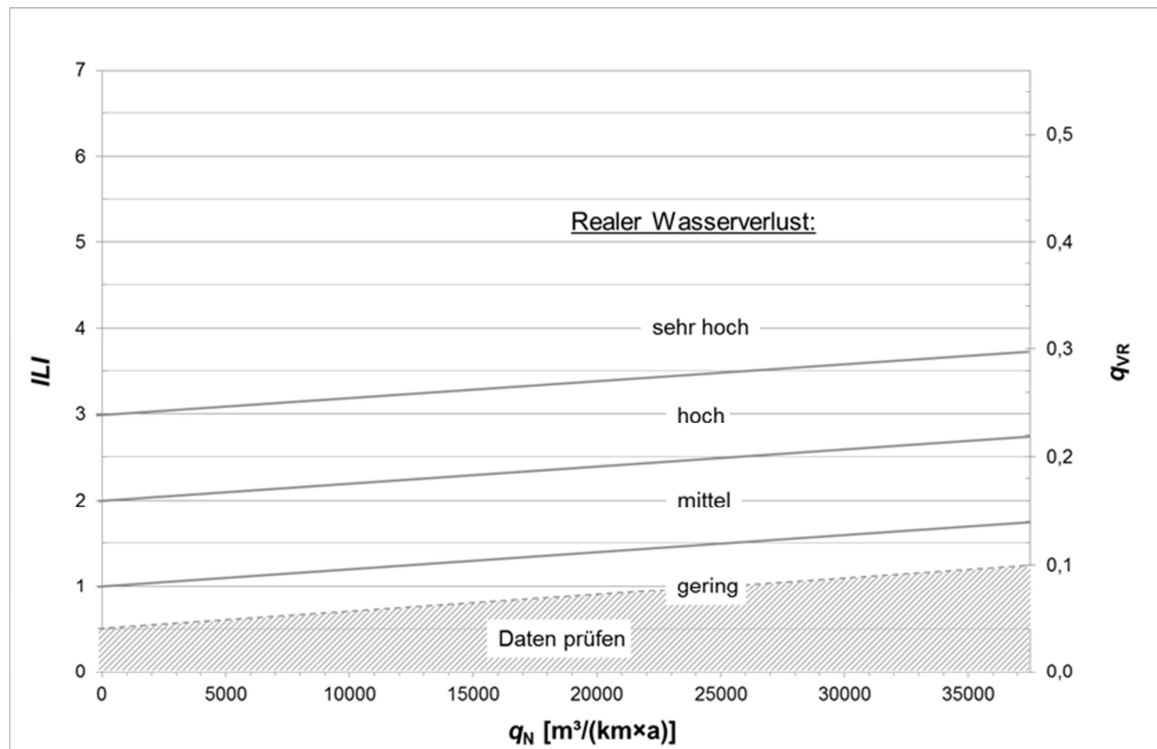


Abb.6: Grafisches Bewertungsschema für q_{VR} und ILI nach DVGW W392 neu (akt. Arbeitsstand)

Mit der vorgestellten Methodik können auf einfache Weise die spezifischen Wasserverluste und/oder der ILI berechnet und der Verlustbereich grafisch bewertet werden. Die Zuordnung der beiden Kennwerte zur spezifischen Netzeinspeisung (Abszisse) wurde deshalb beibehalten, weil es eine Korrelation von spezifischer Netzeinspeisung bzw. Hausanschlussdichte und spezifischem Wasserverlust gibt. Dieser Zusammenhang ist in die Berechnungslogik des ILI eingegangen. Im Vergleich zur Bewertungstabelle nach IWA wurden die ILI-Werte deutlich nach unten angepasst um dem im internationalen Vergleich guten Netzzustand in Deutschland Rechnung zu tragen. Bei kleinen ILI-Werten wird eine Datenprüfung empfohlen.

Erkennung von Wasserverlusten

Die Anwendung von Kennzahlen und die Erstellung einer Wasserbilanz sollte mindestens einmal jährlich erfolgen um einerseits Verluste bewerten und andererseits die Strategie und Maßnahmen zur Verlustbekämpfung festlegen zu können. Insofern kann eine Wasserbilanz mit einer mehr oder minder großen zeitlichen Verzögerung einer stattgefundenen Entwicklung nur einen Zustand bewerten, ohne dass auf eine sich real ergebende Verlustentwicklung zeitnah reagiert werden konnte. Der entscheidende Parameter in der Verlustreduzierung ist die Verkürzung der Laufzeit einer Leckage, die beschrieben wird als die Zeit zwischen Auftreten, Erkennen und Reparatur einer Leckage.

Einrichtung von Messzonen

Die International Water Association (IWA) schlägt im Sinne einer besseren Verlustüberwachung vor, das Verteilungsnetz in sogenannte Messzonen (district metered areas – DMA) zu unterteilen.

Dabei werden Netzbereiche die bisher versorgungstechnisch verbunden waren, durch Schließen von Absperrorganen hydraulisch getrennt. Nur über definierte Rohrleitungen, die mit Durchflussmessgeräten versehen sind, erfolgt ein Wasseraustausch zwischen den einzelnen Messzonen.

Der Vorteil einer hydraulisch abgetrennten Messzone liegt in der einfachen Erfassung und Zuordnung von Durchflüssen über entsprechende Messeinrichtungen. Bei einem dauerhaften Anstieg der Minimaldurchflüsse (Nachtminimumwerte) kann leicht auf eine neue oder größer gewordene Leckage geschlossen und der Leckvolumenstrom quantifiziert werden.

Die Messzonen sollten nach IWA nicht zu groß sein und zwischen 500 bis 3.000 Hausanschlüsse aufweisen. Wenn eine Messzone (DMA) zu groß ist, können Durchflussveränderungen, die auf einer Leckage basieren, nicht mehr zuverlässig erkannt werden. Mit ansteigenden Einspeisevolumenströmen nimmt die Wahrscheinlichkeit der Erkennung von Leckagen ab.

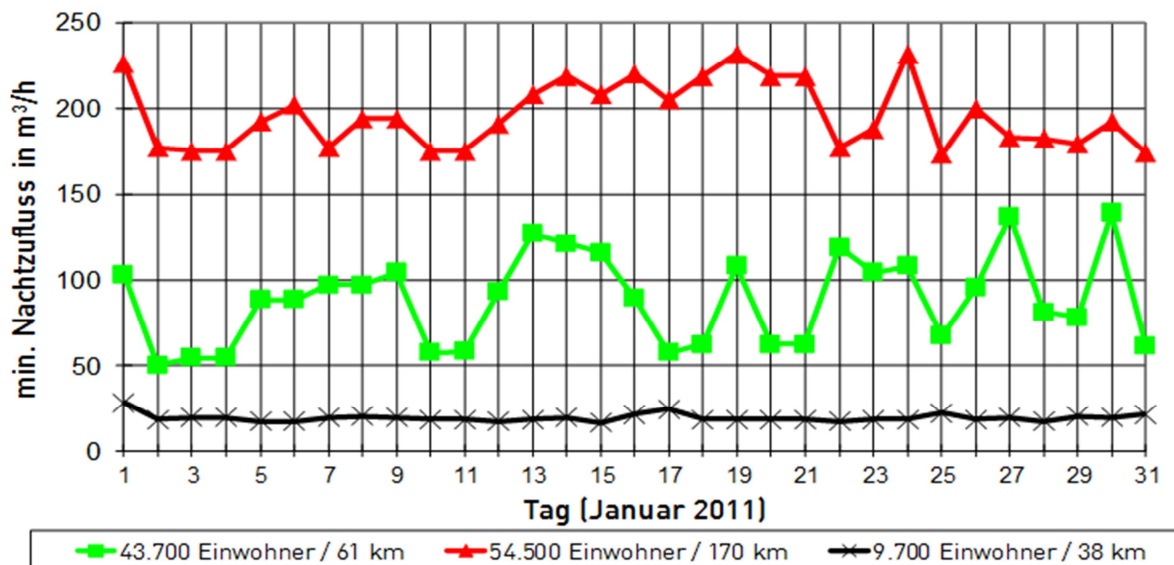


Abb. 7: Ganglinien unterschiedlich großer Zonen (Messzonen)

Die Planung einer Messzone orientiert sich an folgenden Kriterien:

- Ist-Zustand in Bezug auf Verlust- und Schadensraten, Bestands- und Altersstruktur
- Netztopologie (Vermaschung, Fließ-/Verbrauchsverhältnisse, Druckniveau, Netzlänge etc.) und Versorgungsstruktur (Anschlusszahl/-dichte)
- Bilanzierbarkeit der Einspeisungen
- Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit stationärer oder mobiler Durchflussmesseinrichtungen
- geringe Schwankungsbreite der Minimalzuflüsse durch Festlegung der Netzlänge (in der Regel bis zu 20 km). Größere Messzonen können in Abhängigkeit von den vorhergenannten Punkten geplant werden

Ein wesentlicher Nachteil von Messzonen (DMA) ist in der hydraulischen Beeinflussung der Leistungsfähigkeit des Netzes infolge von Schieberschließungen zu sehen, die sich insbesondere bei kritischen Versorgungssituationen, wie bei einem Brandfall oder der Nichtverfügbarkeit einer Hauptleitung, ergeben können. Nachteilig ist auch die Entstehung von Endsträngen oder Leitungsabschnitten mit ungenügender Durchströmung zu sehen, die zu Hygieneproblemen führen können.

Ferner ist festzustellen, dass die Einrichtung statischer Messzonen wegen der erforderlichen Installation von Armaturen und Umbauarbeiten, zur Vermeidung von Ringschlüssen und Endsträngen, in der Regel kostenintensiv ist.

Wegen der genannten technischen und wirtschaftlichen Nachteile, verzichten insbesondere mittelgroße und große Wasserversorger auf eine statische hydraulische Unterteilung der in der Regel stark vermaschten Verteilungsnetze in Messzonen (DMA).

Damit diese Unternehmen nicht auf die Vorteile eines Wasserverlustmonitoring verzichten müssen, wurde ein Lösungsansatz auf Basis virtueller Messzonen entwickelt. Dessen Grundlagen basieren auf einem sogenannten Messkonzept, bei dem eine ausreichende Zahl von Durchflussmessstellen im Verteilungsnetz so angeordnet wird, dass sich Verlustentwicklungen sicher erkennen lassen.

Hierbei werden in der Konzeptionsphase zunächst die vorhandenen Siedlungsstrukturen (Hauptstraßen, Bahnlinien, Bachkreuzungen) dahingehend untersucht, ob Messgeräte so platziert werden können, dass eine differenzierte Bilanzierung einzelner Zonenbereiche ohne Schieberschließungen möglich ist. In einem zweiten Schritt wird das Wasserverlustmonitoring in Netzbereichen mit hoher Vermaschung in Form von sogenannten virtuellen Messzonen geplant. In diesen werden nur die hydraulisch relevanten Leitungen überwacht; dagegen bleiben kleinere und betrieblich weniger bedeutende Leitungen unbeachtet und ohne Überwachung. Hierbei bietet die Verwendung von Sensoren auf Basis der Ultraschall-Durchflussmessung eine kostengünstige Möglichkeit vorhandene Netze

nachzurüsten (z.B. System LeakControl). Die Festlegung der Messstellen für eine virtuelle Messzone kann softwaregestützt über die Simulation der relevanten Betriebszustände erfolgen.

Die Überwachung von Netzen über Messzonen ist als sogenannte Vorortung zu verstehen um Leckagen zeitnah und ohne nennenswerten Personal- und Zeiteinsatz einem mehr oder minder geografisch großen Netzgebiet zuordnen zu können. Die Feindortung selbst erfolgt mittels der bewährten akustischen Verfahren wie Geräuschüberwachung und Korrelation. Einige Unternehmen setzen auch auf eine flächendeckende Überwachung mit Geräuschloggern und verzichten auf die Einrichtung von Messzonen. Allerdings ist die Auffindbarkeit von Leckagen in Kunststoffleitungen mit akustischen Verfahren stark eingeschränkt.

Resümee

Die Grundlage für die Bewertung von Wasserverlusten stellt die Wasserbilanz dar. Die Vorgehensweise zur Erkennung und Bewertung von Wasserverlusten ist im DVGW Arbeitsblatt W 392 (Entwurfsfassung) detailliert beschrieben. In diesem ist ein neues Bewertungsschema sowohl für den spezifischen Wasserverlust als auch den Infrastructure Leakage Index beschrieben. Damit ist es den Wasserversorgungsunternehmen möglich sich auch international vergleichen zu können.

Das vorgestellte Verlustmonitoring liefert einen zeitgemäßen Ansatz zur nachhaltigen und kostengünstigen Überwachung von Verteilnetzen.

Literatur

DVGW W 392: Rohrnetzinspektion und Wasserverluste – Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen.
DVGW, Bonn

DVGW W 392 (A): Wasserverlust in Rohrnetzen – Ermittlung, Überwachung, Bewertung, Kennzahlen, Wasserbilanz

DVGW W 400-3-B1 (A): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung - Beiblatt 1: Inspektion und Wartung von Ortsnetzen

Gangl, G.; Kober, E.; Fischer, J. (2012): Virtual DMA, Bluefacts 2012, Publikation zur IFAT ENTSORGA 2012, wwgw, Bonn, 2012

Morrison, J.; Tooms, S.; Rogers, D. (2007): District Metered Areas Guidance Notes. Draft 2/2007 - Version 1, www.iwaom.org/wlrf

DVGW Dr. Tenhardt, L.: Realistische Bilanzierbarkeit von Wasserverlusten und die Anwendbarkeit von Wasserverlustkennzahlen, energie I wasser-praxis Tagungsband 2012 Gas- und Wasserfachliche Aussprachetagung

Kober, E. (2012): Integrated Asset Management as basis for sustainable Water Loss Reduction, IWA Conference Water Loss 2012, Manila