



WHITEPAPER: DRUCKMANAGEMENT

DURCH DRUCKMANAGEMENT WASSER, ENERGIE UND KOSTEN SPAREN

DEMAND DRIVEN DISTRIBUTION VON GRUNDFOS REDUZIERT WASSERVERLUSTE, ERHÖHT DIE ENERGIEEFFIZIENZ UND SPART BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN.

DURCHSCHNITTSWERTE BASIEREND AUF ABGESCHLOSSENEN PROJEKTEN SEIT 2014

15 %
WENIGER
LECKAGEN

25 %
ENERGIE-
EINSPARUNGEN

35 %
WENIGER
ROHRBRÜCHE

GRUNDFOS ISOLUTIONS



Inhaltsverzeichnis

Einführung	2
Kurzer geschichtlicher Rückblick	3
Problem 1: Leckage-Anteil an den gesamten Wasserverlusten	5
Problem 2: Energieeffizienz	6
Problem 3: Betriebs- und Wartungskosten	7
Vorteile des Ressourcenmanagements für Kunden und Gemeinden	9
Chancen und Lösungen	10
Probleme mithilfe des Druckmanagements lösen	12
Referenzen	14

Von Marco Fantozzi
(Studio Marco Fantozzi, Italien)

Mitwirkende:
Allan Lambert (Water Loss Research & Analysis, UK),
Carsten Skovmose Kallesøe, Abdul-Sattar Hassan,
Danny Stærk, Sune Lieknins Neve,
Morten Riis (Grundfos Holding A/S, Dänemark)

VORWORT

Das Druckmanagement hat sich als wirksames Instrument zum Verringern von Wasserverlusten durch Leckagen, zum Verbessern der Energieeffizienz sowie zum Senken der Betriebs- und Wartungskosten erwiesen. In diesem Artikel wird untersucht, welche Vorteile das Druckmanagement für die Bewältigung dieser drei Probleme bietet, zumal die Prognosemodelle für die Häufigkeit von Rohrbrüchen heutzutage noch genauer sind. Neuste Forschungsergebnisse zeigen, dass der größte Vorteil des Druckmanagements voraussichtlich die verlängerte Lebensdauer der Komponenten sein wird.

Eine wichtige Frage, die sich viele Gemeinden stellen, ist, was man gegen die hohen Wasserverluste tun kann. Zwar ist nicht jeder Wasserverlust auf eine Leckage zurückzuführen. Dennoch führt ein ineffizientes Druckmanagement in Verteilungssystemen nachweislich zu vermehrten Lecks und Rohrbrüchen sowie zu anderen nachteiligen Folgen wie z. B. einer verkürzten Lebensdauer der Infrastruktur.

Wasserknappheit und Wasserqualität sind mittlerweile auch für die breite Öffentlichkeit ein Anlass zur Sorge geworden. Beide Probleme behindern weltweit das Wachstum in Städten und Ländern. Darüber hinaus ist Energie für die meisten Wasserunternehmen der höchste Betriebskostenpunkt nach Löhnen und Gehältern.

Interessengruppen suchen daher nach neuen und effizienten Lösungen, Technologien und Ansätzen, um das Wasserressourcen- und Verteilungsmanagement zu verbessern, sodass die Wasserwirtschaft, die das Wasser aufbereitet und transportiert, erwartungsgemäß rasch wachsen wird.

Viele Wasserversorgungsunternehmen haben jedoch nach wie vor Probleme damit, überzeugende Geschäftsmodelle zu erstellen, um alternde und ineffiziente Verteilungsnetze zu ersetzen und zu erneuern. Zugleich mangelt es weiterhin an Regulierungsmaßnahmen, die kostenbewusste Initiativen belohnen, mit denen das Management von Wassernetzen verbessert und modernisiert werden kann.

Das **Druckmanagement** verfügt über großes Potenzial, die Effizienz zu verbessern und der Wasserknappheit entgegenzuwirken. Tatsächlich wird das Druckmanagement inzwischen als Grundlage für ein optimales Management von Wasserversorgungs- und

Verteilungssystemen anerkannt. Zu den nachgewiesenen Vorteilen des Druckmanagements in Verteilungssystemen zählen nicht nur Wassereinsparungen durch geringere Leckageraten. Die geringere Anzahl an Rohrbrüchen und Lecks bringt auch für die Wasserversorger und die Verbraucher weitere Vorteile mit sich.

Dazu gehören zum Beispiel geringere Reparatur- und Instandsetzungskosten, niedrigere Haftungskosten, weniger negative Medienberichte, geringere Kosten für die aktive Vorbeugung von Leckagen, erst später nötige Erneuerung der Infrastruktur sowie eine verlängerte Lebensdauer der Leitungsnetze und Versorgungsanschlüsse. Weitere Vorteile sind, dass auf Kundenseite weniger Probleme bei den Versorgungsanschlüssen und Rohrleitungen auftreten, was zu weniger Kundenbeschwerden führt.

Der **allgemeine Zweck dieses Artikels** besteht darin, die Vorteile des Druckmanagements zu erläutern und aufzuzeigen, wenn es auf Grundlage von modernen Tools und Technologien sowie der neuesten Forschungsergebnisse und bewährten Verfahren umgesetzt wird, die vom Druckmanagement-Team der IWA Water Loss Specialist Group entwickelt wurden.

In Bezug auf die Umsetzung des Druckmanagements werden insbesondere drei Aspekte angesprochen, in denen es Vorteile bietet: **Wasserverluste**, **Energieeffizienz** sowie **Betriebs- und Wartungskosten**. Darüber hinaus werden die neuesten Forschungsergebnisse in Bezug auf die Vorteile des Druckmanagements sowie die Frage erläutert, wie Wasserversorger von einer Umsetzung des Druckmanagements in großem Maßstab profitieren können.

WAS VERSTEHEN WIR UNTER DRUCKMANAGEMENT?

Druckmanagement kann wie folgt definiert werden: **„Die optimale Regelung des Systemdrucks, um eine ausreichende und effiziente Versorgung rechtmäßiger Nutzer und Verbraucher zu gewährleisten und gleichzeitig unnötig oder übermäßig hohen Druck zu reduzieren, wodurch Druckspitzen und eine fehlerhafte Füllstandsregelung vermieden werden, die andernfalls zu Leckagen führen können.“**

Definition durch das Druckmanagement-Team der Water Loss Specialist Group der International Water Association (IWA)

KURZER GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK

In den letzten Jahren ist das Druckmanagement in Trinkwasserverteilungssystemen zunehmend in den Fokus gerückt. Denn Länder und Wasserversorger beginnen, die vielen Vorteile zu erkennen, die damit verbunden sind. Was hat dieses Interesse geweckt?

Tests mit japanischen und britischen Verteilungssystemen aus dem Jahr 1980 zeigten ein in etwa durchschnittliches Verhältnis zwischen Druck und Leckagerate, das jedoch über der theoretischen Quadratwurzelbeziehung zwischen dem Druck und der Austrittsgeschwindigkeit durch ein Leck mit fester Größe lag. Dies liegt daran, dass sich die Öffnungsgröße bei einigen Lecktypen ebenfalls mit steigendem Druck ändert.

2003 begann das Druckmanagement-Team der IWA Water Loss Task Force (jetzt die Water Loss Specialist Group, WLSG), eigene Forschungsergebnisse und Empfehlungen zusammenzustellen, zu veröffentlichen und die Wasserversorger zu ermutigen, Fallstudien auf internationalen Wasserverlust-Symposien vorzulegen. Das FAVAD-Konzept (Austritte mit fester und variabler Größe) wird als bewährtes Verfahren empfohlen, um das Verhältnis von Druck zu Leckagerate zu prognostizieren, und ist heute weltweit verbreitet.

Die Fallstudien, die eine Verringerung von Rohrbrüchen infolge des Druckmanagements zeigten, waren noch nicht sehr bekannt geworden. Es war auch keine übliche Praxis bei Wasserversorgern, die Häufigkeit von Rohrbrüchen mit dem Druck in Verbindung zu bringen, selbst wenn es nationale Rohrbruch-Statistiken für verschiedene Rohrmaterialien gab. Dementsprechend waren nur wenige Fachleute der Ansicht, dass das Druckmanagement, im Gegensatz zur Vermeidung von Druckspitzen, die Häufigkeit von Rohrbrüchen beeinflussen kann. Diese Denkweise änderte sich, als Thornton und Lambert (2006, 2007) 112 Datensätze aus 10 Ländern veröffentlichten. Diese zeigten meist eine deutliche Verringerung der Häufigkeiten von Rohrbrüchen infolge des Druckmanagements. Darüber hinaus bot ihre Publikation folgende nützliche Hilfsmittel:

- ein allgemeines Erklärungskonzept („Der Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt“)
- einfache und praktische Methoden zur Zoneneinteilung mit gutem Potenzial zur Vermeidung von Rohrbrüchen in Leitungsnetzen und/oder Versorgungsleitungen

Leck mit fester Größe: Leckagen in Rohren aus Gusseisen verhalten sich wie Lecks mit fester Größe. Bei einem solchen Leck hängt die Leckagerate wie folgt vom Druck ab: $q = K p^n$ mit $n = 0,5$.

Lecks mit einer druckabhängigen Größe: Bei Lecks mit einer druckabhängigen Größe vergrößert sich das Leck im Rohr mit steigendem Druck. Das bedeutet, dass die Leckagerate unter Druck schneller zunimmt als bei einem Leck mit fester Größe. Bei einem solchen Leck hängt die Leckagerate wie folgt vom Druck ab: $q = K p^n$ mit $n = 0,5$. In einem Netz mit verschiedenen Rohrtypen ist ein n -Wert um 1 normalerweise eine gute Wahl (Lambert, 2000).

Die Aussicht auf geringere Reparatur- und Folgekosten bei Rohrbrüchen sowie das Potenzial für ein verbessertes Asset-Management haben das internationale Interesse am Druckmanagement verstärkt. Hunderte von Druckmanagementsystemen wurden weltweit seit 2007 eingeführt. Wenn heutzutage Fallstudien auf Konferenzen vorgestellt oder veröffentlicht werden, sind die folgenden Vorteile weithin als Folge des Druckmanagements anerkannt:

- geringere Leckagerate
- mögliche Reduktion der Häufigkeit von Rohrbrüchen in Leitungsnetzen und an Versorgungsanschlüssen
- Verlängerung der Lebensdauer

Heute wird anerkannt, dass das Druckmanagement viele Vorteile bietet.

Wasserversorger, die die Investition in das Druckmanagement rechtfertigen möchten, müssen diese Vorteile je nach Situation prognostizieren können. Die neuesten Forschungsergebnisse zum Verständnis und zur Prognose des Verhältnisses von Druck zu Rohrbrüchen werden bei Lambert, Fantozzi und

Thornton (2013) zusammengefasst. Einige Beispiele werden hier aufgeführt. Weitere Einzelheiten finden Sie in einer Reihe von Veröffentlichungen, die auf www.leakssuite.com verfügbar sind.

Zu den weiteren Vorteilen des Druckmanagements zählen geringere Kosten für die aktive Vermeidung von Leckagen sowie ein verbesserter Service für die Kunden durch weniger Versorgungsunterbrechungen. Das Druckmanagement wird jetzt nicht nur zum Vermeiden von Lecks eingesetzt, sondern auch für das Bedarfsmanagement, die Vermeidung von Wasserverschwendung und das Asset-Management.

Abbildung 1 zeigt die neueste Version eines Aufbaus, der erstmals bei einem australischen Forschungsprojekt verwendet wurde (Water Services Association of Australia, Asset Management Project PPS-3, 2008-11 2011). Zuletzt wurde er um eine „Energiekomponente“ (Fantozzi et al., 2013) ergänzt, die die verschiedenen Vorteile des Druckmanagements zusammenfasst.

Die in der Tabelle dargestellten Vorteile des Druckmanagements können in drei Hauptkategorien eingeteilt werden: **Leckage, Energieeffizienz** sowie **Betriebs- und Wartungskosten**. Diese drei Punkte werden im Folgenden angesprochen.










DRUCKMANAGEMENT: REDUZIERUNG VON ÜBERDURCHSCHNITTLICHEM UND MAXIMALEM DRUCK								
WENIGER WASSERVERSCHWENDUNG			VORTEILE FÜR WASSERVERSORGER			VORTEILE FÜR KUNDEN		
GERINGERE FÖRDERMENGEN			GERINGERE HÄUFIGKEIT VON ROHRBRÜCHEN UND LECKS					
Weniger Verschwendung oder unerwünschter Verbrauch	Geringere Fördermengen bei Lecks und Rohrbrüchen	Geringerer und effizienterer Einsatz von Energie	Geringere Reparatur- und Instandhaltungskosten für das Netz und die Anschlüsse	Geringere Haftungskosten und weniger negative Medienberichte	Erst später nötige Erneuerung sowie verlängerte Lebensdauer	Geringere Kosten für die aktive Vermeidung von Leckagen	Weniger Kundenbeschwerden	Weniger Probleme mit Rohrleitungen und Anlagen beim Kunden
								

Abbildung 1: Die zahlreichen Vorteile des Druckmanagements

PROBLEM 1: LECKAGE-ANTEIL AM GESAMTEN WASSERVERLUST

Wasser, das zwar in die Leitungen eingespeist wird, aber nicht beim Verbraucher ankommt und damit auch nicht bezahlt wird, nennt man auch „Non-Revenue Water“. Diese Wasserverluste können, wenn sie vermehrt auftreten, den Wasserversorgern einen ernsthaften finanziellen Schaden zufügen, da ihnen dadurch Einnahmen entgehen und die Betriebskosten steigen.

Die weltweit verursachten Gesamtkosten, die Wasserversorgern durch Wasserverluste entstehen, werden von der Abteilung Energie und Wasser der World Bank Group (2006) vorsichtig auf 14 Milliarden USD pro Jahr geschätzt, ein Drittel davon in Entwicklungsländern.

Wasserverluste umfassen auch einen nicht abgerechneten, genehmigten Verbrauch (Brandbekämpfung, Flutung und dergleichen) sowie offensichtliche Verluste (fehlerhafte Messungen bei Verbrauchern und unberechtigter Verbrauch). Beides stellt einen Wasserverbrauch dar, der nicht bezahlt wird und nur geringfügig über das Druckmanagement beeinflusst werden kann. Der verbleibende Anteil am gesamten Wasserverlust – Leckagen und Überläufe aus Wasserversorgungs- und Verteilungssystemen – stellt eine Ressourcenverschwendung dar, die durch das Druckmanagement oft erheblich reduziert werden kann.

Der Leckage-Anteil am gesamten Wasserverlust variiert von 95 bis 50 %. Der genaue Wert hängt von den offensichtlichen Verlusten aufgrund von fehlerhaften Messungen bei Verbrauchern und unberechtigtem Verbrauch ab. Bei Anlagen, bei denen Kunden Speichertanks besitzen, ist er am größten.

Im Durchschnitt variieren die individuellen Leckagerate in einem linearen Verhältnis zum durchschnittlichen Zonendruck. Da das Druckmanagement sowohl die Häufigkeit als auch die Menge von Leckagen verringert, reduziert es auch die Kosten für die Produktion und/oder den Einkauf von Wasser sowie für den Energieverbrauch zum Fördern und Aufbereiten von Wasser für die

Die beste langfristige Lösung besteht darin, Systeme so zu konzipieren, dass sie kontinuierlich mit moderatem Druck arbeiten. (Pearson und Lambert, 2013)

Verteilung. Intelligente Pumpenlösungen und der Einsatz fortschrittlicher Druckreduzierventile können bereits erhebliche Verbesserungen erzielen. Beim Bestimmen der Komponenten im Verteilungssystem, die am meisten vom Druckmanagement profitieren, muss dennoch sehr sorgfältig vorgegangen werden. Gleiches gilt für die Wahl der am besten geeigneten Art des Druckmanagements.

PROBLEM 2: ENERGIEEFFIZIENZ

Die verschiedenen Schritte der Wasseraufbereitung und -versorgung verbrauchen in einem Wasserversorgungssystem viel Energie. Dazu gehören die Wasserentnahme, die Aufbereitungsprozesse und die Pumpstationen im Netz.

Bei den meisten Wasserunternehmen besteht der höchste Betriebskostenpunkt aus den Löhnen und Gehältern. Nach Angaben des US-Umweltbundesamtes (Environmental Protection Agency, EPA) benötigen Wasser- und Abwassersysteme jährlich rund 4 Milliarden USD, um Wasser zu fördern, zu liefern, zu sammeln, aufzubereiten und zu reinigen. Die EPA und andere Experten sagen voraus, dass der Energieverbrauch der Wasserversorgungs- und Abwasserunternehmen in den nächsten 15 Jahren um mehr als 20 % steigen wird. Zudem fallen etwa 90 % der bei der Wasserverteilung verbrauchten Energie auf die Pumpenanlagen.

Die Energiekosten können in großen Wassernetzen 80 bis 90 % der gesamten Lebenszykluskosten einer Pumpstation ausmachen (DOE et al., 2001; Abelin et

al., 2006; HI&PSM, 2008; Veness, 2007). Das Einsparen von Energie bietet eine gute Gelegenheit, die Kosten für den Betrieb von Wasserpumpenanlagen erheblich zu senken, insbesondere im Hinblick auf den erwarteten Anstieg der Energiepreise (EUROSTAT, 2009).

In Anbetracht dessen ist klar, dass die Entwicklung und Umsetzung von Lösungen, die den Verbrauch und die Energiekosten erheblich reduzieren können, der richtige Ansatz für ein effizientes Management von Wasserverteilungssystemen ist. In der Vergangenheit und auch heute sind die Regelfunktionen in den meisten Wasser-Managementsystemen darauf ausgerichtet, betriebliche Einschränkungen und Bedarfsschwankungen erfolgreich zu bewältigen, ohne dabei die Nachteile eines zu hohen Drucks im Netz zu berücksichtigen. Dies ist jedoch vor allem auf das Fehlen geeigneter Technologien zurückzuführen, die die Kosten berücksichtigen, sowie auf unzureichendes Wissen über die Folgen und Kosten, die mit einem unnötigen Überdruck im Netz verbunden sind.

DAS DRUCKMANAGEMENT HAT MESSBARE VORTEILE ERGEBEN

Grundfos verfügt über umfassende Erfahrungen im Druckmanagement mit der unternehmenseigenen Lösung „Demand Driven Distribution“. In den folgenden drei Fallbeispielen wird das Energieeinsparpotenzial durch das Druckmanagement mithilfe von Demand Driven Distribution demonstriert. Die Lösung verdeutlicht dabei die Vorteile des Regelungsansatzes. Die Erfahrung hat zudem gezeigt, dass durch den Austausch vorhandener Pumpen durch moderne Pumpen zusätzliche Einsparungen von bis zu 50 % erzielt werden können.

Fallbeispiel 1: Bukarest, Rumänien

APA-NOVA Bukarest hat kürzlich eine neue Grundfos-Lösung für das Druckmanagement in einer Pumpstation in Bukarest eingerichtet. Der Hauptzweck der Regelungslösung besteht darin, den Förderdruck der Pumpe in die Stadt zu optimieren, um Leckagen und Energieverbrauch zu reduzieren – bei gleichzeitiger Gewährleistung eines guten Services für die Kunden. Das Umrüsten der Pumpen von Konstantdruck auf Proportionaldruck mit Demand Driven

Distribution von Grundfos hatte folgenden Effekt:

- Reduktion des Energieverbrauchs um rund 15 %

Fallbeispiel 2: Talca, Chile

Die Herausforderung bei Essbio in Chile bestand darin, den Kunden einen guten Service zu bieten und die Effizienz im Werk Tejas Verde zu verbessern. Anfang 2013 hat Grundfos eine Demand-Driven-Distribution-Bedarfssteuerung für das Druckmanagement eingerichtet. Diese hat Folgendes bewirkt:

- Reduktion des Energieverbrauchs um rund 28 %

Fallbeispiel 3: Skagen, Dänemark

Frederikshavn Forsyning, der Wasserversorger der dänischen Gemeinde Frederikshavn, hat das Druckmanagement erfolgreich umgesetzt. Ein Beispiel ist der Stadtteil Skagen, in dem die Einrichtung der Demand-Driven-Distribution-Bedarfssteuerung einen besseren Schutz des Systems ermöglichte:

- Reduktion des Energieverbrauchs um rund 17 %

PROBLEM 3: BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN

Allein in Europa haben die Wasserverteilungsnetze eine Länge von 3,5 Millionen Kilometern (EUREAU, 2009). Wasserversorger stehen vor einer Reihe von Herausforderungen im Zusammenhang mit diesen Verteilungsnetzen. In den nächsten 10 bis 30 Jahren müssen große Teile der Wasserverteilungsnetze saniert werden. Basierend auf den Erfahrungen der wichtigsten europäischen Wasserversorger und unter Berücksichtigung des Zustands sowie der Leistung der Verteilungsnetze wird vermutet, dass in Europa 20 Milliarden EUR pro Jahr benötigt werden, um die Verteilungsnetze zu sanieren.

Es ist dringend erforderlich, diese Investitionen zu priorisieren und zu optimieren:

Strategisches Priorisieren und Zuweisen von Investitionsausgaben

Durch den Einsatz von dynamischen Druckmanagement-Tools können bei strategisch ausgerichteten Investitionen Einsparungen von 10 bis 15 % der Investitionsausgaben erzielt werden. Basierend auf einer Schätzung der oben genannten Investitionen, die in Europa benötigt werden, könnten solche dynamischen Druckmanagement-Tools jährlich bis zu 2 Milliarden USD einsparen.

Beziehung zwischen Druck und der Häufigkeit von Rohrbrüchen

Bis vor Kurzem beruhten die herkömmlichen Berechnungen, die die Wirtschaftlichkeit des Druckmanagements aufzeigen sollten, nur auf den prognostizierten Einsparungen durch Verringern der Wassermengen, die aufgrund vorhandener Lecks verloren gehen.

Thornton und Lambert (2006, 2007) haben gezeigt, dass ein Verringern des Überdrucks in Bereichen mit häufigen Rohrbrüchen einen erheblichen Einfluss auf die Vermeidung von Rohrbrüchen haben kann und dass getrennte Prognosen für Leitungsnetze und Anschlüsse erforderlich sind. 112 Fallstudien in 11 Ländern wiesen eine durchschnittliche prozentuale Abnahme der Häufigkeit von Rohrbrüchen um das 1,4-Fache der prozentualen Abnahme des durchschnittlichen Drucks in den Leitungsnetzen nach.

Mithilfe der aktuellen und jüngsten Zahlen zur Häufigkeit von Rohrbrüchen im Leitungsnetz (pro 100 km/Jahr) und an Versorgungsanschlüssen (pro 1.000 Anschlüsse/Jahr) konnte prognostiziert werden, ob durch das Druckmanagement Rohrbrüche in Leitungsnetzen und an Anschlüssen verringert werden bzw. ob eines von beiden oder keines von

beiden zutrifft. Diese einfachen qualitativen und quantitativen Prognosen erwiesen sich als effektiv für das schnelle Bestimmen von Zonen, in denen sich das Druckmanagement am schnellsten bezahlt machen würde.

Jüngste Untersuchungen haben zu verbesserten Prognosen in Bezug auf die Häufigkeit von Rohrbrüchen und die möglichen Vorteile des Druckmanagements geführt (Lambert, Thornton und Fantozzi 2013). Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass in vielen Fällen große Einsparungen durch eine geringe Druckreduktion erzielt werden können, wie in Abbildung 2 dargestellt wird.

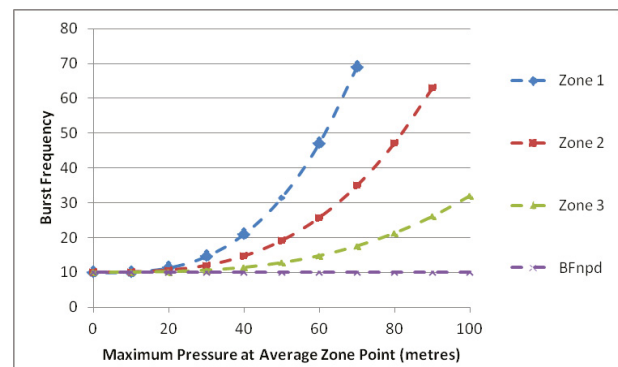


Abbildung 2: Charakteristisches Verhältnis von AZPmax (maximum pressure at Average Zone Point) zur Häufigkeit von Rohrbrüchen in einzelnen Bereichen (Darstellung mit Genehmigung von WLRand Ltd)

Abbildung 3 zeigt die tatsächlichen und die prognostizierten Änderungen bei der Reparaturhäufigkeit am Leitungsnetz im Durban Central Business District (CBD), Südafrika, unter Verwendung beider Prognosemethoden für gemischte Netzmaterialien (AC, Kunststoff, Stahl, Gusseisen). Saisonale Schwankungen konnten bei der Häufigkeit von Rohrbrüchen sowohl in Leitungsnetzen als auch an Anschlüssen stark gesenkt werden. Dies reduzierte die Reparaturkosten insgesamt erheblich.

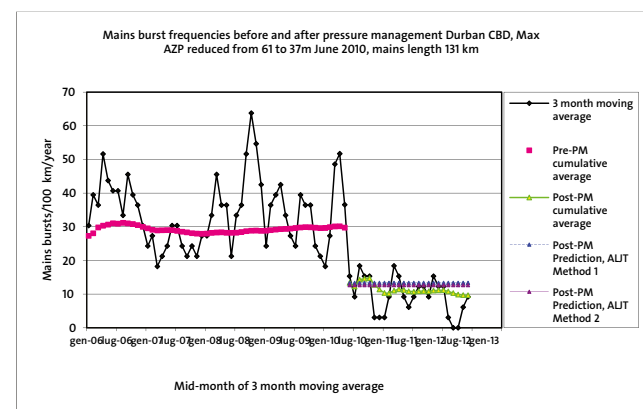


Abbildung 3: Häufigkeit von Netzreparaturen vor und nach dem Druckmanagement. Durban CBD zeigt einen Rückgang der Häufigkeit von Rohrbrüchen um mehr als 50 % und damit ähnlich hohe Einsparungen bei den Wartungskosten (Darstellung mit Genehmigung der Gemeinde Ethekewini).

Die jüngst festgestellte Beziehung zwischen dem Druck und der Häufigkeit von Rohrbrüchen (wie in Abbildung 2 und 3 dargestellt) wird jetzt in immer mehr Ländern und Situationen genutzt, um praktische Prognosen in Bezug auf Änderungen der Häufigkeit von Rohrbrüchen zu treffen. Die größten finanziellen Vorteile dürften jedoch die erst später nötige Rohrerneuerung und die verlängerte Lebensdauer sein. Dies wird nachstehend erläutert.

Erst später nötige Erneuerung, strategische Priorisierung sowie Zuweisung von Investitionsausgaben

Eine deutliche Reduktion der Häufigkeit von Rohrbrüchen in Leitungsnetzen und an Anschlüssen infolge eines umfangreichen Druckmanagements beeinflusst allmählich die Anzahl und Auswahl von Rohrleitungen, die jedes Jahr erneuert werden. Wasserversorger, die ihre Leitungsnetze und Anschlüsse auf Grundlage von festgelegten Dienstleistungskriterien austauschen, wie beispielsweise „X Rohrbrüche auf Y Kilometern in Z Jahren“, verwenden jetzt Leitungsnetze und Anschlüsse weiter, die ihren Richtlinien zufolge bereits ersetzt worden wären. Neueste Zahlen aus Australien belegen, dass die dadurch erzielten finanziellen Einsparungen um ein Vielfaches höher sein können als die jährlichen Einsparungen an Reparaturkosten für Rohrbrüche.

Eine sorgfältige Analyse ist erforderlich, um die Komponenten des Verteilungssystems zu identifizieren, die am meisten vom Druckmanagement profitieren, und um die spezifischen Vorteile zu bestimmen.

Durch Einsetzen von dynamischen Druckmanagement-Tools können bei der strategischen Ausrichtung von Investitionen erhebliche Kosten eingespart werden.

So kann das Druckmanagement den Verbrauch beeinflussen

Einige Wasserversorger sorgen sich über potenzielle Einnahmeverluste nach der Drucksenkung. Wenn sich der Systemdruck ändert, werden möglicherweise einige der Komponenten zur Verbrauchsmessung beeinflusst. Das Druckmanagement kann daher zu einer Änderung der Einnahmen führen, die der Wasserversorger mit seinen Kunden erzielt.

Mithilfe von kürzlich in Australien entwickelten Prognosemodellen können wahrscheinliche Änderungen des Verbrauchs auf Grundlage der angenommenen Änderung des durchschnittlichen Systemdrucks, des geschätzten Prozentsatzes des jährlichen Eigenverbrauchs außerhalb des Grundstücks, des Vorhandenseins von privaten Speichertanks und/oder privaten Druckerhöhungspumpen prognostiziert werden.

Unabhängig davon, ob Verbrauchsreduzierungen durch das Druckmanagement als Vorteil oder als Kostenfaktor betrachtet werden: Die Volumina scheinen im Verhältnis zur Verringerung der Leckagerate und der Häufigkeit von Rohrbrüchen sowie der Verlängerung der Lebensdauer der Infrastruktur relativ gering zu sein. Da der Verbrauch zum Einzelhandelspreis berechnet wird, sollten die finanziellen Auswirkungen so berechnet werden, dass die Auswirkungen auf die Einnahmen des Wasserversorgers prognostiziert und identifiziert werden können.

VORTEILE DES RESSOURCENMANAGEMENTS FÜR KUNDEN UND GEMEINDEN

Das Druckmanagement bietet noch weitere Vorteile:

Wasserressourcen-Management

Mit dem Druckmanagement kann ein Wasserversorger den Druck sowohl gemäß dem saisonalen als auch dem täglichen Bedarfsmuster variieren. So kann er sicherstellen, dass beim Kunden vor Ort stets der erforderliche Mindestdruck aufrechterhalten wird.

In Dürreperioden, in denen die Wasserversorgung eingeschränkt ist, kann der Druck weiter reduziert werden. Die Alternative wäre, Versorgungsunterbrechungen zu erzwingen. Diese erhöhen jedoch höchstwahrscheinlich die Häufigkeit von Rohrbrüchen und schädigen das Verteilungssystem dauerhaft.

In einigen Ländern (wie Italien) müssen die Wasserversorger jetzt ihren durchschnittlichen Druck zusammen mit ihren Wasserhaushaltsberechnungen und den Leistungsindikatoren für Wasserverluste angeben. Dies sollte von den anderen Unternehmen als bewährtes Verfahren übernommen werden.

Besserer Service für die Verbraucher

Führende Regulierungsbehörden konzentrieren sich zunehmend auf Dienstleistungsaspekte, indem sie wichtige Leistungsindikatoren für Unterbrechungen, Kontinuität der Versorgung, Mindestdruck usw. einführen.

Druckmanagementsysteme sind normalerweise so ausgelegt, dass sie diese Kriterien auf kostengünstige Weise erfüllen.

Weniger Probleme für die Gemeinden

Wasserrohrbrüche und andere größere

Systemausfälle führen zu Störungen im täglichen Leben – und zu Tausenden Stunden Produktivitätseinbußen zusätzlich zu den Reparaturkosten. Die kontinuierliche Überwachung von Druck und Durchfluss, die ein normaler Bestandteil des Druckmanagements ist, reduziert die Anzahl, das Ausmaß und die Dauer dieser Störungen.

Weniger Schäden an den Rohrleitungen der Kunden

Zunehmend spezifizieren und verringern nationale Sanitärnormen den maximal zulässigen Druck, der bei den Kunden ankommen darf. Ziel ist, die Lebensdauer der Anlagen beim Kunden (Armaturen und Wasserhähne) nicht zu verkürzen und eine übermäßige Geräuschentwicklung zu vermeiden.

Reduzierung von Haftungskosten

Viele Wasserversorger leiden jedes Jahr unter Totalausfällen der Wasserleitungen. Diese Ausfälle verursachen nicht nur den Verlust von kostbarem Wasser, sondern auch Reparaturkosten in Höhe von mehreren Millionen Dollar. Zudem wird dadurch die Versorgung der Verbraucher unterbrochen und es entstehen Schäden für den Wasserversorger. Da derartige Ausfälle aufmerksam beobachtet werden, verwenden die Medien diese Störungen häufig, um Wasserversorger in einem schlechten Licht darzustellen. Dies beeinträchtigt die Kundenzufriedenheit zusätzlich. Es gibt viele Variablen, die zu einem Totalausfall beitragen können. Ein Überdruck in der Nacht oder Druckspitzen werden im Nachhinein häufig als „der Tropfen, der das Fass zum Überlaufen brachte“ festgestellt. Drucküberwachung und Druckmanagement können dazu beitragen, die Häufigkeit und die Auswirkungen solcher Ausfälle zu reduzieren. Hierdurch sparen Wasserversorger Geld ein und die Kunden sind zufriedener.

CHANCEN UND LÖSUNGEN

In Übereinstimmung mit den neuesten Forschungsergebnissen und in Verbindung mit den Erfolgen der fortschrittlicheren Wasserversorger stellt das Druckmanagement eine der besten

Möglichkeiten dar, um die Leistung von Wasserversorgern zu erhöhen. Abbildung 4 fasst die zahlreichen Vorteile eines verbesserten Druckmanagements bezogen auf die Probleme von Wasserversorgern zusammen.

	PROBLEME VON WASSERVERSORGERN SOWIE VORTEILE BEI VERSCHIEDENEN BETRIEBSARTEN		
	INTERMITTIERENDE VERSORGUNG: (KEIN RUND-UM-DIE- UHR-BETRIEB)	KONTINUIERLICHE VERSORGUNG: (ÜBERDRUCK)	OPTIMALES DRUCKMANAGEMENT: (DEMAND DRIVEN DISTRIBUTION)
WASSERVERLUSTE – HOHER LECKAGE-ANTEIL	Verringern der Fördermengen bei Leckagen nach einer zeitweisen Druckerhöhung. Sehr häufiges Auftreten von Rohrbrüchen in Leitungsnetzen und an Anschlüssen. Große Kontaminationsrisiken, wenn die Rohre nicht unter Druck stehen.	Häufig auftretende Rohrbrüche aufgrund von Druck, der für einen überwiegenden Zeitraum höher als erforderlich ist. Hohe Leckagerate aufgrund von Druck, der höher als der durchschnittliche Druck ist.	Ein Verringern des durchschnittlichen Drucks um 10 % führt jährlich zu 10 bis 20 % weniger Lecks (abhängig von den Rohrmaterialien und des Lecktyps). Das Ergebnis der seit 2014 durchgeführten DDD-Projekte zeigt, dass Leckagen im Durchschnitt um 15 % und die Häufigkeit von Rohrbrüchen um 35 % reduziert werden.
ENERGIEEFFIZIENZ	Hohe Energiekosten für die Förderung, da höhere Förderströme erforderlich sind, um das gleiche Volumen zu bewegen.	Übermäßige Energiekosten aufgrund von Überdruck bei der Förderung.	Reduzieren des erhöhten Durchschnittsdrucks um 10 % führt zu 10 % niedrigeren Energiekosten bei der Förderung. Erfahrungen mit installierten DDD-Systemen seit 2014 zeigen im Durchschnitt Energieeinsparungen von 25 %.
BETRIEB UND WARTUNG	Hohe Personalkosten für das Bedienen der Ventile. Hohe Reparaturkosten.	Hohe Reparaturkosten Hohe Haftungskosten	Reduzieren des Durchschnittsdrucks um 10 % senkt die Kosten für die aktive Verringerung von Leckagen um 10 %.
	Aktive Verringerung von Leckagen ist aufgrund des unzureichenden Drucks schwierig.	Hohe Kosten für aktive Verringerung von Leckagen aufgrund einer steigenden Anzahl nicht gemeldeten Lecks.	Reduzieren des Durchschnittsdrucks um 10 % senkt die Kosten für die aktive Verringerung von Leckagen um 10 %.
	Kurze Lebensdauer aufgrund ungünstiger Betriebs- und Druckspitzen.	Kurze Lebensdauer aufgrund von Überdruck.	Erst später nötige Erneuerung sowie verlängerte Lebensdauer. Dieser Vorteil kann sehr erheblich sein. Es wird eine Methode zur Prognose der Druckreduktion entwickelt.

Abbildung 4: Drei verschiedene Regelungsansätze ausgewertet hinsichtlich ihres Einflusses auf Wasserleckagen, Energieeffizienz sowie Betriebs- und Wartungskosten

Bei dem Druckmanagement besteht das erste Ziel darin, Druckspitzen zu erkennen und deren nachteilige Auswirkungen zu reduzieren. Zweitens gilt es, bei Bedarf von einer intermittierenden Versorgung zu einer kontinuierlichen Versorgung mit einem niedrigeren Druck zu wechseln. Die Anzahl von Rohrbrüchen zu reduzieren, indem Druckspitzen vermieden werden, sowie das System langsam nachzufüllen, sind Schlüsselaspekte dieses Ansatzes. Ein weiterer wichtiger Aspekt besteht darin, dass ein niedriger kontinuierlicher Druck die Leckageraten in druckbeaufschlagten Systemen verringert.

Reduziert man den durchschnittlichen und maximalen Überdruck um lediglich 10 %, führt dies zu einer Verringerung von Leckagen und Rohrbrüchen, zu einer erst später nötigen Erneuerung, zu einer verlängerten Lebensdauer sowie zu Energieeinsparungen. Dadurch können Wasserversorger einen erheblichen Teil ihres Budgets einsparen. Ein positiver Kreislauf entsteht, der effektivere Investitionen und einen besseren Service ermöglicht. Da das Druckmanagement Wasserleckagen verringert, reduziert es auch die Kosten für die Produktion und/oder den Einkauf von Wasser sowie für den Energieverbrauch zum Fördern und Aufbereiten von Wasser für die Verteilung.

Heute gibt es Methoden und Konzepte zum Berechnen der Abschreibungszeiten sowie des finanziellen Nutzens verschiedener Druckmanagement-Optionen in diversen Bereichen der Wasserversorgungssysteme (Lambert, Thornton und Fantozzi, 2013).

In der Praxis sollten die Vorteile des Druckmanagements von Fall zu Fall im Verhältnis zu den tatsächlichen Kosten der Umsetzung eines Druckmanagementsystems betrachtet werden.

Jetzt ist der richtige Zeitpunkt für das Druckmanagement

Das Druckmanagement mittels intelligenter Pumptechnik und Druckminderern kann genutzt werden, um die oben erwähnten Herausforderungen bei der Wasserversorgung zu meistern. Das Wissen um die Vorteile des Druckmanagements in Verteilungssystemen in Verbindung mit praktischen Methoden zur Prognose dieser Vorteile, die von Situation zu Situation unterschiedlich sind, sowie die Fähigkeit, solide finanzielle Gründe für solche Investitionen anzuführen, machen dies heute möglich. Darüber hinaus ermöglichen technologische Fortschritte, die verbesserte Daten liefern, das Anpassen, Regeln und Überwachen des Drucks sowie ein Quantifizieren und Zertifizieren der erzielten Ergebnisse.

Es ist wichtig, das Geschäftsszenario für den Einsatz geeigneter Druckmanagement-Technologien als Alternative zu umfangreichen Investitionen zu verstehen und die potenziellen jährlichen Einsparungen im Zusammenhang mit der Umsetzung des Druckmanagements zu bewerten.

Der Blick in die Zukunft

Das Druckmanagement wird sich etablieren, wenn der potenzielle Wert für Wasserversorger deutlich wird und es leichter wird, diesen Wert zu erfassen. Dieser Artikel zielt darauf ab, die verschiedenen Hindernisse und Möglichkeiten aufzuzeigen, damit Wasserversorger auf der ganzen Welt ihre Entscheidungen zum Druckmanagement auf Grundlage eines strengen, analytisch fundierten Ansatzes treffen können.

Die Verbreitung dieser Erkenntnisse ist zwar notwendig, reicht jedoch nicht aus, um die Etablierung des Druckmanagements im Allgemeinen zu fördern. Nur durch die Zusammenarbeit aller wichtigen Interessengruppen kann die Wasserwirtschaft in ihrer jetzigen Form neu definiert werden und die Herausforderungen bewältigen, die sich aus Wasserknappheit und geringer Wasserqualität ergeben. Nachfolgend einige erste Gedanken dazu, wie die Interessengruppen der Branche dazu beitragen können, die Etablierung des Druckmanagements zu fördern.

Wasserversorgungsunternehmen müssen handeln Wenn sich die Akteure der Wasserwirtschaft zusammenschließen, sind die folgenden Herausforderungen für die Umsetzung des Druckmanagements nicht unüberwindbar:

- **Mangelnde Kenntnis der erzielbaren Vorteile** Die meisten Wasserversorger sind sich noch nicht vollständig bewusst, welche Vorteile sie durch die Umsetzung des Druckmanagements erzielen können. Die Konstruktion neuer oder auszubauender Systeme, die für den Betrieb bei einem dauerhaft niedrigen Druck geeignet sind (siehe Seite 6, Zitat von Pearson und Lambert), wäre sehr vorteilhaft.
- **Fehlende Finanzierung** Mögliche Lösungen zum Verringern der Markteintrittsbarriere umfassen Verträge zur Risikoaufteilung, um die erforderlichen Investitionen zu senken. Drittanbieter können technische Lösungen umsetzen und Daten analysieren.
- **Fehlende politische und regulatorische Unterstützung** Regulatorische Unterstützung sowie Anreize wären von entscheidender Bedeutung für das Druckmanagement, angefangen in wasserarmen Gebieten, wo es am wichtigsten ist, Wasserverschwendung zu vermeiden und diese Ressource effizient zu nutzen.

PROBLEME MITHILFE DES DRUCKMANAGEMENTS LÖSEN

Wie oben beschrieben, ist das Druckmanagement eine der Schlüsseltechnologien zum Verbessern des Betriebs von Wasserverteilungsnetzen.

Um ein bestmögliches Druckmanagement zu erreichen, muss der Druck im Netz gemessen und die Pumpstation entsprechend dieser Messungen geregelt werden. Die Online-Kommunikation zwischen den Drucksensoren im Netz und der Pumpstation ist jedoch teuer und nur schwer umzusetzen. Dies wird mit der Demand Driven Distribution gelöst, einer Lösung für die bedarfsgerechte Wasserverteilung von Grundfos, die in Abbildung 5 dargestellt ist.

Demand Driven Distribution (DDD) misst den Druck im Netz mithilfe einer Reihe batteriebetriebener Messwertspeicher, die die gemessenen und protokollierten Werte über ein GSM-Netzwerk an die DDD-Steuerung mit nur einer SMS-Nachricht pro Sensor und Tag übermitteln. Die gemessenen Daten werden dann über einen intelligenten, adaptiven Regelungsansatz verarbeitet. Dieser regelt die Pumpstation und hält den Druck im Netz auf dem gewünschten Niveau – ohne mühsame Analysen und Neukonfigurationen des Systems, um den ordnungsgemäßen Betrieb aufrechtzuerhalten.

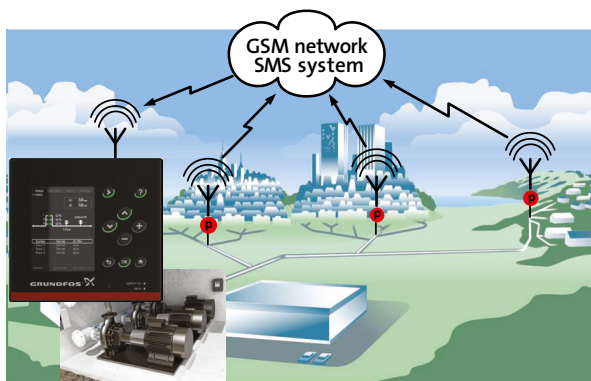


Abbildung 5: Die DDD-Steuerung, die über das GSM-Netzwerk mit Drucksensoren im Netz verbunden ist, ermöglicht die Regelung der Pumpen mithilfe der gespeicherten Messwerte über einen intelligenten, adaptiven Regelalgorithmus.

Druckspitzen zählen zu den Hauptverursachern von Rissen in Rohrleitungen. Um zu vermeiden, dass die Pumpstation solche Spitzen erzeugt, erfolgt bei der Demand Driven Distribution standardmäßig ein langsamer Druckanstieg mit sanftem Druckaufbau.

Dank Demand Driven Distribution ist es möglich, den Druck entsprechend den gegebenen Betriebsbedingungen zu regeln. Beispiele:

- Bei einer **kontinuierlichen Versorgung** hält Demand Driven Distribution das optimale Serviceniveau aufrecht. Dabei werden Wasserverluste reduziert, Energieeffizienz verbessert sowie Betriebs- und Wartungskosten gesenkt.
- In Gebieten, die von **Dürreperioden** betroffen sind, können sowohl Leckagen als auch der Wasserverbrauch gesenkt werden, indem der Systemdruck ohne Gefahr einer Kontamination verringert wird.
- Wenn Wassermangel durch eine **intermittierende Versorgung** ausgeglichen wird, begrenzt das fortschrittliche Druckmanagement den Wasserverbrauch ohne das Risiko einer Verunreinigung. Auch verringert es die Häufigkeit von Rohrbrüchen, die normalerweise mit der intermittierenden Versorgung einhergehen.

Neue technische Ideen und Fortschritte beim Druckmanagement

Das Druckmanagement entwickelt sich weiter. Weitere Vorteile sowie neue Technologien und Modalitäten für die Umsetzung des Druckmanagements werden kontinuierlich erforscht. Einige der untersuchten Bereiche umfassen Folgendes:

- Intelligente Technologien zum Optimieren der Verteilung, des Pumpendrucks und des PRV-Drucks
- Druck: Verhältnis zu Rohrbrüchen sowie Einfluss von Rohrmaterialien
- Validierung der Systemergebnisse und Auswirkungen auf eine längere Lebensdauer der Anlagen
- Richtlinien für die Analyse von Druckspitzen in Wasserverteilungssystemen
- Druckmanagement in sehr niedrigen Druckzonen

Ergebnis

Das Druckmanagement bietet Wasserversorgern eine großartige Möglichkeit, erhebliche finanzielle Einsparungen zu erzielen. Für Wasserversorger ist es an der Zeit, diese Gelegenheit zu nutzen. Denn mittlerweile sind genügend Fakten zu den Vorteilen des Druckmanagements vorhanden. Zudem gibt es viele Wasserversorger, die über nachweisbare Erfolgsgeschichten berichten.

Angesichts der großen Herausforderungen im Wasserressourcen-Management, vor denen Gemeinden in naher Zukunft stehen, stellt das Druckmanagement einen effektiven Weg dar, um Wasserverluste zu reduzieren, die Energieeffizienz zu steigern sowie die Betriebs- und Wartungskosten zu senken.

Demand Driven Distribution von Grundfos ist ein wirksamer Bestandteil zur Umsetzung des Druckmanagements in Pumpenanlagen. Er löst die in diesem Artikel beschriebenen Probleme und bietet für Kunden und Gemeinden erhebliche Vorteile beim Ressourcen-Management:

- **Wasserressourcen-Management**
Variiert den Druck gemäß saisonalen sowie täglichen Bedarfsmustern und hält den erforderlichen Mindestdruck bei den Kunden aufrecht.
- **Besserer Service für die Verbraucher**
Erfüllt die Anforderungen in Bezug auf Unterbrechungen, Kontinuität der Versorgung und Mindestdruck auf kostengünstige Weise.
- **Weniger Probleme für die Gemeinde**
Reduziert das Ausmaß und die Dauer von Wasserrohrbrüchen sowie anderen schwerwiegenden Störungen.
- **Reduzierung von Schäden an den Rohrleitungen der Kunden**
Erfüllt die nationalen Normen für Rohrleitungen, die den maximal zulässigen Druck in Rohren begrenzen.
- **Reduzierung von Haftungskosten**
Verringert die Häufigkeit und Auswirkungen von Störungen bei Wasserrohrleitungen. Hierdurch sparen Wasserversorger Geld ein und die Kunden sind zufriedener.

DANKSAGUNGEN

Dieser Artikel wurde erstellt von Marco Fantozzi (Studio Marco Fantozzi, Italien) mit Beiträgen von Allan Lambert (Water Loss Research & Analysis, Großbritannien), Carsten Skovmose Kallesøe, Abdulsattar Hassan, Danny Stærk, Allan Nielsen, Jørgen Bach und Morten Riis (Grundfos Holding A/S, Dänemark). Die Autoren danken für die Unterstützung der Water Services Association of Australia, der Gemeinde Ethekewini (Südafrika), der APA-NOVA Bukarest (Rumänien), des Essbio in Chile, der Frederikshavn Forsyning in Dänemark sowie weiterer Wasserversorger, die ihre Daten und Erfahrungen, die in diesem Artikel verwendet wurden, zur Verfügung gestellt haben. Weiterer Dank gilt den Mitgliedern der Water Loss Specialist Group für ihren umfassenden Beitrag zur laufenden Erforschung der Vorteile des Druckmanagements.

QUELLENVERZEICHNIS**IWA Water Loss Specialist Group:**

(<http://www.iwahq.org/r8/networks/specialist-groups/list-of-groups/water-loss.html>)

Lambert A., (2000):

What do we know about pressure: Leakage relationships in distribution systems? IWA-Tagung „System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management“, Brünn, Tschechische Republik, 2000.

Lambert A., (2002):

International Report on Water Losses Management and Techniques, Water Science and Technology: Water Supply Teil 2, Nr. 4, August 2002.

Thornton J. und Lambert A. (2006):

Managing Pressure to reduce new breaks, Water, 21. Dezember 2006, 24–26.

Thornton J. und Lambert A. (2007):

Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs, Water Loss 2007: Tagungsband, Bukarest-Rumänien, 23. bis 26. September 2007.

(http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/2007_ThorntonLambert-IWA-Bucharest-2007P.pdf)

Lambert A., Thornton J. und Fantozzi M., (2013):

Practical approaches to modeling leakage and pressure management in distribution systems – progress since 2005, 12. Internationale Tagung „Computing and Control for the Water Industry“, Perugia, September 2013 Leakssuite.

(http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2012/11/CCWI_Sep2013paper_Pressure-burstsALMFJT-1-2003-2013K1.pdf)

Pearson D. und Lambert A. (2013):

Accounting for Water Leakage and Managing Performance, „Sustainable Cities, building for the future“; Climate Action, United Nations Environment Programme (UNEP), Juni 2013. ISBN: 978-0-9570432-8-2

DOE, HI, Europump (2001):

Pump Life-Cycle costs: A Guide to LCC analysis for pumping systems, US Department of Energy's Office of Industrial Technologies, (OIT-DOE), Hydraulisches Institut, Europump.

Abelin S., Pritchard M. und Sanks R. (2006):

Chapter 29 – Costs, in Jones, G., Bosserman, B., Sanks, R. und Tchobanoglous, G. (Hrsg.), Pumping Station Design – 3. Ausgabe, Elsevier, EUA, 2006. ISBN 978-0-7506-7544-4

Veness J. (2007):

Pump Energy Reduction – A Systems Approach, Artikel im Institute of Mechanical Engineers, 2007, Großbritannien.

SENSUS (2012):

Water 20/20 Bringing Smart Water Networks into focus, 2012.

EUROSTAT (2009):

Panorama of Energy – Energy statistics to support EU policies and solutions, EUROSTAT Statistische Bücher, Europäische Kommission. ISBN 978-92-79-11151-8

Abteilung Energie und Wasser (EWD) der Weltbankgruppe (2006):

Kingdom, B., Liemberger, R., Marin, P., The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting

Lambert A. und Fantozzi M. (2010):

Recent Developments in Pressure Management Tagungsband der IWA-Sondertagung „Water Loss 2010“, Sao Paulo, Brasilien, Juni 2010.

(http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/2010_LambertFantozziSaoPaoloIWA-2010H.pdf)

WSAA (2011):

Framework for Targeting Leakage and Pressure Management. Ein Bericht für die Water Services Association of Australia von Wide Bay Water Corporation und Water Loss Research & Analysis Ltd., Mai 2011, im Rahmen des WSAA-Asset-Management-Projekts PPS-3, Überprüfung der Leckagebericht- und Managementpraktiken, Stufe 3.

Pearson D., Fantozzi M., Soares D. und Waldron T. (2005):

Searching for N2: How does pressure reduction reduce burst frequency?, Leakage 2005: Tagungsband, Halifax, Kanada, September 2005.

Lambert A. und Thornton J. (2011):

The relationships between pressure and bursts – a „state-of-the-art update“ Water, 21. April 2011, 37–38.

LAPMET Software (2011):

Leakage and Pressure Management Evaluation and Targeting software, Australische Version 1b, Mai 2011, ILMSS Ltd Leakssuite.
(www.leakssuite.com)

Lambert A. und Fantozzi M. (2008):

Recent developments in predicting the benefits and payback periods of introducing different pressure management options into a zone or small distribution system, 2. Internationale Konferenz „Water Loss Management, Telemetry and SCADA in Water Distribution Systems“, Ohrid, Mazedonien, Juni 2008.

(http://173.254.28.127/~leakssui/wp-content/uploads/2012/11/2008_FantozziLambertMacedoniaWA-2008L.pdf)

Studio Marco Fantozzi – Innovative Lösungen zur Leistungssteigerung in der Wasserwirtschaft:
www.studiomarcofantozzi.it