



Markus Peterseil, BSc

Intelligente Trinkwasserversorgungssysteme

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Umwelt und Verkehr - Bauingenieurwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuerin:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Daniela Fuchs-Hanusch

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Markus Günther, BSc

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Graz, Jänner 2016

Kontakt:
Markus Peterseil, BSc
markuspeterseil@gmx.at

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei jenen bedanken, die mich während meiner Studienzzeit unterstützt haben, und dazu beigetragen haben die vorliegende Masterarbeit zu verfassen.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern, Andrea und Johann für die Unterstützung vor und während meiner Studienzzeit in Graz. Sie hatten wesentlichen Einfluss auf meinen gesamten Ausbildungsweg, beginnend nach der Pflichtschule.

Auch meinen Großeltern möchte ich für deren Geduld, während meiner Zeit in Graz danken.

Einen weiteren großen Dank möchte ich meiner Freundin Caroline aussprechen, die während des Studiums Abwechslung in mein Leben brachte. Zudem hat sie mich in schwierigen Zeiten aufbauend unterstützt.

Aber auch Frau Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Daniela Fuchs-Hanusch möchte ich danken, für die Möglichkeit die vorliegende Masterarbeit zu erarbeiten. Zudem möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing Markus Günther für die Mitbetreuung der Masterarbeit bedanken.

Kurzfassung

Die Versorgung des Menschen mit Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität stellt die Grundlage einer funktionierenden Gesellschaft dar. Die Bewirtschaftung von Trinkwasserversorgungsnetzen unterliegt einem ständigen Wandel. Zum einen aufgrund von Änderungen in der Versorgungsstruktur und zum anderen aufgrund der Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten. Sogenannte Smart Grids finden zum Beispiel im Bereich des Energie-Sektors bereits breite Anwendung und Akzeptanz.

Auch im Bereich der Trinkwasserversorgung findet diese Technologie immer mehr Anklang, nicht zuletzt aufgrund des technologischen Fortschritts bei Sensoren, Technologien der Datenübertragung und dem Umgang mit großen Datenmengen.

In der gegenständlichen Arbeit werden intelligente Trinkwasserversorgungssysteme (ITVS) bzw. Smart Water Networks basierend auf einer einschlägigen Literaturrecherche beschrieben und deren wesentlicher Nutzen hinsichtlich des Betriebes von Trinkwasserverteilnetzen und dem daraus resultierenden Mehrwert für die Gesellschaft erarbeitet. Im Speziellen werden die essentiellen Bestandteile von ITVS erläutert und Aspekte, welche für eine erfolgreiche Implementierung in realen Systemen zu beachten sind, kritisch betrachtet.

ITVS können in fünf Komponenten gegliedert werden. Diese sind das physische Trinkwasserverteilnetz; Messen, Steuern und Regeln; Datenspeicherung und Kommunikation; Datenmanagement und Visualisierung sowie Datenzusammenfassung und Analyse.

Nach der ausführlichen theoretischen Beschreibung der einzelnen Bestandteile werden die Prinzipien eines ITVS anhand eines experimentellen Trinkwasserverteilnetzes des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau näher erläutert.

Als Resultat der Arbeit kann zusammengefasst werden, dass ITVS einen Beitrag dazu leisten können, die Ressource Wasser zu schonen, Energie einzusparen und somit eine nachhaltigere, optimierte Bewirtschaftung dieser Infrastruktur für kommende Generationen sicherzustellen.

Abstract

Water distribution systems are one of the most valuable infrastructure systems and is directly connected to human health and economic vitality. However, water supply systems are a subject of continuous change due to efforts in the technology of measurement devices, data handling and changes in management strategies.

With the development and implementation of smart grids which have their origin in the electrical power supply, it has become possible to optimize the distribution of energy. In the area of water supply, this technology can be implemented as well. For this purpose it is necessary for the supply network to be equipped with appropriate measurement devices and control units and to be connected through network communication. Based on these fundamentals of measuring instruments and control units, new possibilities and limiting factors for the operation of intelligent water supply networks arise.

Intelligent water networks will be described with reference to a literature review. Based on this literature review a possible layout for a smart water network is introduced. The layers of a smart water network can be designed as structures like physical layer; sensing and control; data collection and communication; data management and display and data fusion and analysis.

After describing the theoretical background of smart water networks, the layer structure is described based on an experimental water distribution network located at the Institute of Urban Water Management and Landscape Water Engineering.

Finally, it can be concluded that the expectations on smart water network technology are efforts in sustainable water resources management, energy conservation, optimization of operational management and last but not least to preserve this valuable infrastructure system for future generations.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Ziel	1
2	Regelwerke, Normen und Richtlinien	3
2.1	ÖNORM EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden	4
2.2	Richtlinie W 63: Wasserverluste in Trinkwasserversorgungssystemen (2009)	5
2.3	Richtlinie W 85: Betriebs- und Wartungshandbuch für Wasserversorgungsunternehmen.....	5
2.4	Richtlinie W 100: Wasserverteilungen, Betrieb und Instandhaltung	6
2.5	Richtlinie W 104: Leitungsinformationssystem Wasser und Abwasser.....	6
2.6	Richtlinie W 105: Schadensstatistik, Erfassung und Verarbeitung von Schadensereignissen	7
2.7	Wasserbedarf von österreichischen Haushalten	8
2.7.1	Wasserverbrauch von Gewerbe und Industrie	9
2.7.2	Einfluss von Strukturänderung auf die Systemeinspeisung	10
3	Entwicklung und Aufbau von ITVS	11
3.1	Definition laut österreichischer Technologieplattform zum Thema Smart Grids	11
3.2	Grundsätzlicher Aufbau von intelligenten Netzen	11
3.3	Anlagenteile.....	14
3.3.1	Historische Entwicklung von Wasserversorgungsnetzen	14
3.3.2	Anlagenteile der Wasserversorgung	15
3.3.3	Werkstoffe in der Ausführung.....	17
3.4	Messen, Steuern und Regeln	19
3.4.1	Signalumwandlung.....	19
3.4.2	Technische Entwicklung von Durchflussmessgeräten	21
3.4.3	Arten der Wasserzählung / Durchflussmessung	21
3.4.4	Füllstandsmesstechnik.....	26
3.4.5	Wasserqualitätsmesstechnik.....	27
3.4.6	Kraft- und Druckmessung	28
3.4.7	Messdatenerfassung im System	29

3.4.8	Steuern und Regeln im Versorgungsnetz	30
3.5	Datenspeicherung und Kommunikation	33
3.5.1	Kommunikationsarten	33
3.5.2	Kabellose Multimeter-Kommunikationsnetze	37
3.5.3	Supervisory Control and Data Acquisition –Systeme (SCADA)	38
3.6	Datenmanagement und Visualisierung.....	39
3.6.1	Datenmanagement	39
3.6.2	Visualisierung.....	40
3.7	Datenzusammenfassung und Analyse	41
4	Benefit intelligenter TVS	42
4.1	Analyse des Verbrauchsverhaltens	43
4.2	Wasserqualitäts-Monitoring	44
4.3	Wasserverlustmanagement.....	45
4.4	Automatisierte Ereignisdetektion	48
4.5	Energieoptimierung	49
4.6	Verbraucher Zufriedenheit.....	49
4.7	Verrechnungsmanagement	50
4.8	Grenzen der Anwendbarkeit.....	51
5	ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN	52
5.1	Anlagenteile des Labornetzes	52
5.1.1	Versorgung des Labornetzes.....	53
5.1.2	Wasserentnahmen im Labornetz	54
5.2	Messen, Steuern- und Regeln im Labornetz	55
5.2.1	Messgeräte	56
5.2.2	Einfluss des Messbereichs auf die Messgenauigkeit	57
5.2.3	Steuerung des Labornetzes.....	59
5.3	Datenspeicherung und Kommunikation im Labornetz	67
5.3.1	Kommunikation	67
5.3.2	Datenspeicherung.....	68
5.4	Datenmanagement und Visualisierung im Labornetz	69
5.4.1	TOML.....	69

5.4.2	Visualisierung der erfassten Daten	71
5.5	Datenzusammenfassung und Analysen des Labornetzes	77
6	Schlussfolgerung und Ausblick	79
6.1	Schlussfolgerung	79
6.2	Ausblick	81
	Tabellenverzeichnis.....	lxxxii
	Abbildungsverzeichnis	lxxxiii
	Literaturverzeichnis.....	lxxxv
	Anhang	i
	Anhang A.....	ii
	Anhang B.....	iii
	Anhang C.....	iv
	Anhang D.....	v
	Anhang E.....	vi
	Daten CD	vii

Abkürzungsverzeichnis

AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	Automated Meter Reading
DMA	District Metered Area
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
GIS	Geographische Informationssysteme
HAN	Home Area Network
IED	Intelligent Electronic Device
ITVS	Intelligente Trinkwasserversorgungssysteme
LIS	Leitungsinformationssystem
MID	Magnetisch- Induktiver Durchflussmesser
NAN	Neighbourhood Area Network
NRW	Nicht in Rechnung gestellte Wassermengen
OGC	Open Geospatial Consortium
PVC	Polyvinylchlorid
SaaS	Software as a Service
TVS	Trinkwasserversorgungssystem
WAN	Wide Area Network
WVS	Wasserversorgungssystem
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

1 Veranlassung und Ziel

Im Bereich der Wasserversorgung wird es zunehmend schwieriger, die Bevölkerung, Gewerbe- und Industriegebiete mit ausreichendem Trinkwasser in entsprechender Qualität und Menge zu versorgen. Österreich ist hierbei in der glücklichen Lage, dass genug Trinkwasser für die gesamte Bevölkerung zur Verfügung steht.

Der Betrieb von Wasserversorgungsanlagen wird durch die flächenmäßige Ausdehnung von städtischen Randgebieten zunehmend erschwert, wodurch bestehende Systeme erweitert bzw. angepasst werden müssen. Dies passiert in Form von Leitungsadaptierungen oder zusätzlichen Speicherbauwerken. In ländlichen Gebieten hingegen, wo eine zersiedelte Bauungsstruktur vorzufinden ist, können infolge von Landflucht zunehmende Probleme durch ein überdimensioniertes Rohrleitungsnetz entstehen, da aufgrund von Abwanderung weniger Trinkwasser verbraucht wird. In diesem Fall kann das gesamte Rohrleitungsnetz überdimensioniert sein und die Folgen können von zu geringen Fließgeschwindigkeiten bis hin zur Stagnation reichen, welche Wasserqualitätsprobleme nach sich ziehen können. Um entsprechende Wasserqualitäten und -mengen liefern zu können, werden in Österreich vorwiegend Brunnen und Quellen verwendet. In Städten kann es notwendig sein, Trinkwasser über weite Distanzen zum Versorgungsgebiet zu befördern, damit der tägliche Trinkwasserbedarf der Konsumenten gedeckt werden kann. Das Trinkwasser wird durch das Verteilernetz des Wasserversorgungsunternehmens (WVU) gefördert und dem Kunden bereitgestellt.

Die heutigen Verteilnetze sind über Jahrzehnte gewachsen und bestehen in der Regel aus verschiedenen Werkstoffen. Mit diesem Materialmix im Verteilnetz ergeben sich unterschiedlichste Lebensdauern für die verwendeten Rohrleitungen und die Herausforderungen diese entsprechend zu bewirtschaften. Durch das zunehmende Alter der Leitungen kann es zu Leckagen, infolge von Korrosion bzw. durch äußere bzw. innere Krafteinwirkungen kommen.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Trinkwasserinfrastruktur um eine verborgene handelt, gestaltet sich die Feststellung des Zustandes entsprechend schwierig. Der Einsatz intelligenter Systeme kann bei der Feststellung des Zustandes unterstützen. Diese Technologie hat ihren Ursprung in der elektrischen Energieversorgung und wird in diesem Bereich bereits erfolgreich umgesetzt. In Fachkreisen hat sich in diesem Zusammenhang die Bezeichnung „Smart Grid“ etabliert. Diese Smart Grid-Prinzipien können ebenfalls auf Wassernetze als Smart Water Networks bzw. Smart Water Grids umgelegt werden.

Diese intelligenten Trinkwasserversorgungssysteme (ITVS) sind mit dem technologischen Fortschritt in der Mess- und Steuerungstechnik mitgewachsen und können für unterschiedlichste Anwendungsbeispiele und Fragestellungen in der Wasserversorgung eingesetzt werden. Beispiele hierfür können die Analyse des

Verbrauchsverhalten, Wasserqualitäts-Monitoring, Wasserverlustmanagement, die automatisierte Ereignisdetektion, Energieoptimierung, Verbraucher Zufriedenheit und Verrechnungsmanagement sein. Nicht zuletzt bieten ITVS und die darin erhobenen Daten ein großes Potential an Optimierungsmöglichkeiten für den Betrieb von Trinkwasserversorgungssystemen.

All diese Aspekte von ITVS sollen in der vorliegenden Arbeit als Literaturstudie betrachtet werden. Zusätzlich soll auf die derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen in Form von Normen und Richtlinien eingegangen werden, welche bereits jetzt beim Betrieb von Wasserversorgungssystemen (WVS) eingehalten werden müssen.

Mit wissenschaftlichen Publikationen soll ein möglicher Aufbau von ITVS beschrieben werden. Die erwähnten Anwendungsbeispiele sollen erarbeitet, und mögliche Probleme oder limitierende Faktoren bei der Anwendung bzw. Umsetzung von intelligenten Trinkwasserversorgungssystemen aufgezeigt werden. Damit soll eine ganzheitliche Betrachtung von ITVS erfolgen und der Mehrwert dieser Systeme anhand von Beispielen erarbeitet werden.

Mit einer anschließenden Anwendung der ITVS-Prinzipien (Aufbau, Funktionsweise der Mess-, Steuer- und Regelungseinheiten, Datenmanagement) auf ein experimentelles Labornetzes des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau sollen Aspekte von intelligenten Systemen, speziell die Steuerung von Anlagenteilen in ITVS, beleuchtet werden.

2 Regelwerke, Normen und Richtlinien

Normen beschreiben eine standardisierte Qualität und die allgemein anerkannten Regeln der Technik. Dadurch soll eine spätere einwandfreie Funktion von genormten Systemen sichergestellt werden. „Grundsätzlich sind Normen qualifizierte Empfehlungen, d. h. die Anwendung von Normen erfolgt auf freiwilliger Basis“ (Bundeskanzleramt 2016). Abbildung 1 beschreibt die Gültigkeit von Normen, Richtlinien und Merkblättern sowie deren Verbindlichkeit und Flexibilität.

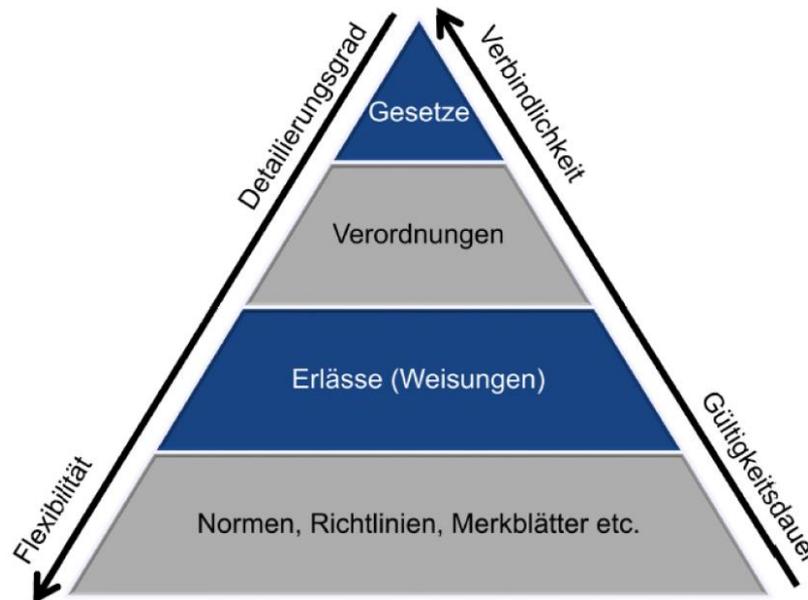


Abbildung 1: Gültigkeit von Normen, Richtlinien und Merkblättern (Hofstadler und Schieder 2011)

Prinzipiell kann zwischen Stand der Wissenschaft, Stand der Technik und allgemein anerkannten Regeln der Technik unterschieden werden. Der Stand der Wissenschaft beschreibt den Forschungsbereich von Wissenschaftler/innen und Expert/innen. Beim Stand der Technik werden die derzeitigen Möglichkeiten der Technik beschrieben, welche auf den Erkenntnissen der Wissenschaft basieren. Mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik werden technische Grundregeln beschrieben, welche eingehalten werden müssen, um Mindestanforderungen einhalten zu können.

Nachfolgende Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Wissensstand und der Verbreitung des Wissensstandes in Bezug auf den Stand der Wissenschaft, den Stand der Technik und die allgemein anerkannten Regeln der Technik.

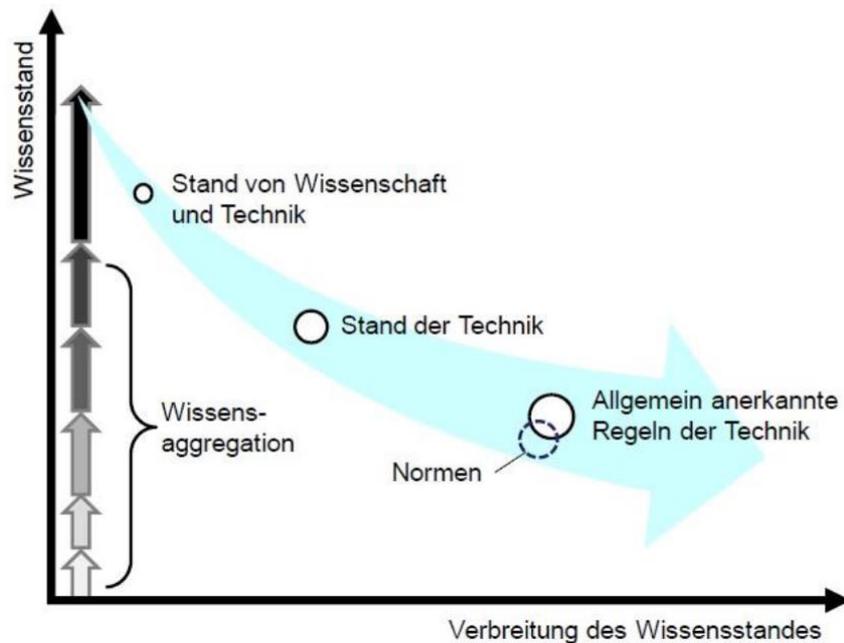


Abbildung 2: Wissensstand in Abhängigkeit der Verbreitung (Hofstadler und Schieder 2011)

2.1 ÖNORM EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden

Bei dieser Norm handelt es sich um eine europäische Vorgabe, welche vom technischen Komitee CEN/TC 164 „Wasserversorgung“ erarbeitet wurde und auf nationaler Ebene übernommen wurde. Der Geltungsbereich liegt außerhalb von Gebäuden und beinhaltet somit Trinkwasserleitungen, Trinkwasserbehälter und sonstige Anlagen, jedoch keine Wasseraufbereitungs- und Wassergewinnungsanlagen (ÖNORM EN 805: 2000).

„Diese ÖNORM betrifft Wasserversorgungssysteme außerhalb von Gebäuden, welche alle Trinkwasserleitungen, Wasserbehälter und Rohwasserleitungen, jedoch keine Wasseraufbereitungs- und Wassergewinnungsanlagen umfassen. Diese ÖNORM umfasst - allgemeine Anforderungen an Wasserversorgungssysteme; - Planung und Bauausführung neuer Wasserversorgungssysteme; - Anforderungen an Teile von Rohrleitungen; - und diejenigen spezifischen Anforderungen, welche in die zugehörigen Produktnormen aufgenommen werden sollen; - sowie die Prüfung und Inbetriebnahme dieser Wasserversorgungssysteme. Ebenso sind diese Anforderungen anwendbar auf bedeutsame Erweiterungen bestehender Wasserversorgungssysteme bzw. auf bedeutsame Änderungen, Reparaturen und/oder Sanierungen von bestehenden Wasserversorgungssystemen.“ (ÖNORM EN 805: 2000)

2.2 Richtlinie W 63: Wasserverluste in Trinkwasserversorgungssystemen (2009)

Diese Richtlinie dient zur Feststellung und Beurteilung von Wasserverlusten in Trinkwasserversorgungssystemen und führt Maßnahmen zu deren Verminderung an. Ziel dieser Richtlinie ist unter anderem, einheitliche Begriffsbestimmungen und Definitionen für die realen und scheinbaren Wasserverluste festzulegen, die dem Anwender die Einordnung und Interpretation seiner eigenen Wasserverluste erleichtern sowie nationale und internationale Vergleiche von Wasserverlustkennzahlen ermöglichen. Dafür sind vor allem eine genaue Definition der Komponenten der Wassermengenbilanz und die exakte Erfassung aller relevanten Wasservolumenströme im Versorgungssystem Voraussetzung. Jeder Wasserversorger soll mithilfe dieser Richtlinie seine ermittelten Wasserverlustmengen anhand geeigneter Kennzahlen quantifizieren und interpretieren können. (OEVGW-Richtlinie W63 2009)

2.3 Richtlinie W 85: Betriebs- und Wartungshandbuch für Wasserversorgungsunternehmen

„Trinkwasser ist unser wichtigstes Lebensmittel. Daher werden an die Dienstleistung Trinkwasserversorgung besonders hohe Anforderungen in Bezug auf Hygiene, Sicherheit und Ressourcenschutz gestellt. Die sichere und zuverlässige Trinkwasserversorgung ist eine der tragenden Säulen der Gesundheit der Bevölkerung und Grundlage für Wohlstand und eine funktionierende Wirtschaft. Die Betreiber von Trinkwasserversorgungs-Anlagen sind ihren Kunden gegenüber verpflichtet, die Dienstleistung Trinkwasserversorgung effizient und nach wirtschaftlichen Kriterien zu erbringen. Der Gesetzgeber schreibt aufgrund der großen Bedeutung der Trinkwasserversorgung für die Volksgesundheit vor, dass die technische und hygienische Funktionsfähigkeit der Versorgungsanlage in regelmäßigen Abständen von 5 Jahren durch Sachverständige oder geeignete Anstalten oder Unternehmungen zu überprüfen ist. Um diese Fremdüberwachung möglichst effizient und kostensparend durchführen zu können, muss der Betreiber über ein Konzept der Eigenüberwachung verfügen. In der vorliegenden Richtlinie wird die Erstellung eines Betriebs- und Wartungshandbuches für Betreiber einer Trinkwasserversorgungs-Anlage beschrieben. Das Betriebs- und Wartungshandbuch muss vor allem den Anforderungen des Betreibers einer Anlage genügen und den Betriebsablauf unterstützen und dokumentieren. Ein solches Betriebs- und Wartungshandbuch gilt als Nachweis der Erfüllung der Sorgfaltspflicht. Es wird empfohlen, auf Basis des Betriebs- und Wartungshandbuches ein System für die effiziente Eigenüberwachung zu entwickeln.“ (OEVGW-Richtlinie-W-85 2008)

2.4 Richtlinie W 100: Wasserverteilleitungen, Betrieb und Instandhaltung

„Ein nachhaltiger und effizienter Betrieb und eine ebensolche Instandhaltung der Wasserverteilleitungen ist im Interesse der Betreiber sowie der versorgten Einwohner, hat dieser Teil der Wasserversorgungsanlage doch den größten Einfluss auf den Wasserpreis. Der Großteil des Anlagekapitals eines Wasserversorgungsunternehmens steckt im Verborgenen, unter der Erde. Dabei darf aber auch nicht vergessen werden, dass ordnungsgemäß funktionierende Wasserverteilleitungen einen erheblichen Beitrag zur Sicherung der Wasserqualität leisten. Diese Richtlinie fasst die Anforderungen an das Management für den Betrieb und Instandhaltung von Wasserverteilleitungen zusammen und berücksichtigt dabei die derzeit geltenden Gesetze, Normen und Richtlinien. Neben den organisatorischen Voraussetzungen für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Wasserverteilleitungen enthält diese Richtlinie auch die Grundlagen für eine nachhaltige und geplante Instandhaltung. [...] Ein ordnungsgemäßer Betrieb und eine nachhaltige und geplante Instandhaltung der Wasserverteilleitungen gewährleisten eine langfristige technische Nutzungsdauer. Diese Richtlinie soll die Wasserversorger dabei unterstützen, mit optimierten Instandhaltungskosten eine möglichst lange Nutzungsdauer der Wasserverteilleitungen zu erreichen. Dazu muss sich der Wasserversorger aber genau mit dem technischen Zustand der Wasserverteilleitungen auseinandersetzen, sowie die Zustandsdaten erheben und aktuell halten. Diese Richtlinie beinhaltet die notwendigen Schritte zu einem modernen - am Stand der Technik orientierten - Betrieb und zu einer zustandsorientierten effizienten Instandhaltung der Wasserverteilleitungen.“
(OEVGW-Richtlinie-W-100 2007)

2.5 Richtlinie W 104: Leitungsinformationssystem Wasser und Abwasser

„Eine wichtige Aufgabe der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft war und ist die nachhaltige Bewirtschaftung und Werterhaltung des bestehenden und des noch zu errichtenden Anlagevermögens.

Die Fragen der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung sind Fragen der Daseinsvorsorge und liegen im öffentlichen Interesse. Es ist daher notwendig, dass in diesem Bereich eine enge Zusammenarbeit zwischen den Eigentümern und Betreibern, den Planern und Bauleitern und auch den Behörden erfolgt. Die Informationen des Leitungskatasters können diese notwendige Zusammenarbeit wesentlich erleichtern und unterstützen.

Die Erfassung, Abbildung und Dokumentation der Anlagenteile der Wasserver- und Abwasserentsorgung sind deshalb sowohl für den Betreiber bzw. Eigentümer der Anlagen als auch für den Planer, insbesondere bei Erneuerungen bzw. Erweiterungen derartiger Einrichtungen, von vordringlicher Bedeutung.

Um Aussagen über Bestand und Zustand, Leistungsfähigkeit und Koordination zwischen den Einbauten zu ermöglichen, sollten diese Kenntnisse in einem einheitlichen Leitungsinformationssystem (LIS) gespeichert und verwaltet werden, das allen Berechtigten gesicherten Zugriff gewährleistet. [...]

Aufgrund der raschen Entwicklung, insbesondere auch auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung, und der gestiegenen Anforderungen an einen umfassenden Umweltschutz, hat der nunmehrige Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband im Jahr 1998 eine überarbeitete und im Umfang stark erweiterte Fassung des ÖWAV-Regelblatts 21 veröffentlicht.

Damit die Betreiber die Zielsetzung der funktionalen Werterhaltung für ihre Anlagen möglichst effizient umsetzen, wurde in der Novelle 2006 der Förderungsrichtlinien 1999 die Erstellung von digitalen Katastern für Kanalanlagen und Wasserversorgungsanlagen erstmals als Fördergegenstand aufgenommen.“ (OEVGW-Richtlinie-W-104 2010)

2.6 Richtlinie W 105: Schadensstatistik, Erfassung und Verarbeitung von Schadensereignissen

„Mit der vorliegenden Publikation wird den Vorgaben der nachstehend genannten Richtlinien Rechnung getragen und die Erfassung und Auswertung von Schäden standardisiert.

Die ÖVGW-Richtlinie W 100 definiert die Schadensstatistik als Erfassung und Auswertung von Schäden und Schwachstellen in Wasserverteilleitungen. Weiteres ist laut dieser Richtlinie eine aussagekräftige Schadensstatistik für eine effiziente Instandhaltungsstrategie unabdingbar. Die ÖVGW-Richtlinie W 100 gibt daher vor, als zentrales Instrument eine Schadensstatistik zeitnah zu führen. Zur objektiven Schadensdokumentation ist eine Erfassung von Schäden mit Hilfe standardisierter Schadenformulare zweckmäßig.

Die ÖVGW Richtlinie W 85 beinhaltet [...] zur Auswertung von Schadensaufzeichnungen nach Bauteil, Leitungsart sowie fremdverursachte Schäden.

Gemäß ÖVGW-Richtlinie W 63 hat unter anderem das Führen und Auswerten einer Schadensstatistik wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Instandhaltungsstrategie. Im Zuge der Schadensbehebung sind die Schadensart sowie die relevanten Leitungsdaten (Dimension, Werkstoff, Verbindungsart, Baujahr) zu erheben und in einer Schadensdatei zu dokumentieren.“ (OEVGW-Richtlinie-W- 105 2011)

2.7 Wasserbedarf von österreichischen Haushalten

Der Wasserbedarf von Österreich wird in Litern pro Person und Tag angegeben. Durch unterschiedliche Haushaltsgrößen kann der Wasserbedarf von Haushalt zu Haushalt variieren. Der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf pro Person und Tag in einem Haushalt beträgt ca. 135 Liter. Dieser wird in Abbildung 3 dargestellt, sowie die Verteilung des verbrauchten Wassers (Neunteufel et al. 2010).

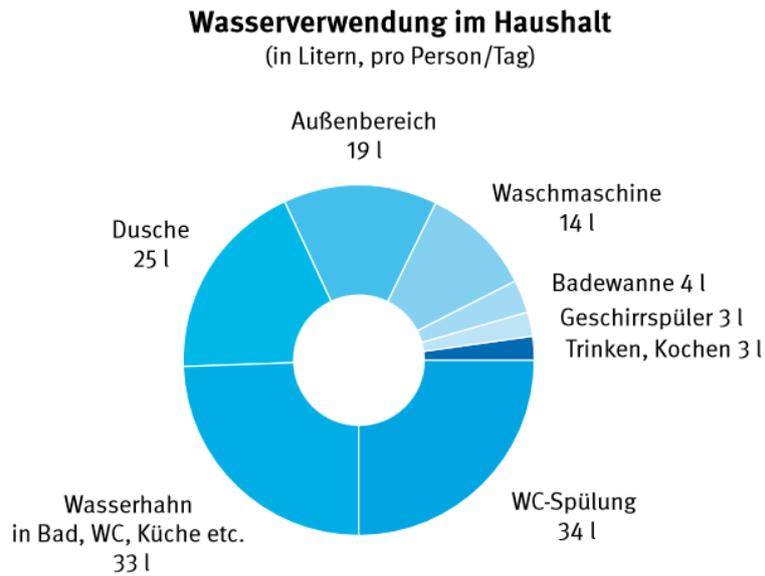


Abbildung 3: Wasserverwendung im Haushalt (Neunteufel et al. 2010)

Die WVU stellen zum Wasserverbrauch in Haushalten, Gewerbe- und Industriebetriebe zusätzliches Wasser bereit, um Wasserverluste im Versorgungsnetz auszugleichen. Diese Verluste können in scheinbare und reale Verluste eingeteilt werden. Bei scheinbaren Wasserverlusten handelt es sich um Zählerabweichungen und unzulässige Entnahmen. Die realen Wasserverluste entstehen durch Leckagen an Rohrleitungen, Behältern oder Hausanschlüssen. Zusätzlich muss ein WVU, Wasser für den Eigenverbrauch, die Feuerwehr und Straßenreinigung bereitstellen. Diese zusätzlichen „nicht in Rechnung gestellten Wassermengen“ (NRW) müssen vom Wasserversorger aufgebracht werden, damit der Betrieb von Trinkwasserversorgungssystemen (TVS) aufrechterhalten bleiben kann (Neunteufel et al. 2010). Die gesamte Wassermenge, welcher der WVU aufzubringen hat um das Versorgungsnetz zu versorgen, wird auch als Systemeinspeisung bezeichnet. Die Zusammensetzung der Systemeinspeisung im Versorgungsnetz wird in Abbildung 4 dargestellt.

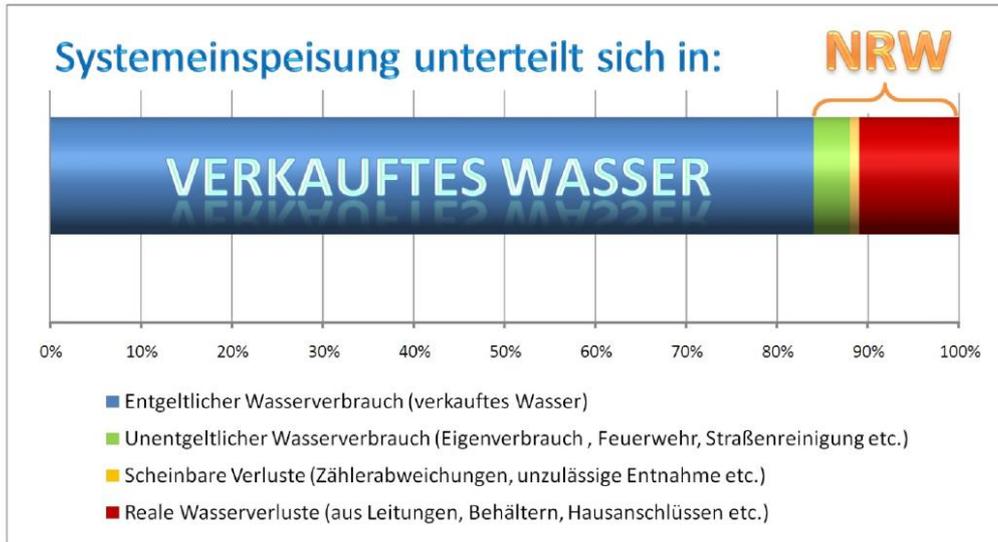


Abbildung 4: Durchschnittliche Anteile der Systemeinspeisung (OEVGW-Richtlinie-W63 2009)

2.7.1 Wasserverbrauch von Gewerbe und Industrie

Zusätzlich zu Haushalten muss, sofern vorhanden, ein WVU auch Gewerbe- und Industriebetriebe mit Wasser versorgen. Der jeweilige Wasserverbrauch wird vorwiegend durch die Art des Gewerbe- bzw. Industriebetriebes bestimmt. Aber auch die tägliche Arbeitszeit, Angestelltenanzahl und produzierte Menge beeinflusst den Wasserverbrauch maßgeblich (Neunteufel et al. 2010). Tabelle 1 stellt Richtwerte der Wasserverbräuche von unterschiedlichen Gewerbe- und Industriebetrieben dar.

Tabelle 1: Zusammenfassung Wasserverbrauch von Industrie und Gewerbe (Neunteufel et al. 2010)

Wasserverbrauchsdaten Industrie und produzierendes Gewerbe	Zusammenfassung aller Angaben (Studien, Normen, Fachliteratur etc.)						Einheit
	Min	25%	Med	75%	Max	Mittel	
Steinkohle			12				Liter pro Kilogramm
Steinkohle-Koks			1				Liter pro Kilogramm
Pkw			10				Liter pro Kilogramm
Stahl	44	47	50	75	100	64,7	Liter pro Kilogramm
Mineralöl			0,3				Liter pro Kilogramm
Zellstoff			200				Liter pro Kilogramm
Zeitungspapier			15				Liter pro Kilogramm
Papier			27				Kubikmeter pro Hektar Betriebsareal und Stunde
Kunstfasern			200				Liter pro Kilogramm
Fleisch- und Wurstwaren			2				Liter pro Kilogramm
Früchte- und Gemüsenkonserven			5				Liter pro Kilogramm
Fischkonserven			40				Liter pro Kilogramm
Seifenfabriken			15				Kubikmeter pro Hektar Betriebsareal und Stunde
Färberein und Ausrüstereien			36				Kubikmeter pro Hektar Betriebsareal und Stunde
Molkerei	0,6	1	1,5	1,8	4	1,8	Liter pro Liter Milch
Molkerei			36				Kubikmeter pro Hektar Betriebsareal und Stunde
Brauerei	3	3,4	4,25	6,25	10	5,4	Liter pro Liter Bier
Brennerei (je Liter Maische)			2				Liter pro Liter Maische
Zuckerfabrik	30	180	865	1500	1500	815	Liter pro Tonne Rüben
Zuckerfabrik			0,24				Kubikmeter pro Hektar Betriebsareal und Stunde
Schlachthof	60	240	1150	2750	5000	1.840	Liter pro Großvieheinheit
Schlachthof	1600		5300		9000	5.300	Liter pro Tonne
produzierendes Gewerbe			134			134	Liter pro Angestellten und Tag

2.7.2 Einfluss von Strukturänderung auf die Systemeinspeisung

Die Struktur der Wassernetze von Städten und Gemeinden entwickelte sich über längere Perioden. Der demographische Wandel und vor allem auch der vermehrte Zuzug aus ländlichen Versorgungszonen in urbane Gebiete stellen für Wasserversorger bereits heute große Herausforderung dar. Oftmals stoßen bestehende Netze an die Grenzen der Leistungsfähigkeit, da die Netze nicht für die zugezogenen Einwohneranzahlen dimensioniert sind.

Mit einer vorausschauenden Städteplanung soll gezielt in den Flächenwidmungsplan eingegriffen werden. Mit Umwidmungen von landwirtschaftlichen Flächen zu Gewerbe- oder Wohngebieten seitens der Gemeinden, wird es dem WVU erleichtert, eine vorausschauende Erneuerungs- und Rehabilitationsplanung zu erarbeiten und auf Strukturänderungen der Versorgung entsprechend zu reagieren. Damit soll das Versorgungsgebiet auch in Zukunft unter Berücksichtigung des demographischen Wandels (Landflucht bzw. Zuzug) ausreichend mit Trinkwasser versorgt werden

können. Hierbei stellt nicht nur das Rohrleitungsnetz einen limitierenden Faktor dar, sondern auch die Wasserspeicherkapazitäten und die Wassergewinnung.

3 Entwicklung und Aufbau von ITVS

Beim Begriff intelligente (Versorgungs-) Netze handelt es sich um eine Übersetzung des englischen Terminus Smart Grids (intelligente Netze), der ursprünglich aus der elektrischen Energieversorgung stammt. Mittlerweile wird dieser Fachbegriff auch für Gas- und Wassernetze angewendet, wenn bestimmte Voraussetzungen für den Betrieb von Versorgungsnetzen erfüllt sind.

3.1 Definition laut österreichischer Technologieplattform zum Thema Smart Grids

„Smart Grids sind Stromnetze, welche durch ein abgestimmtes Management mittels zeitnaher und bidirektionaler Kommunikation zwischen

- *Netzkomponente*
- *Erzeugern*
- *Speichern und*
- *Verbrauchern*

einen energie- und kosteneffizienten Systembetrieb für zukünftige Anforderungen unterstützen“ (Österreichische Technologieplattform zum Thema Smart Grids 2015).

Die oben angeführte Definition wurde für elektrische Energieversorgung formuliert. Allerdings kann die genannte Definition auf ITVS übertragen werden, da diese dieselben Bestandteile aufweisen. Die Netzkomponente stellt das Verteiler- bzw. Versorgungsnetz der WVU dar. Die Erzeugung beschreibt die Wassergewinnung und das Speichern stellt die Zwischenspeicherung des Trinkwassers in Behältern dar, bis dieses zum Endverbraucher verteilt wird.

3.2 Grundsätzlicher Aufbau von intelligenten Netzen

Ein intelligentes Netz besteht aus zwei wesentlichen Infrastruktureinheiten. Eine der beiden Infrastruktureinheiten stellt die Ebene des Versorgungsnetzes mit dem zu versorgenden Medium dar. Die zweite Infrastruktureinheit beschreibt die Informationstechnologie, welche die „intelligente Komponente“ darstellt und umfasst Messgeräte, Datenübertragung, Datenaufbereitung, Analyse-, Steuer- und Regelungseinheiten. Durch Kombination beider Infrastruktureinheiten, welche in Abbildung 5 dargestellt werden, ergeben sich neuere Anwendungsbereiche, wodurch zukünftige Anforderungen durch effizienten Mitteleinsatz umgesetzt werden können.

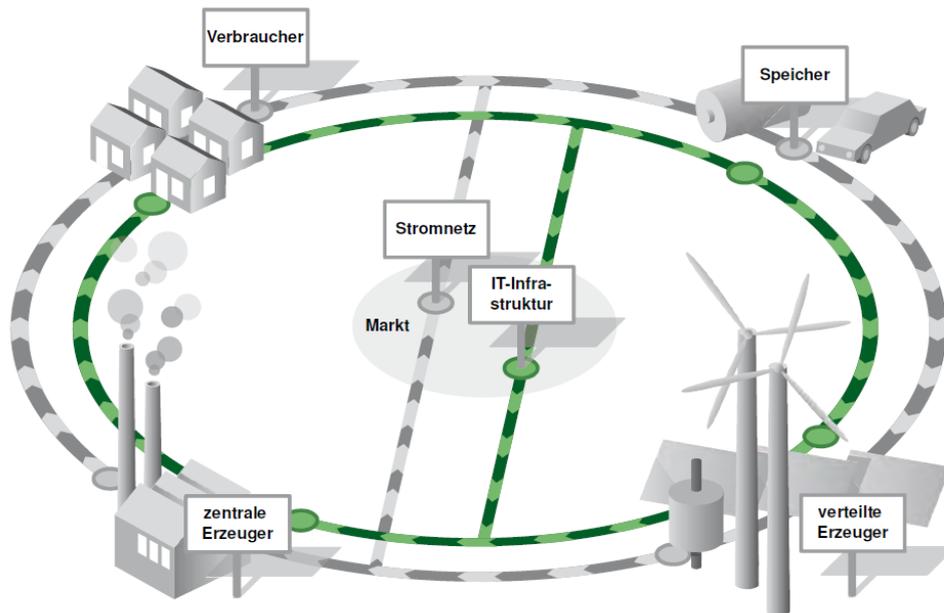


Abbildung 5: Funktionsprinzip der intelligenten Netze am Beispiel von intelligenten Stromnetzen (Lugmaier et al. 2015)

Dieser grundsätzlicher Aufbau von Infrastruktur- und Informationseinheit können auf ITVS angewendet werden. Hierbei kann die Informationseinheit auf vier separat abgegrenzte Layer aufgeteilt werden.

SWAN Forum 2015 empfiehlt eine Einteilung der ITVS-Komponenten in eine 5-Layerstruktur.

Intelligente TVS können wie folgt in Einzelsysteme gegliedert werden. Laut SWAN Forum 2015 kann ein ITVS in fünf voneinander abgegrenzte Layer eingeteilt werden. Diese Ebenen stehen in Abhängigkeit untereinander und interagieren laufend beim Betrieb eines Trinkwasserversorgungssystems als Smart Water Network.

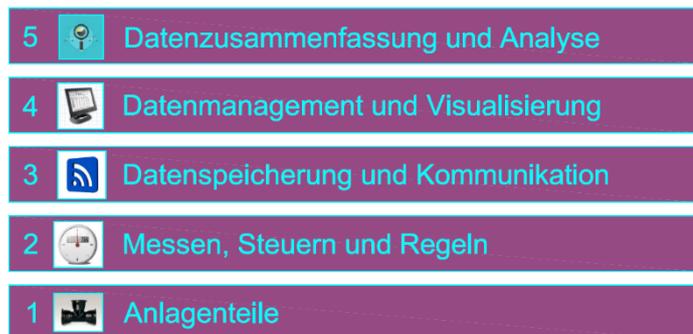


Abbildung 6: Aufbau von intelligenten Trinkwasserversorgungssystemen (i.A. The SWAN Forum 2015)

Die erste Ebene beinhaltet die physischen, im Netz verbauten Bestandteile der Infrastruktur, welche notwendig sind, um eine Wasserversorgung aufrechterhalten zu können. Diese beginnt bei der Wassergewinnung vom WVU und endet bei den Wasserentnahmestellen der Verbraucher.

Bei der zweiten Ebene handelt es sich um Messgeräte, Steuerungs- und Regelungseinheiten. Messgeräte werden zum Erfassen von unterschiedlichen Messgrößen verwendet, wohingegen Steuer- und Regelungseinheiten für die

Ausführung von Befehlen verwendet werden, welche durch Signale von Messsensoren bzw. des bedienende Personal veranlasst werden. Beispiele für Steuer- und Regelungsaufgaben können das Öffnen oder Schließen von Ventilen/Schiebern oder auch das Steuern bzw. Regeln von Pumpen im Bestandsnetz sein.

Die dritte Ebene ist für die Kommunikation der Mess-, Steuer- und Regelungseinheiten sowie für die Datenspeicherung verantwortlich. Hierbei kann die Datenübertragung mit Hilfe unterschiedlicher, dem Zweck der Anwendung entsprechenden, Kommunikationsarten erfolgen. Hierbei werden die digitalen Steuer- und Regelungsbefehle vom vierten Layer über die Kommunikation an den zweiten Layer übermittelt, welcher Befehle aus der Entscheidungsfindung (Ebene 5) ausführt bzw. Messwerte erfasst.

Die vierte Ebene beschäftigt sich mit dem Datenmanagement und der Visualisierung des erhobenen Datenmaterials. Durch das Datenmanagement wird die Gesamtheit der Datenverwaltung beschrieben und zusätzlich werden Steuer- und Regelungsbefehle über die Kommunikation (Ebene 3) an die Ausführungseinheiten (Ebene 2) weitergegeben.

Die fünfte Ebene beinhaltet die Zusammenfassung des gesammelten Datenmaterials und deren weitere Verwendung. In dieser Ebene sind zudem Aspekte der Entscheidungsfindung integriert, welche automatisiert oder im Beisein des verantwortlichen Bedienungspersonals getroffen werden. Zusätzlich können Steuerungs- und Regelungsbefehle, sowie automatisierte Aufgaben definiert werden, welche über die zweite Ebene (Messen, Steuern und Regeln) ausgeführt werden (SWAN Forum 2015).

3.3 Anlagenteile

Der erste Layer beinhaltet im wesentlichen die Bauteile bzw. Anlagenteile eines TVS. Dieser besteht aus Behältern, Transport- und Verteilungsleitungen, Armaturen, Pumpen, Ventile, Druckerhöhungsanlagen und Druckmindersventilen des Versorgungsnetzes. Diese Ebene besteht aus jenen Bauteilen,



Abbildung 7: Layer 1, Anlagenteile

welche mit dem Wasser in Verbindung gebracht werden, begonnen bei der Wassergewinnung bis hin zur Infrastruktur der Endverbraucher (SWAN Forum 2015).

3.3.1 Historische Entwicklung von Wasserversorgungsnetzen

Die Entwicklung von Wasserversorgungssystemen reicht bis zur Bronzezeit (ca. 3200–1100 v. Chr.) zurück (Mays et al. 2007). Damals wurden Brunnen verwendet, um den Bedarf der Bevölkerung an Wasser zu decken (Mays et al. 2007). Im zweiten Jahrhundert vor Christus wurden im antiken Griechenland in einem städtischen Gebiet die ersten Druckrohrleitungen, Brunnen, Zisternen und Behältern aufgebaut und in Betrieb genommen, welche aus Terrakotta und Blei hergestellt wurden (Crouch 1998). Zusätzlich wurde Wasser aus weiter Entfernung und mithilfe von Tunneln und Aquädukten, welche bis in das sechste Jahrhundert v. Chr. datiert wurden, gefördert (Crouch 1998). Diese Art der Wasserversorgung wurde von den Römern (ca. 100 v. Chr. bis 500 n. Chr.) übernommen und weiterentwickelt (Mays 2007). Dadurch wurde es ermöglicht, Wasser über weite Distanzen hinweg in Städte zu befördern.

Mit dem Fall des römischen Imperiums im fünften Jahrhundert nach Christus zerfiel in gewisser Weise die Gesellschaft. Das bereits erlangte Ingenieurwissen geriet in Vergessenheit und es folgte das Mittelalter (500 bis 1500), in der keine Fortschritte im Bereich der Wasserversorgung gemacht wurden. Das Wissen über die Wasserversorgung wurde in dieser Zeit nicht vergessen, dennoch wurde die Wasserversorgung nicht in der Form umgesetzt, wie sie beispielsweise von den Römern praktiziert wurde. Der wenig fortschrittliche Umgang mit Abwässern und deren Entsorgung führte zu schlechten sanitären Bedingungen, da Abwässer, Abfall und dergleichen auf Straßen entsorgt wurden, was in Folge zu verschmutzten Trinkwasserbrunnen und in weiterer Folge zu untragbaren hygienischen Zuständen führte (Gray 1940).

Erst im Zuge der Renaissance (1400 bis 1700) wurde das in Vergessenheit geratene Wissen erneut erlangt und die Wasserversorgung erfuhr einen erneuten Aufschwung (Walski 2006). Mitte des 17. Jahrhunderts wurde in England ein

Wasserversorgungsnetz mit einer Länge von über 50 Kilometer gebaut, welches aus Holz-, Gusseisen- und Bleirohren bestand (Walski 2006). Einige dieser Rohrleitungen befinden sich noch heute im Betrieb. Danach entwickelte sich diese Art der Wasserversorgung mit neueren Technologien, wie Wasserhebeanlagen mit Pferden oder Flüssen (Mala-Jetmarova et al. 2014). 1860 wurden die ersten dampfbetriebenen Pumpen verwendet, welche in Chicago zum Einsatz kamen (Walski 2006). Während des 20. Jahrhunderts wurden diese Pumpen durch elektrisch betriebene Zentrifugalpumpen ersetzt (Walski 2006). Anschließend wurden diese Pumpen mit höheren Wirkungsgraden, schnelleren Umdrehungszahlen und kleineren Bauformen optimiert. Heutzutage können elektrische Pumpen auch lastengesteuert betrieben werden.

1930 wurde in Deutschland der Werkstoff Polyvinylchlorid (PVC) entdeckt, welcher neue Möglichkeiten und Standards für die Herstellung und Verlegung von Rohrleitungen ermöglichte (Walski 2006). Erst 1972 wurde für Rohrleitungen aus PVC ein gemeinsamer Standard eingeführt, damit diese wie metallische Leitungen kompatible Durchmesser hatten (Walski 2006). Asbestzementleitungen wurden vorwiegend im 20. Jahrhundert verwendet, aufgrund der krebserregenden Wirkung bei der Verarbeitung von Asbest wird dieser Werkstoff nicht mehr eingesetzt (Walski 2006). Seit 2005 ist die Verwendung von Asbest in der gesamten Europäischen Union verboten (Deutsches Krebsforschungszentrum 2015). Der Betrieb von Asbestzementleitungen im TVS ist unbedenklich. Auch Bleileitungen werden nicht mehr verwendet, sodass nur mehr Stahl-, Gusseisen- und Kunststoffrohre, der neueren Generation im Trinkwassernetz zum Einsatz kommen.

3.3.2 Anlagenteile der Wasserversorgung

Wasserversorgungsanlagen bestehen aus mehreren Anlagenteilen und können in nachfolgende Infrastrukturbestandteile eingeteilt werden:

- Wassergewinnung
- Wasseraufbereitung
- Wasserspeicherung
- Wassertransport und Wasserverteilung

Abbildung 8 stellt den Aufbau einer Trinkwasserversorgung dar.

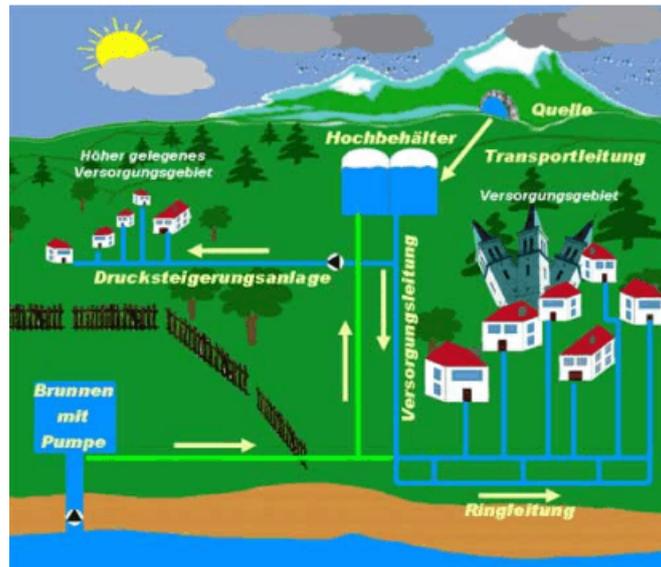


Abbildung 8: Aufbau einer Trinkwasserversorgung (Stadtwerke St. Vith 2015)

3.3.2.1 Wassergewinnung

Die Wassergewinnung von Trink- und Nutzwasser kann in ober- und unterirdische Gewinnung unterteilt werden. Zu den unterirdischen Wässern gehören Grund- und Quellwässer. Als oberirdisches Wasser werden die Niederschlags- und Oberflächenwässer bezeichnet. „Die Versorgung mit Grundwasser gilt heute im Allgemeinen als die hygienisch beste Art der Wasserversorgung“ (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Aber auch Quellwasser kann unter günstigen Voraussetzungen gleiche hygienische Eigenschaften wie Grundwasser aufweisen. Oberflächenwässer hingegen sind schwer vor Beeinträchtigungen zu schützen, wodurch diese ohne entsprechende Aufbereitung nicht als Trinkwasser geeignet sind. Dadurch werden Oberflächenwässer für Gewerbe- und Industriebetriebe als Nutzwasser genutzt. (Fuchs-Hanusch et al. 2014)

3.3.2.2 Wasseraufbereitung

Wasser, welches nach der Erschließung nicht den hygienischen Anforderungen von Trinkwasser entspricht, muss vor der Verteilung zum Endverbraucher entsprechend aufbereitet werden. Bei manchen Brunnen, welche von einem Grundwasserkörper Wasser fördern, ist es möglich, dass Sandteilchen zusätzlich zum Wasser gefördert werden. Um diese Sandteilchen aus dem Wasser zu entfernen wird eine Entsandung vorgenommen. Aber auch eine physikalisch-chemische Aufbereitung kann vorgenommen werden, wobei aggressive Kohlensäuren, gelöste Eisen- und Manganverbindungen aus dem Rohwasser entfernt werden. Mit einer Desinfektion kann ein weiterer Wasseraufbereitungsschritt realisiert werden, indem Mikroorganismen vom Trinkwasser entfernt werden, wodurch eine Verkeimung im Verteilnetz verhindert werden soll. Ein weiterer Verfahrensschritt kann eine

Membranfiltration sein, wodurch Trübstoffe und Mikroorganismen aus dem Trinkwasser entfernt werden. (Fuchs-Hanusch et al. 2014)

3.3.2.3 Wasserspeicherung

Wasserspeicher werden benötigt, um Schwankungen des täglichen Wasserbedarfs ausgleichen zu können. Zusätzlich sollen Wasserreserven für Betriebsstörungen und Löschwasser vorgehalten werden. Durch die Berücksichtigung dieser Störreserven und fluktuierenden Wassermenge bei der Dimensionierung der Behälter soll die ausreichende Versorgung mit Trinkwasser im Versorgungsnetz sichergestellt werden. Für die bauliche Ausführung von Wasserspeichern kommen unterschiedliche Bauformen zur Anwendung. Diese können als Hochbehälter, Tiefbehälter, Löschwasserbehälter, Talsperren und Untergrundspeicher ausgeführt sein. Wasserspeicher sollen nach Möglichkeit in der Nähe des Verbrauchsschwerpunktes positioniert werden. Zudem soll die Situierung von Hochbehältern dermaßen festgelegt werden, dass das Versorgungsgebiet für alle Betriebsfälle mit ausreichend Druck versorgt werden kann und zusätzlich Löschwasserreserven vorgehalten werden. (Fuchs-Hanusch et al. 2014)

3.3.2.4 Wassertransport und Wasserverteilung

Mit dem Wassertransport und der Wasserverteilung soll das geförderte und bei Bedarf aufbereitete Trinkwasser von der Wassergewinnung bis zum Endverbraucher transportiert und verteilt werden. Durch die Materialauswahl der Rohrleitungen, darf das Wasser nicht nachteilig beeinflusst werden.

Durch eine zentrale Wasserversorgungsanlage soll eine einwandfreie Versorgung mit Wasser sichergestellt werden. Zusätzlich können einzelne Wasserversorgungsanlagen durch Transportleitungen miteinander verbunden werden, wodurch eine Absicherung bzw. Redundanz in der Versorgungssicherheit gewährleistet wird. Diese zusammenhängenden Wasserversorgungsanlagen sind über weite Distanzen mit entsprechenden Fern- und Zubringerleitungen miteinander verbunden und werden als Gruppenwasserversorgung oder Wasserverbände bezeichnet. Eine weitere Voraussetzung für den Zusammenschluss von mehreren Wasserversorgungsanlagen ist, dass mehrere voneinander unabhängige Wassergewinnungsstellen vorhanden sein müssen. (Fuchs-Hanusch et al. 2014)

3.3.3 Werkstoffe in der Ausführung

Um eine einwandfreie Versorgung mit Trinkwasser gewährleisten zu können, ist es notwendig, bei der Ausführung Werkstoffe auszuwählen, welche den jeweiligen nationalen Zulassungen entsprechen (OEVGW 2015). Mögliche Anforderungen können die inneren und äußeren Beanspruchungen darstellen. Innere Kräfte treten als Druckkräfte bzw. Druck- oder Zugbeanspruchung auf. Äußere Kräfte können durch Setzungen, die Art der Verlegung, die Bodenart oder aufgrund von Krafteinwirkungen durch Verkehr entstehen. Bei der Werkstoffauswahl muss darauf

geachtet werden, dass die auftretenden Kräfte aufgenommen werden können, ohne dass Beschädigungen am Werkstoff entstehen.

Bei der Neuerrichtung von Rohrleitungen bzw. beim Austausch und Erneuerung von Abschnitten kommen vorwiegend folgende Werkstoffe zur Anwendung:

- Stahl
- Gusseisen
- Stahlbeton
- Polyvinylchlorid
- Polyethylen

Bauteile wie Schieber, Formstücke und Hydranten, werden meist aus denselben Werkstoffen bzw. aus einer Kombination dieser gefertigt. In Abbildung 9 werden beispielhaft die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Werkstoffe in einem TVS illustriert.

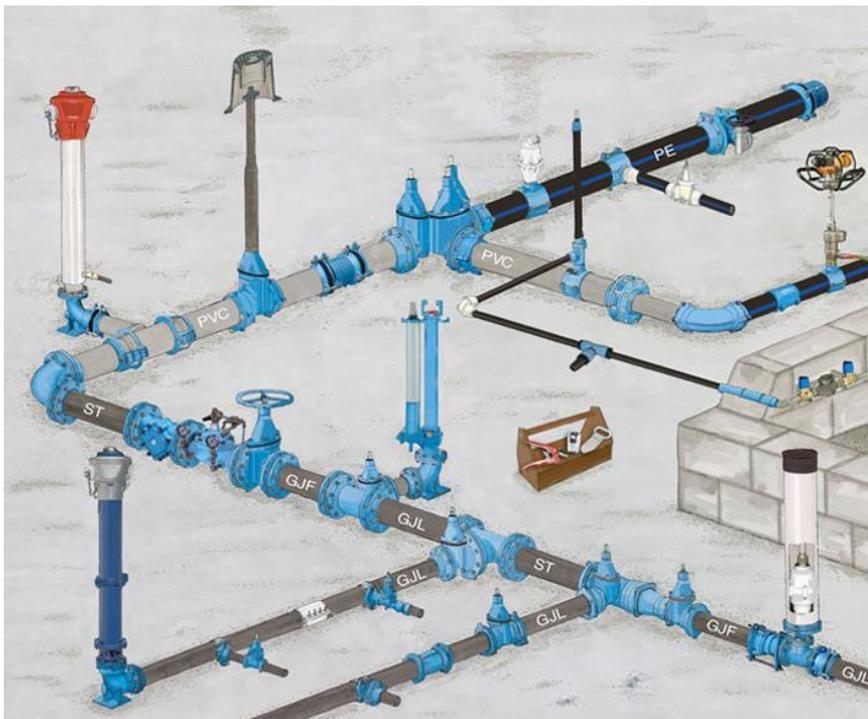


Abbildung 9: Materialien in Trinkwassernetzen (E. Hawle Armaturenwerke GmbH 2015)

3.4 Messen, Steuern und Regeln

Mit der Entwicklung von neuen Messverfahren und Technologien zur Steuerung und Regelung verschiedener Bauteile wurde es möglich, diverse Einbauten wie strategische Ventile basierend auf erreichten Grenzwerten oder durch Fernzugriff des



Leitwartenpersonals zu steuern bzw. zu regeln. Im

Abbildung 10: Layer 2, Messen und Steuern

Anwendungsbereich der Wasserversorgung kommen neben Druck- und Durchflusssensoren auch weitere Messgeräte wie Füllstandssensoren oder Wasserqualitätssensoren zur Anwendung.

Bei der Vielzahl der am Markt angebotenen Sensoren ist im Hinblick auf eine erfolgreiche Installation und Einbindung in einem intelligenten Trinkwasserverteilnetz besonders darauf zu achten, dass die jeweiligen Sensoren auf den Zweck der Verwendung angepasst sind. Beispielsweise sollen Drucksensoren, welche im Netz ausgebracht werden, gemäß den zu erwartenden Drücken im Versorgungsnetz ausgewählt werden, um den Messbereich möglichst auszunutzen und die damit einhergehenden (Mess-) Unsicherheiten möglichst gering zu halten. Die Auswirkungen von nicht ordnungsgemäß ausgewählten Messgeräten auf die erfassten Messdaten werden in Kapitel 5.2.2 noch im Detail betrachtet.

Die Messgeräte in Kombination mit Aktoren stellen die Grundlage für ITVS dar, da mit diesen Messgrößen erfasst und gegebenenfalls gezielt in das WVS eingegriffen werden kann.

3.4.1 Signalumwandlung

Aufgrund der Tatsache, dass die Messgeräte analoge Signale übertragen, müssen diese für eine digitale Verarbeitung umgewandelt werden. Hierzu werden spezielle Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) verwendet. Diese A/D-Wandler sind meist kleinere elektronische Bauteile und werden mit dem analogen Ausgangssignal der Messgeräte verbunden, damit eine Umwandlung in den digitalen Wertebereich ermöglicht wird. Mit diesen digitalisierten Werten wird die Auswertung umgesetzt. Es gibt verschiedene Verfahren, um analoge in digitale Signale umzuwandeln:

- Parallelverfahren
- Wägeverfahren
- Zählverfahren
- Kaskadenverfahren

Aufzählung lt. (Heinecke 2000).

In Abhängigkeit vom Genauigkeitsbereich und Messwerterhebungsgeschwindigkeit der A/D-Wandler gibt es verschiedene Anwendungsbereiche, welche bei der Auswahl berücksichtigt werden müssen. Dadurch können für echtzeitfähige Informationssysteme A/D-Wandler verwendet werden, welche das Wäge-, Kaskaden- oder Parallelverfahren anwenden. Wird ein Messwert in größeren Zeitintervallen erhoben, können A/D-Wandler mit dem Zählverfahren verwendet werden. In Abbildung 11 werden die einzelnen Verfahren bezogen auf Abtastfrequenz und Auflösung dargestellt. Die Auflösung wird in binärer Schreibweise ausgegeben, je nach Bitanzahl gibt es 2^n Möglichkeiten für die Beschreibung eines diskreten Zahlenwertes. Mit einer höheren Anzahl an Bits ergibt sich ein genauerer Messwert, wodurch Rundungsfehler minimiert werden.

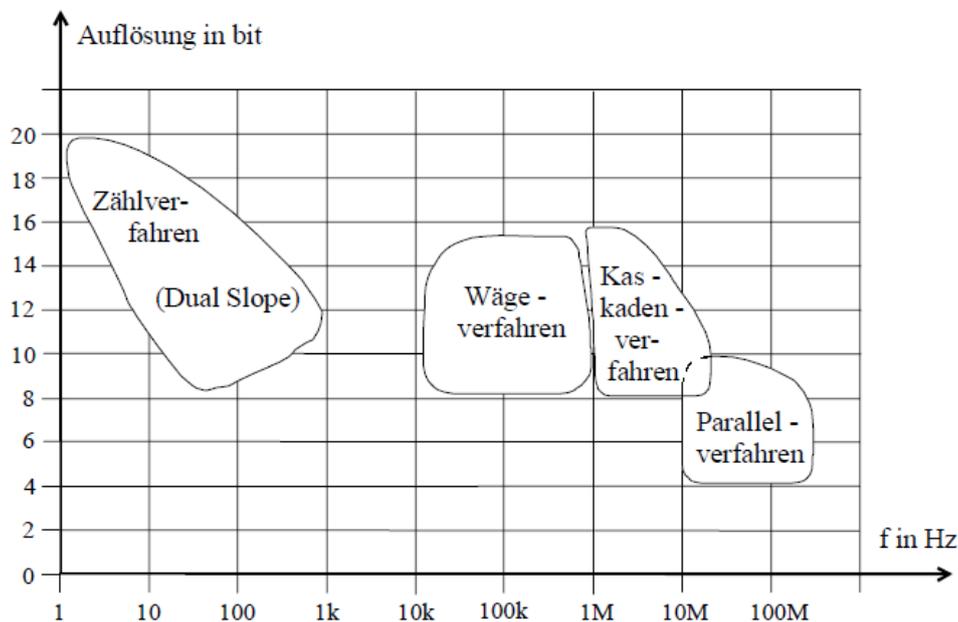


Abbildung 11: Anwendungsbereich in Abhängigkeit der Abtastfrequenz und Auflösung (Heinecke 2000)

Mit diesen A/D-Wandlern werden die analogen Messsignale von den Messgeräten, in digitale diskrete Zahlenwerte umgewandelt, die im Anschluss von Computern in Kombination mit geeigneter Software verarbeitet werden. Abbildung 12 zeigt die Gegenüberstellung eines analogen Signales, wie es durch ein Messgerät aufgenommen wird, mit einem diskreten digitalisierten Messwert, welcher für die softwareunterstützte Auswertung genutzt wird.

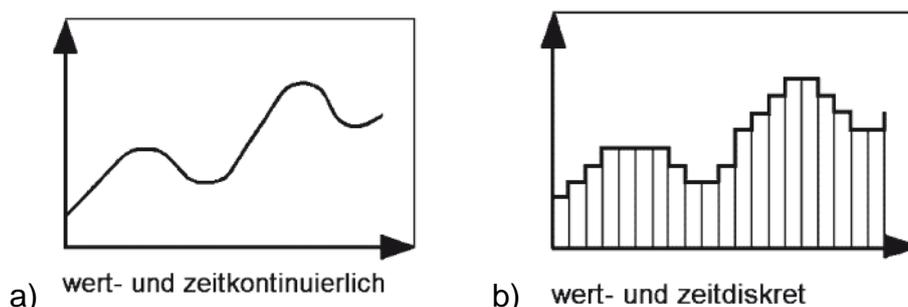


Abbildung 12: a) Analoges und b) diskretes Messsignal (Hesse und Schnell 2011)

3.4.2 Technische Entwicklung von Durchflussmessgeräten

Im Jahre 1730 wurde von Henri Pitot das erste Messgerät zur Ermittlung von Durchflussmengen (Pitotrohr) entwickelt (Walski 2006). Mit diesem wurde die Geschwindigkeit von Strömungen in einem definierten Querschnitt ermittelt. Unter Zuhilfenahme der Kontinuitätsgleichung kann auf die Durchflussmenge geschlossen werden. Dieses Messgerät wurde 1875 von Hiram Mills genutzt, um die Ausflussmenge von Hydranten zu messen (Walski 2006). Obwohl der italienische Wissenschaftler Giovanni Battista Venturi den ersten Venturikanal im frühen 18. Jahrhundert erfunden hatte, wurde der erste praktisch funktionierende Venturikanal von Clemens Herschel im späten 18. Jahrhundert entwickelt (Walski 2006).

Der erste Zähler, welche man mit heutigen Hauswasserzählern vergleichen kann, ist der Hubkolbenzähler und wurde von William Sewell im Jahr 1850 entwickelt (Walski 2006). J. A. Tilden reichte 1892 ein Patent für seinen Scheibenzähler ein und 1903 folgte ein weiteres, bei dem mit einer Turbine geringe bis sehr große Durchflüsse gemessen werden konnten (Walski 2006). Durch die Entwicklung von elektromagnetischen Messgeräten in den späten 1950 er Jahren wurde es möglich, auf mechanische Getriebe- und Zählleinheiten zu verzichten (Walski 2006). Trotz dieser Errungenschaft kommen auch heutzutage noch mechanische Zähler zum Einsatz, welche vorwiegend bei häuslichen Wasseranschlüssen verwendet werden.

3.4.3 Arten der Wasserzählung / Durchflussmessung

Im Bereich der Wasserzähler gibt es verschiedenste Methoden um die verbrauchte/abgegebene Menge an Trinkwasser zu erfassen. Diese können in die Akkumulations-, Impuls- und Intervallmessung eingeteilt werden. Die Messprinzipien werden in Abbildung 13 dargestellt (Marchment Hill Consulting 2010).

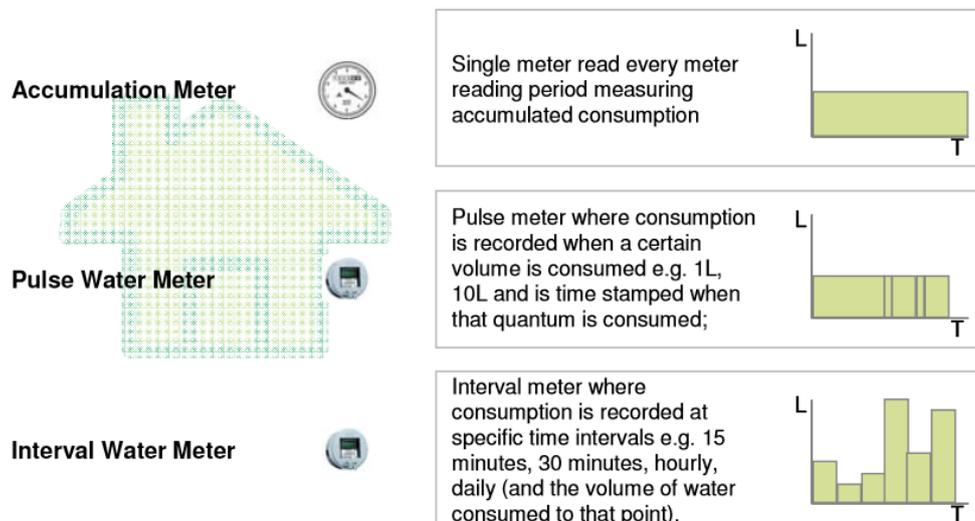


Abbildung 13: Wasserzählarten: Akkumulations-, Impuls- und Intervallmessung (Marchment Hill Consulting 2010)

Die akkumulierte Messung beschreibt eine jährliche/quartalsmäßige/monatliche Erfassung des verbrauchten Trinkwassers mittels eines Zählwerkes in einem Haushalt bzw. Wasserabnehmers.

Die Impulsmessung beschreibt und misst den Verbrauch einer bestimmten Wassermenge. Ist diese Wassermenge verbraucht, wird der Impulszähler inkrementiert und mit einer Zeitsignatur versehen. Die Verbrauchsmenge, bevor der Impulszähler erhöht wird, kann zwischen einem und mehreren hundert Liter liegen (Boyle et al. 2013).

Durch die Verwendung von Intervallmessgeräten wird der aktuelle Wasserverbrauch gemessen. Die Messung wird in periodischen Abständen wiederholt und mit einer Zeitsignatur versehen, damit diese zugeordnet werden können. Die Messintervalle können 15, 30, 45 Minuten betragen, aber auch stündlich oder täglich vorgenommen werden (Boyle et al. 2013). Aber auch individuelle Messintervalle, beginnend bei sekundlichen bis hin zu jährlichen Intervallen, können vom WVU definiert werden, solange diese ein sinnvolles Messintervall für den WVU/Anwender darstellen.

3.4.3.1 Durchflussmesstechnik

Bei Durchflussmessgeräten kann aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Messgeräten mit verschiedensten Einsatzmöglichkeiten ausgewählt werden. Im Bereich von Transportleitungen, in denen große Wassermengen transportiert werden, kommen heutzutage unter anderem magnetisch-induktive Durchflussmesser oder Ultraschallmessgeräte zur Anwendung. Bei kleineren Wasserverbrauchern, wie bei Haus- und Wohnungsanschlüssen oder bei kleineren Unternehmen, kommen Ringkolbenzähler, Mehrstrahlflügelradzähler oder Ultraschallzähler zur Verwendung (Aichele und Doleski 2013). Wiederum müssen das Messprinzip und die Wahl des Messgerätes den Anforderungen an die Datenqualität- und Auflösung entsprechen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit bestehende Geräte im Versorgungsnetz oder beim Verbraucher mittels Kommunikationsmodul zu erweitern, wodurch diese in der Lage sind Messdaten zu übertragen (Aichele und Doleski 2013).

3.4.3.1.1 Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID)

Bei einem MID wird das Prinzip der elektromagnetischen Induktion genutzt. Dieses besagt, dass durch das Bewegen eines elektrischen Leiters durch ein Magnetfeld sich die inneren Leitungselektronen des Leiters mitbewegen (Küpfmüller et al. 2013). Diese Bewegung der Leitungselektronen wird als Stromfluss wahrgenommen und von der Stärke des Magnetfeldes bzw. von der Geschwindigkeit, in der sich der elektrische Leiter durch das Magnetfeld bewegt, beeinflusst (Küpfmüller et al. 2013).

Durch ein nichtmagnetisches Rohr strömt die zu messende Flüssigkeit (Bernard et al. 2006). Von außen wird mittels Spulen ein Magnetfeld senkrecht zur Flussrichtung angebracht (Bernard et al. 2006). Dieses Magnetfeld lenkt die Ladungsträger, Ionen oder geladenen Teilchen ab, welche sich in der leitfähigen Flüssigkeit befinden

(Bernard et al. 2006). Die positiv und negativ geladenen Ladungsträger werden zu den sich seitlich befindenden Elektroden abgelenkt (Bernard et al. 2006). An diesen beiden Elektroden entsteht eine Spannung, welche gemessen wird. Die Höhe der Spannung hängt von der Fließgeschwindigkeit der leitfähigen Flüssigkeit ab, und über den unveränderlichen Querschnitt des MID kann auf den Durchfluss mithilfe der Kontinuitätsgleichung geschlossen werden. Abbildung 14 zeigt das Messprinzip eines MID.

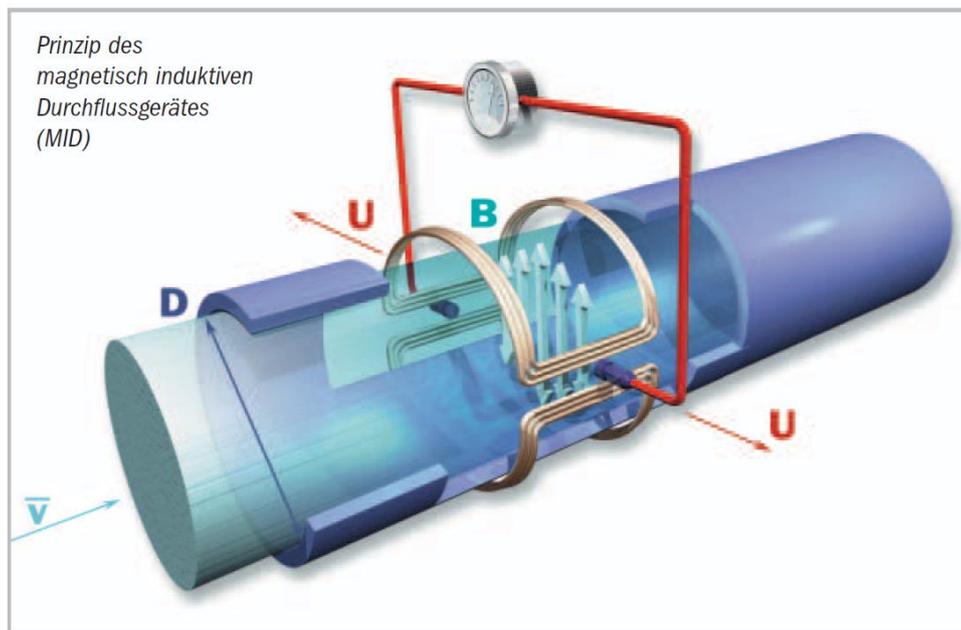


Abbildung 14: Prinzip des magnetisch-induktiven Durchflussmessgerätes (Hofmann 2013)

3.4.3.1.2 Ultraschall-Durchflussmesser (UFM)

Mit den Ultraschall-Durchflussmessgeräten steht eine weitere Möglichkeit zur Verfügung, um den Durchfluss zu ermitteln. Diese Verfahren bestehen vor allem dadurch, dass es nicht in das Medium eingebaut werden muss und auf die Außenseite eines Rohres angebracht werden kann. Beim Ultraschallverfahren gibt es mehrere Verfahrensweisen, wodurch der Volumenstrom festgestellt werden kann. Diese Verfahren sind das Laufzeitdifferenz-, Doppler-, Stroboskop- und Driftverfahren. Nachfolgend wird das Laufzeitdifferenzverfahren beschrieben, da dieses das am häufigsten verwendete Messprinzip darstellt.

Bei der Ultraschallmessung mittels des Laufzeitdifferenzverfahrens beruht das Messprinzip auf der direkten Messung der Laufzeitdifferenz zwischen zwei Ultraschallköpfen (Morgenschweis 2011). Je nachdem mit welcher Geschwindigkeit ein Leitungsabschnitt durchflossen wird, entsteht eine größere bzw. geringere Laufzeitdifferenz (Aichele und Doleski 2013). Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten wird die Laufzeitdifferenz erhöht und bei niedrigeren verringert (Aichele und Doleski 2013). Ist die Strömungsgeschwindigkeit des durchflossenen Mediums bekannt, kann mithilfe der Kontinuitätsgleichung über die Rohrgeometrie auf den Durchfluss geschlossen werden. Abbildung 15 stellt ein Ultraschall-Durchflussmessgerät, speziell für die Anwendung beim Verbraucher, dar.



Abbildung 15: Ultraschallzähler (Diehl Metering GmbH 2015)

3.4.3.1.3 Ringkolbenzähler

Ringkolbenzähler arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. „Ihre Funktion beruht auf der fortlaufenden Abgrenzung von definierten Teilvolumina des Mengenstroms im Messwerk durch fortlaufendes Füllen und Entleeren des Messraumes“ (Mengersen und Schulz 2005). Angetrieben wird der Ringkolbenzähler durch den Druckunterschied zwischen Ein- und Austrittseite des zu messenden Messstromes. Abbildung 16 zeigt den schematischen Aufbau und die Bestandteile eines Ringkolbenzählers. Der Ringkolben (6) wird durch den Ringkolbenzapfen (3) im Ringraum und eine Trennwand (1) geführt. Die Eintrittsöffnung (2) und Austrittsöffnung (7) sind nebeneinander an der Kammerwand (5) des Ringkolbenzählers angeordnet und durch den Ringkolben und eine Trennwand (1) abgedichtet. Der einströmende Messstrom füllt nacheinander die Messkammern mit einem definierten Volumen V_1 und V_2 , bei gleichzeitiger Drehung des Ringkolbens. Beim Erreichen der Austrittsöffnung wird eine Messkammer entleert, währenddessen die zweite Messkammer gefüllt wird. Eine Umdrehung des Kolbenzapfens (4) entspricht einem Durchlauf der beiden Messkammern ($V_1 + V_2$). Abbildung 16 stellt den Messvorgang eines Ringkolbenzählers dar.

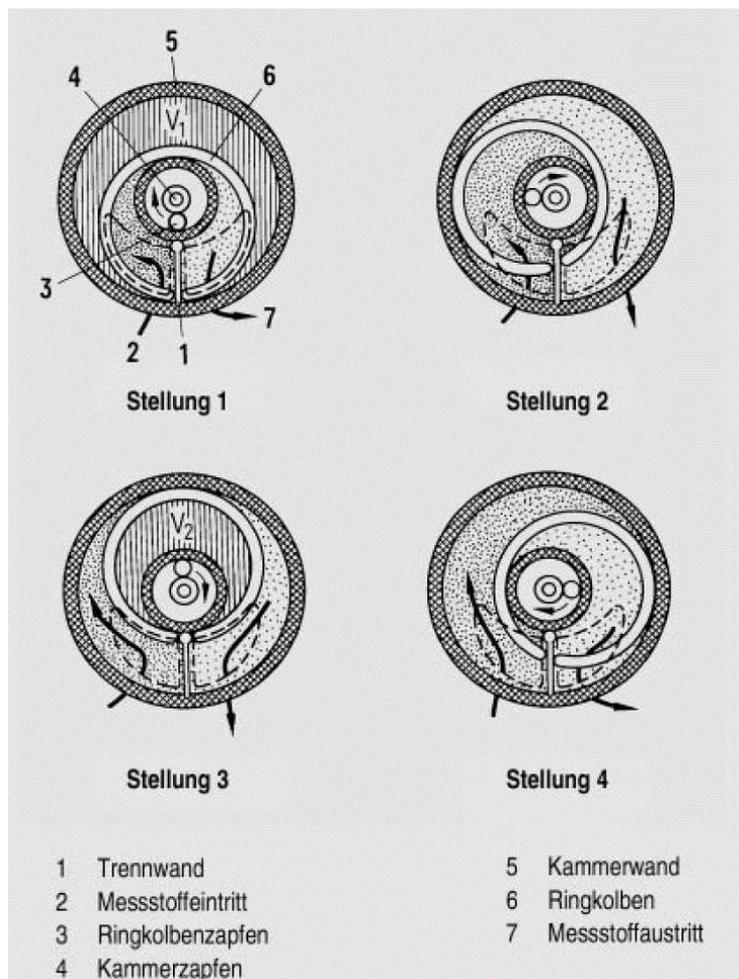


Abbildung 16: Messvorgang im Ringkolbenzähler (Mengersen und Schulz 2005)

3.4.3.1.4 Mehrstrahlflügelradzähler

Mehrstrahlflügelradzähler gehören zu den Turbinenzählern und sind mittelbare Volumenzähler (Frenzel et al. 2011). Durch eine Einflussöffnung gelangt das zu messende Medium in den Messbecher, in dem sich ein Flügelrad befindet (Aichele und Doleski 2013). Dieses wird durch die Fließgeschwindigkeit in Rotation versetzt und verlässt das Messgerät durch die Auslassöffnung. Die Umdrehungen des Flügelrades werden auf den Zähler übertragen, wodurch die Durchflussmenge ermittelt wird. Abbildung 17 stellt eine Schnittdarstellung durch einen Mehrstrahlflügelzähler dar.



Abbildung 17: Schnittdarstellung eines Mehrstrahlflügelradzählers (Tröger und Entenmann 2015)

3.4.4 Füllstandsmesstechnik

Um die Füllstandshöhe in Hochbehältern zu ermitteln kommen vorwiegend Füllstandssensoren zur Anwendung aber auch Drucksensoren können für die Ermittlung des Behälterfüllstandes herangezogen werden. Füllstandsmessgeräte können in kontinuierlich messende Sensoren und Füllstandsgrenzschafter unterteilt werden. Im Bereich der Wasserversorgung werden vorwiegend kontinuierlich messenden Sensoren verwendet.

3.4.4.1 Schwimmer-Verfahren

Die Messgeräte der Schwimmertechnologie bestehen aus einem Rohr und einem Schwimmer mit einer geringeren Dichte als das zu messende Medium. Das Rohr wird senkrecht in einen Behälter eingebaut und der Schwimmer wird an dem Rohr entlang geführt. Durch eine Füllstandsänderung ändert sich die Position des Schwimmers an dem Rohr, da dieser aufgrund seiner geringeren Dichte an der Mediums-, Wasseroberfläche auftreibt. Die Position des Schwimmers an dem Rohr kann mit unterschiedlichen Methoden berührungslos ermittelt werden, wie zum Beispiel induktiv bzw. durch einen Spannungsteiler.

3.4.4.2 Radar-Füllstandsmessung

Bei der Radarmessung wird über eine Sendeeinheit ein Radarsignal ausgesendet. Über die Reflexion an der Oberfläche eines Mediums/Wasser wird das gesendete Signal zurück an das Messgerät geschickt und die Laufzeit zwischen dem Absenden und dem Empfangen des Signals ermittelt (Lucklum und Jakoby 2009). Diese Laufzeit ist direkt proportional zum zurückgelegten Weg des Signals (Lucklum und Jakoby 2009).

3.4.4.3 Ultraschall-Füllstandsmessung

Die Ultraschallmessung funktioniert ebenso wie die Radarmessung über die Laufzeitmessung zwischen dem Senden und Empfangen des reflektierten Signals an einer zu messenden Oberfläche/Wasser. Der wesentlichste Unterschied zwischen Radar- und Ultraschallmessung liegt darin, dass die Ultraschallmessung im Vergleich zur Radarmessung ungenauer und fehleranfälliger ist (Skowaisa 2006).

3.4.5 Wasserqualitätsmesstechnik

Um ein Versorgungsgebiet mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser zu versorgen, muss ein WVU auf die Wasserqualität achten. *„Trinkwasser ist Wasser, das vom Wasserspender bis zum Abnehmer zum Zweck der Verwendung als Lebensmittel und in Lebensmittelunternehmen eingesetzt wird“* (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Trinkwasser unterliegt dem Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz, welche die Anforderungen an Lebensmittel für den menschlichen Gebrauch regelt (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Die Trinkwasserverordnung (letzte Novelle 2015) regelt die Qualität des Trinkwassers, indem Mindestanforderungen und Grenzwerte der Inhaltsstoffe für das Trinkwassers festgelegt sind (Nationalrat 2015). Je nach abgegebener Wassermenge ist ein WVU dazu verpflichtet eine bestimmte Anzahl von Wasserproben pro Jahr vorzunehmen und bei der zuständigen Behörde überprüfen zu lassen (Nationalrat 2015). Diese Probenanzahl kann zwischen einer und vier Proben im Jahr variieren (Nationalrat 2015).

Damit die Wasserqualität im laufenden Betrieb sichergestellt wird, kann ein WVU eine Eigenüberwachung aufbauen, damit eine negative Beeinflussung der Inhaltsstoffe verhindert wird. Hierzu stellen Multiparametersonden den Stand der Technik dar. Diese Multiparametersonden sind in der Lage mehrere Wasserqualitätsparameter simultan zu erfassen. Beispiele für Wasserqualitätsparameter sind die Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung (Di Nardo et al. 2013). Aber auch Messungen im Zusammenhang von Desinfektionsmaßnahmen wie der Chlorgehalt, Ozon oder UV-Durchlässigkeit sind mögliche Überprüfungsparameter im Bereich der Wasserqualitätsmesstechnik (Nationalrat 2015).

3.4.6 Kraft- und Druckmessung

Die Kraft- und Druckmessung kann anhand nachstehender Prinzipien realisiert werden. Der Druck wird als Kraft pro Flächeneinheit beschrieben. Messgeräte, welche den vorherrschenden Druck beschreiben, bestehen aus elektronischen Bauteilen, wodurch die Entwicklung dieser Messgeräte mit der elektronischen Bauteilentwicklung einhergegangen ist. Die häufigsten Messprinzipien sind das kapazitive, induktive und piezoresistive Verfahren.

Prinzipiell können zwei Arten der Druckmessung unterschieden werden. Einerseits gibt es die Absolutmessung, welche sich auf ein Vakuum bezieht, und andererseits die Relativmessung, welche den Messwert auf einen Referenzdruck bezieht (Hesse und Schnell 2011). Die Relativmessung kann auf einen bestimmten Druck in einer Flüssigkeit bezogen werden, zudem besteht auch die Möglichkeit, den Atmosphärendruck als Referenzdruck heranzuziehen (Hesse und Schnell 2011). Beim Großteil der Druckmessgeräte handelt es sich um Relativdruckmessgeräte, deren Messwert sich auf den vorherrschenden Atmosphärendruck in der Umgebung bezieht.

3.4.6.1 Kapazitives Messprinzip:

Beim kapazitiven Messprinzip wird die Kapazitätsänderung in Form von Spannungsänderung ermittelt. Hierzu wird eine fix montierte Kondensatorplatte mit einer zweiten Kondensatorplatte gekoppelt, indem beide in einem bestimmten Abstand zueinander mittels einer Membran verbunden sind. Durch eine Druckänderung bewegt sich die Membran und der Abstand zwischen den Kondensatorplatten wird verändert. Über diese Abstandsänderung ändert sich die Kapazität des Kondensators. Die Kapazitätsänderung ist nicht proportional zur Druckänderung, jedoch kann mit moderner Mikroelektronik die Umrechnung in einen linearen Wertebereich vorgenommen werden, wodurch die kapazitive Messtechnik für den industriellen Einsatz genutzt werden kann (Zastrow und Werner 1994).

3.4.6.2 Induktives Messprinzip:

Das induktive Messprinzip bedient sich der Induktion elektrischer Spannungen. Hierfür wird ein runder Ferritstab mit einer elektrischen Spule umfasst. Dieser Ferritstab wird an eine Membran gekoppelt und kann sich in der Spule frei nach oben oder unten bewegen. Durch eine Krafteinwirkung auf die Membran verändert sich die Lage und der Ferritkern bewegt sich in der Spule und induziert eine Spannung. Je nach Ausgangsstellung wird eine bestimmte Spannung in die Spule induziert und es kann auf eine Druckhöhe bzw. auf die Größe der einwirkenden Kraft rückgeschlossen werden.

3.4.6.3 Piezoresistives Messprinzip:

Beim piezoresistiven Messprinzip wird die Änderung des elektrischen Widerstandes infolge einer Krafteinwirkung gemessen (Bantel 2004). Diese Krafteinwirkung kann durch Druck- oder Zugkräfte entstehen.

Für dieses Messprinzip kommen vorwiegend Halbleitermaterialien wie Silicium zur Anwendung, die sich durch eine höhere Empfindlichkeit auszeichnen. Je nach Zug- oder Druckbelastung des Halbleiters wird die Beweglichkeit der Elektronen verändert, wodurch der Elektronendurchfluss erleichtert bzw. erschwert wird. Diese Änderung der Beweglichkeit des Elektronenflusses eines Halbleiters kann auch als elektrischer Widerstand bezeichnet werden. Die Widerstandsänderung kann mit Messgeräten erfasst und auf die Größe der Krafteinwirkung umgerechnet werden.

3.4.7 Messdatenerfassung im System

Möchte ein WVU Messdaten aus seinem Versorgungsnetz erheben, muss dieser geeignete Messgeräte im Versorgungsnetz positionieren (Aichele und Doleski 2013). Messgeräte können bei der Datenübertragungstechnologie in Automatic Meter Reading (AMR) und Advanced Metering Infrastructure (AMI) eingeteilt werden. Es bestehen Unterschiede in der Datenübertragung (echtzeitfähig) und bei der Umsetzung von Steuer- bzw. Regelungsaufgaben.

3.4.7.1 AMR

Messgeräte, welche die AMR-Technologie nutzen, sind in der Lage automatisiert ausgelesen zu werden. Die Größe der erhobenen Datensätze ist abhängig vom Aufzeichnungsintervall der AMR-Messgeräte. Diese Messgeräte müssen regelmäßig ausgelesen werden, da der interne Speicher nur begrenzte Kapazitäten aufweist (Boyle et al. 2013). Eine echtzeitfähige Datenübertragung ist nicht möglich, da die Datensätze vor Ort mit geeigneten Lesegeräten ausgelesen werden müssen. Zusätzlich sind diese Messgeräte in der Lage, Fehlerdiagnosen und Zustandsdaten zu erheben und zu übertragen.

In der Literatur sind sich einige Autoren nicht eindeutig einig, ob die AMR-Technologie zu den intelligenten Messgeräten zählen. Boyle et al. 2013 zum Beispiel nimmt AMR-fähigen Messgeräte in die Liste der intelligenten Messgeräte mit auf, jedoch kann damit keine echtzeitfähige Kommunikation umgesetzt werden aufgrund des benötigten Ausleseintervalls der Messgeräte (Boyle et al. 2013). Wollen Offline-Analysen oder zeitlich versetzte Auswertungen umgesetzt werden, können diese durchaus als intelligent bezeichnet werden.

3.4.7.2 AMI

Bei AMI handelt es sich um ein zweikanaliges Kommunikationssystem. Dieses Zweikanal-Kommunikationssystem ist in der Lage stetig Informationen zu senden und zu empfangen. Ebenso wie das AMR überträgt es Daten, im Unterschied zum AMR können diese stetig abgegeben werden, wodurch das AMI-System echtzeitfähig ist und eine Online-Anbindung des Versorgungsnetzes bewerkstelligt werden kann. Durch die Online-Anbindung der Messgeräte in Kombination mit häufiger Datenübertragung entsteht ein großes Datenaufkommen, welches es zu bewältigen gilt. Mit den heutigen Möglichkeiten hinsichtlich der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) stellt dies (nahezu) kein Problem dar. Durch das zweikanalige Kommunikationssystem ist es möglich, das Datenaufkommen zu reduzieren, indem die Kommunikation erst hergestellt wird, wenn z. B. Wasser an einen Verbraucher abgegeben wird. Bezieht ein Verbraucher einige Stunden kein Wasser vom WVU, senden die AMI-Messgeräte keine Informationen über den Wasserverbrauch des Verbrauchers an den WVU (ORACLE 2009). Zusätzlich kann mit dieser Funktion die Kommunikation erst aufgebaut werden, wenn Messgeräte als Impulzzähler verwendet werden, und der Wasserverbrauch inkrementiert wird, wenn ein definierter Wasserverbrauch überschritten wird.

Messgeräte mit AMI-Technologie sind in der Lage, in Echtzeit zu kommunizieren und bei definierten Ereignissen die Kommunikation zum WVU aufzunehmen, wodurch diese häufig bei Online-Verbrauchsanalysen verwendet werden (Boyle et al. 2013). In diesem Fall besteht die Möglichkeit beispielsweise Steuer- oder Regelungsbefehle an das mit AMI Technologie ausgestattete System am Endverbraucher zu senden und z. B. den Wasserverbrauch zu drosseln bzw. zu unterbinden.

3.4.8 Steuern und Regeln im Versorgungsnetz

Mit der Fernwirkeinrichtung kann die Steuerung und Regelung im Versorgungsnetz realisiert werden. Die Fernwirkeinrichtung stellt eine zentrale Station dar, in der sämtliche Messergebnisse und Steuerungszustände des Versorgungsnetzes ineinanderfließen und neue Zustandsänderungen an die steuerbare Infrastruktur entsendet werden. Die steuerbaren Anlagenteile können Schieber, Klappen, Ventile, Pumpen, Druckerhöhungsanlagen und Druckreduzierventile darstellen.

Schieber werden benötigt um Leitungsabschnitte vollständig öffnen bzw. schließen zu können. Schieber werden für alle gängigen Rohrleitungsquerschnitte produziert und eingesetzt. Das Öffnen oder Schließen kann mechanisch oder elektrisch über eine Steuerungseinheit erfolgen.

Klappen haben dieselbe Funktion wie Schieber und sind für das vollständige Öffnen und Schließen von Leitungsabschnitten verantwortlich. Ab einem Leitungsquerschnitt von DN 200 werden vorwiegend Klappen eingesetzt (Fritsch et al. 2014). Die Steuerung der Klappe wird über manuelle oder elektrische Aktoren realisiert.

Mit **Ventilen** können Aufgaben im Bereich der Druck- oder Durchflussregulierung vorgenommen werden, wodurch Steuerungs- aber auch Regelungsaufgaben umgesetzt werden können. Zudem können Ventile für dieselben Aufgaben wie Schieber und Klappen eingesetzt werden, wodurch Leitungsabschnitte geöffnet oder geschlossen werden können. Ventile können manuell oder elektrisch geregelt werden. Ein Beispiel hierfür kann ein Druckreduzierungsventil sein, welches den Versorgungsdruck reduziert, wenn geringere Wassermengen (Nachtminimum) benötigt werden, damit Wasserverlustmengen in einem Versorgungsnetz gering gehalten werden können.

Pumpen werden vom WVU genutzt um Wasser aus Grundwasserkörpern zu fördern. Hierzu wird das Energieniveau des Wassers durch eine Pumpe angehoben, womit das Wasser auf ein höheres Energieniveau gehoben wird (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Die Förderhöhe einer Pumpe ist aus dem Zusammenwirken von Rohrleitung (Rohrleitungskennlinie) und Pumpensystem zu ermitteln (Fritsch et al. 2014). Mit der Erweiterung einer Pumpe um einen Frequenzumformer, kann eine Pumpe auf einen definierten Druck bzw. Durchfluss oder eine definierte Frequenz geregelt werden.

*„**Druckerhöhungsanlagen** sind Förderanlagen innerhalb eines Trinkwasserversorgungssystems. Sie sind den vorstehend beschriebenen Förderanlagen (Hauptpumpwerke und Zwischenpumpwerke) nachgelagert und fördern innerhalb des Versorgungsgebietes in Versorgungszonen, die aus dem vorhandenem Versorgungssystem nicht mit ausreichendem Druck versorgt werden können. Druckerhöhungsanlage erfordern eine sehr sorgfältige Planung, insbesondere bezüglich der zu installierenden Pumpenleistung.“* (Fritsch et al. 2014)

Einteilung der Armaturen in Steuer- und Regelbare Anlagenteile in einem Wasserversorgungssystem (WVS)

Tabelle 2 stellt die Anlagenteile eines WVS dar. Hierbei sind Schieber, Klappen, Ventile, Pumpen und Druckerhöhungsanlagen steuerbar. Regelaufgaben können von Ventilen, Pumpen mit entsprechenden Frequenzumformern und Druckerhöhungsanlagen übernommen werden.

Tabelle 2: Steuer-bzw. regelbare Anlagenteile

	Steuerbar	Regelbar
Schieber	X	
Klappen	X	
Ventile	X	X
Pumpen	X	X
Druckerhöhungsanlagen	X	X

Der wesentliche Unterschied zwischen Steuern und Regeln besteht in der Rückkopplung, welche von einer Regelung genutzt wird. Beim Steuern wird ein

Vorgang beschrieben, indem eine Ausgangsgröße durch eine Eingangsgröße beeinflusst wird. Eine Regelung hingegen erfasst stetig die Ausgangsgröße und vergleicht diese mit der Eingangsgröße, wodurch eine Rückkopplung umgesetzt wird. Nachfolgend werden die Unterschiede von Steuerung und Regelung näher erläutert.

3.4.8.1 Steuerung

Eine Steuerung besteht aus einem Steuergerät und einem Messgerät bzw. dem bedienendem Personal, welche eine Steuerung mit einem Stellglied veranlasst. Ein Beispiel hierfür kann die Befüllung eines Hochbehälters mit einer Pumpe sein.

Wird ein definierter Füllstandspegel eines Hochbehälters unter- bzw. überschritten wird dies mit einem Füllstandsmessgerät festgestellt und das Ein- bzw. Ausschalten einer Pumpe veranlasst. Die Pumpe befördert solange Wasser in einen Hochbehälter, bis der geforderte Füllstandspegel des Hochbehälters erreicht ist.

Eine Steuerung für das Ein- und Ausschalten von Pumpen, Öffnen oder Schließen von Ventilen, Klappen, oder anderen steuerbaren Anlagenteilen kann basierend auf definierten Grenzwerten erfolgen. Abbildung 18 stellt den Aufbau einer Steuerkette dar, wodurch Steuerungsbefehle veranlasst werden können und ein Stellglied Ein- bzw. Ausgeschaltet wird.



Abbildung 18: Steuerkette

3.4.8.2 Regelung

Der Regelvorgang wird mit zwei wesentlichen Parametern, dem Soll-Wert und Ist-Wert beschrieben. Der Soll-Wert stellt die Führungsgröße dar, wohingegen der Ist-Wert den tatsächlichen Messwert der Stellgröße beschreibt. Mit einer Rückkopplung des Ist-Wertes zur Führungsgröße wird eine Regelung aufgebaut.

Beispiel für eine Regelung ist eine Durchflussregelung. Wobei ein bestimmter Durchfluss (Soll-Wert) vorgegeben wird und mit einer Pumpe der tatsächliche Durchfluss (Ist-Wert) erzeugt wird. Besteht zwischen dem Soll- und Ist-Wert eine Abweichung, wird mit dem Regelglied versucht, eine Drehzahländerung der Pumpe zu veranlassen, damit eine bestehende Differenz des Ist-Wertes zum Soll-Wert minimiert wird. Abbildung 19 stellt den Aufbau eines Regelkreises mit Rückkopplung dar.

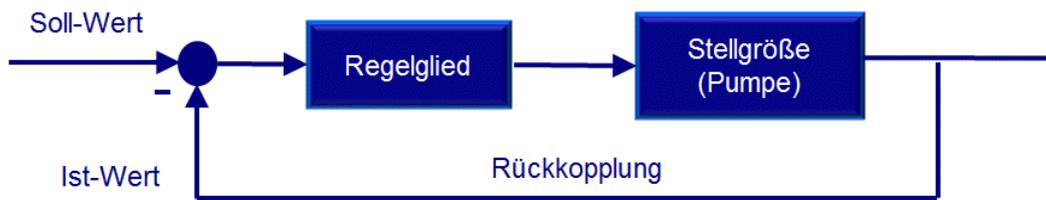


Abbildung 19: Aufbau eines Regelkreises

3.5 Datenspeicherung und Kommunikation

In diesem Layer werden die im zweiten Layer gemessenen Daten übertragen und gespeichert (SWAN Forum 2015). Die Messgeräte erheben die Messdaten und werden mit einem Datenlogger dermaßen aufbereitet, damit eine Übertragung mit ausgewählten Kommunikationsarten ermöglicht



Abbildung 20: Layer 3, Datenspeicherung und Kommunikation

wird. Die Übertragung der Messdaten wird über öffentliche oder private Kommunikationsnetze, wie zum Beispiel kabelgebundene Netze, oder drahtlos-Netze wie beispielsweise GSM, GPRS, LTE, UMTS, WiMAX, Internet (Wlan, Lan), Radionetzwerk und Drive-by (bei AMR-Systemen) realisiert. Die Datenmengen werden zentral in einer Fernwerkseinrichtung gespeichert und an die darüber liegenden Layer (Datenmanagement und Darstellung, Datenanalyse) für Auswertungen und spätere Entscheidungsfindungen im Versorgungsnetz weitergegeben. Die Steuer- oder Regelungsbefehle aus der Entscheidungsfindung werden über das zweikanalige Kommunikationssystem an die im Versorgungsnetz verteilten Aktoren übertragen, welche die Befehle ausführen.

3.5.1 Kommunikationsarten

Um die Kommunikation bzw. Datenübertragung zu gewährleisten, stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung. Je nach Anwendungsgebiet haben diese Technologien Vor- und Nachteile. Diese können in der Übertragungskapazität, Übertragungsschnelligkeit, aber auch an der Reichweite der Datenübertragung liegen. Die gängigsten Methoden zur Datenübertragung und Kommunikation für intelligente Netze werden nachfolgend erläutert.

3.5.1.1 ZigBee

Bei ZigBee handelt es sich um eine drahtlose Netzwerkkommunikationstechnologie. Diese wird vorwiegend bei intelligenten Netzen in der Stromversorgung und in der Wasserversorgung, aber auch bei der Hausautomatisierung eingesetzt (Gungor et al. 2011). Diese weist eine Datenübertragungsrate von 250 kbit/s auf und hat eine Reichweite von ca. 30 bis 50 Meter (Gungor et al. 2011). Die Daten werden in regelmäßigen Abständen ausgelesen, wobei zum Beispiel ein ein-, zwei- oder dreiwöchentlicher Zyklus genutzt werden kann, da ansonsten die mögliche Datenspeichermenge der Messgeräte überschritten wird (Gungor et al. 2011; Marchment Hill Consulting 2010). Diese Datenspeichermenge kann je nach Hersteller bis zu 256 KB (Kilobyte) betragen und stellt für die Messgeräte einen limitierenden Faktor dar (Texas Instruments 2015). Eine Möglichkeit die Daten auszulesen besteht darin, das Auslesegerät auf ein Fahrzeug zu montieren und an den Messgeräten innerhalb der Kommunikationsreichweite vorbeizufahren. Aufgrund dessen werden diese Sensoren auch als Drive-by-Messgeräte bezeichnet. Um die gesamten Messgeräte auszulesen, welche mit ZigBee ausgestattet sind, ist es notwendig, das gesamte Versorgungsgebiet abzufahren. Dies kann beispielsweise durch eine Kooperation mit dem örtlichen Müllbeseitigungsunternehmen ermöglicht werden, indem Müllbeseitigungsfahrzeuge, die wöchentlich durch das Versorgungsgebiet fahren, mit dem Auslesegerät ausgestattet werden. Probleme mit anderen kabellosen Kommunikationsnetzwerken wie WLAN, Radio- und Mobilfunk dürfen bei der Verwendung von ZigBee nicht entstehen, da jedes Kommunikationsnetzwerk einen definierten Frequenzbereich für die Kommunikation zur Verfügung hat. Mit einer eindeutigen Adressierung jedes Messgerätes können diese einem Haushalt zugewiesen werden. Trotzdem kann in dicht besiedelten Gebieten nicht ausgeschlossen werden, dass Probleme mit der Datenübertragung entstehen.

3.5.1.2 GSM/GPRS

Um einzelne Messgeräte auslesen zu können, werden GSM (Global System for Mobile Communication)-Anbindungen verwendet. Diese werden mit einem GPRS (General Packet Radio Service)-Modul erweitert und mit einer SIM-Karte ausgestattet, damit werden sie über das Mobilfunknetz eindeutig identifizierbar (Aichele und Doleski 2013). Die theoretische Datenübertragungsrate bei GSM liegt bei ca. 14,4 kbit/s. Durch GPRS lässt sich die theoretische Datenübertragungsrate auf 220 kbit/s steigern. In der Praxis werden diese Übertragungseigenschaften jedoch nicht erreicht und liegen deutlich unter der theoretischen Datenübertragungsrate, wodurch diese Messgeräte in kleineren Zeitintervallen die Kommunikation mit der Fernwirkeinrichtung aufbauen, wie zum Beispiel einmal pro Stunde, pro Tag oder pro Woche (Aichele und Doleski 2013). Zusätzlich wäre eine echte echtzeitfähige (im Sekunden-Intervall) Kommunikation mit diesen Messgeräten in einer Fernwirkeinrichtung nicht möglich. Diese weisen eine zu geringe

Datenübertragungsrate auf, damit in Echtzeit stetig Messwerte übertragen werden könnten. Stattdessen kann eine annähernd echtzeitfähige (z.B. im Fünf-Sekunden-Intervall) Datenübertragung realisiert werden, wodurch jeder Anwender selbst zu entscheiden hat, ob die vorliegende Datenübertragung ausreichend ist. Ein wesentlicher Nachteil dieser Art der Kommunikation besteht darin, dass Messgeräte in den meisten Fällen unterirdisch oder an Gebäuden angebracht werden, womit eine stabile Kommunikation oft nicht gewährleistet werden kann. Eine Abhilfe können Datenkonzentratoren darstellen, welche außerhalb des Einbauortes (z. B. an Fassadenteilen oder Masten) angebracht werden, wodurch eine stabile Datenübertragung sichergestellt wird. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die Mobilfunknetzbetreiber aufgrund der steigenden Zahl der benötigten SIM-Karten nicht für eine derartige Auslastung gerüstet sind (Aichele und Doleski 2013). Zusätzlich entstehen für den WVU weitere Kosten für die Datenübertragung mit GSM/GPRS, wenn Messgeräte mit einer SIM-Karte ausgestattet und betrieben werden (Aichele und Doleski 2013). Dadurch darf der WVU ein funktionierendes System zur Messwertübertragung erwarten (Aichele und Doleski 2013).

Diese Möglichkeit ist für temporäre Anwendungen von einzelnen Messgeräten geeignet und kann auch eine kostengünstige Option für WVU darstellen, wenn zum Beispiel der Druck temporär in einem bestimmten Bereich eines Versorgungsnetzes erhoben werden soll, oder ein Messgerät an verschiedenen Messpositionen zur Anwendung kommen soll. Durch eine einfache Inbetriebnahme und Installation von Messgeräten mit einem GSM-Modul haben diese ein breites Anwendungsspektrum.

3.5.1.3 UMTS/LTE

Durch eine weitere Entwicklung im Mobilfunkbereich entstand UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), welche eine Datenübertragungsrate von bis zu 384 kbit/s ermöglichen. Durch die Weiterentwicklung zu breitbandigeren Datenübertragungsraten wurden bis zu 14,4 Mbit/s Download und 5,8 Mbit/s Upload möglich (Aichele und Doleski 2013). Der Nachfolger von UMTS ist das LTE (Long Term Evolution), wodurch ein Download von 100 Mbit/s und ein Upload von 50 Mbit/s ermöglicht wird (Aichele und Doleski 2013).

Trotz der verbesserten Datenübertragungsrate entstehen zusätzliche Kosten, wenn Messgeräte mit einer SIM-Karte ausgerüstet und betrieben werden, was bei temporären Einsatzgebieten sinnvoll ist. Diese Messgeräte können einfach installiert und an verschiedenen Messorten verwendet werden. Jedoch ist die Signalverfügbarkeit bei unterirdischen Bauten selten gegeben.

3.5.1.4 DSL

Durch die Verwendung von DSL (Digital Subscriber Line) werden Kupferleitungen wie bei der analogen Telefonie genutzt. Durch die Weiterentwicklung können IP (Internet Protokoll)-Daten, mittlerweile zwischen 1 und 50 Mbit/s transportieren (Aichele und Doleski 2013). Die Übertragungsmenge und die

Übertragungsgeschwindigkeit nehmen jedoch mit zunehmender Leitungslänge ab, da in den Kupferleitungen vermehrt Resonanz- und Verzerrungseffekte auftreten (Aichele und Doleski 2013).

Für die Anwendung in smarten Wassernetzwerken ist die DSL-Kommunikation geeignet, jedoch ist ein WVU vom Telekommunikationsanbieter abhängig, da dieser die Kupferleitungen zur Verfügung stellt und dafür eine finanzielle Gegenleistung erwartet, wodurch der WVU eine stabile und störungsfreie Datenübertragung der Messgeräte erwarten darf (Aichele und Doleski 2013). Ein weiterer negativer Aspekt ist, dass jedes einzelne Messgerät separat angeschlossen werden muss, da die Datenübertragung über zwei einzelne Drähte erfolgt (Aichele und Doleski 2013). Diese Drähte müssen vom Messgerät bis hin zur Anschlussstation eines Kommunikationsnetzes reichen.

3.5.1.5 TV-Kabelnetz

Eine weitere Möglichkeit zur Kommunikation stellt die Verwendung des TV-Kabelnetzes dar. Ursprünglich wurde es genutzt, um TV- und Radiosignale zum Endkunden zu übermitteln, jedoch kann es durch bidirektionale Kommunikation erweitert werden, um Daten vom Endkunden zum Betreiber des Kabelnetzes zu übermitteln (Aichele und Doleski 2013). Bei der Kopfstation werden die TV-Sender an den Endkunden verteilt und die von den Messgeräten gesendeten Informationen werden gebündelt und verarbeitet. Auch längere Distanzen können durch Verwendung eines Verstärkers zwischen zwei Koaxialkabeln überwunden werden.

Die Datenübertragungsrate würde für die notwendige Kommunikation ausreichen, jedoch erfolgt diese über einen dritten Netzbetreiber. Zudem ist es schwierig, bei einem Mehrparteienhaus das richtige Messgerät dem richtigen Verbraucher zuzuweisen. Für die Kommunikation im Wasserversorgungsnetz stellt das TV-Kabelnetz eine unterordnete Rolle dar, jedoch im Anwendungsbereich von elektrischen Smart Grids kommen diese zur Anwendung.

3.5.1.6 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) beschreibt eine drahtlose Übertragungstechnologie, womit breitbandige Datenübertragungen über weite Distanzen ermöglicht werden (Aichele und Doleski 2013). Distanzen bis zu 50 Kilometer können damit überbrückt werden und eine theoretische Datenübertragungsrate von 75 Mbit/s kann bei einem Frequenzbereich von 1,25 bis 20 MHz erreicht werden (Aichele und Doleski 2013). In der Praxis sind jedoch 10 Mbit/s im einstelligen Kilometerbereich für diese Technologie charakteristisch (Aichele und Doleski 2013).

Wie auch das TV-Kabelnetz findet die Kommunikationsart über WiMAX im Bereich der Wasserversorgung kaum Anwendung. Genutzt wird diese Kommunikation von elektrischen Smart Grids und Unternehmen, welche das Internet deren

Außendienstmitarbeitern zur Verfügung stellen, damit Servicearbeiten effizient erbracht werden können (Beispiel: SAP-Systeme, Installation von Informationsmedien).

3.5.2 Kabellose Multimeter-Kommunikationsnetze

Speziell für eine reibungslose Datenübertragung in ITVS ist es notwendig, alle installierten Messgeräte in einem Netzwerk zu verwalten und die Messdaten an übergeordnete Kommunikationsnetze zu übergeben. Ein solches Netzwerk kann zum Beispiel über Radiosignale kommunizieren und wird in drei Organisationsebenen eingeteilt. Die erste Ebene bildet das Home Area Network (HAN), welches die lokalen Messdaten aufnimmt. In der zweiten Ebene werden mehrere HAN-Netzwerke zu einem Neighbourhood Area Network (NAN) zusammengefasst. Diese NANs haben eine größere Reichweite, damit eine Vielzahl von HANs eingebunden und verarbeitet werden können. Die NANs werden zu einem Wide Area Network (WAN) zusammengefasst, welche die gesamte Datenmenge an das Meter Data Management System (MDMS) überträgt, welches die Zwischenspeicherung und Archivierung der Daten durchführt (Shao et al. 2014). Abbildung 21 stellt ein Kommunikationsnetz dar, welches in HANs, NANs und WANs eingeteilt ist.

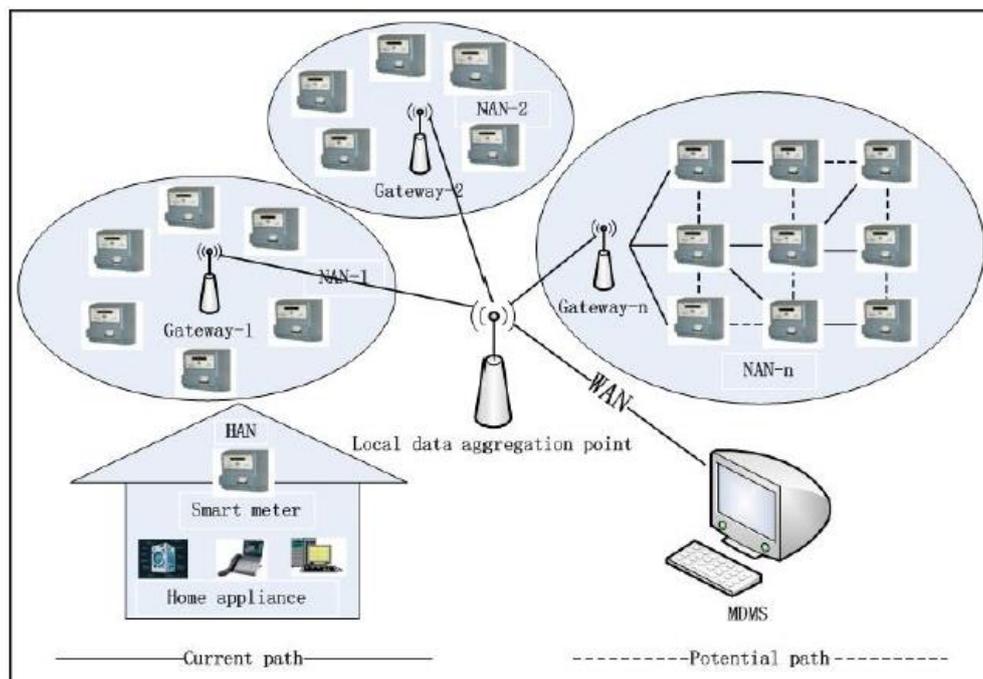


Abbildung 21: Aufbau eines kabellosen Kommunikationsnetzes (Shao et al. 2014)

Mit einem Netzwerkaufbau in drei Ebenen soll eine einfache Organisation und effiziente Betreuung der Messgeräte innerhalb des Netzwerkes sichergestellt werden. Dadurch kann der Betrieb weitergeführt werden können, wenn ein HAN ausfällt, ohne dass ein NAN davon betroffen ist.

Kabellose Multimeter-Kommunikationsnetze sind in der Lage Steuer- und Regelungsbefehle zu übertragen. Die Datenspeicherung, Analyse des

Datenmaterials oder Entscheidungsfindung werden von übergeordneten Layern (Layer 4 und 5) / Systemen übernommen. Dadurch sind kabellose Multimeter-Kommunikationsnetze nur für die bi-direktionale Datenübertragung im Versorgungsnetz zuständig.

3.5.3 Supervisory Control and Data Acquisition –Systeme (SCADA)

SCADA-(Supervisory Control and Data Acquisition)-Systeme sind jene, welche sich auch mit der Steuerung, Datenübertragung und –speicherung sowie Analysen von Systemen auseinandersetzen. Diese haben bereits ein breites Anwendungsgebiet in der Praxis und bei kommerziellen Softwarepaketen ist die Implementierung für Anwendungen bereits inbegriffen. Sie werden in ein hierarchisches Master- und Slave-System eingeteilt. Der Master eines SCADA-Systems beinhaltet die Hard- und Software und steuert seine untergeordneten Slaves. Diese verrichten einfache Aufgaben, wie das Messen und Kommunizieren mit dem Master sowie das Steuern nach Aufforderung des Masters (Strauss 2003). Abbildung 22 zeigt den Aufbau eines SCADA-Systems mit den Komponenten des Masters und der Slaves.

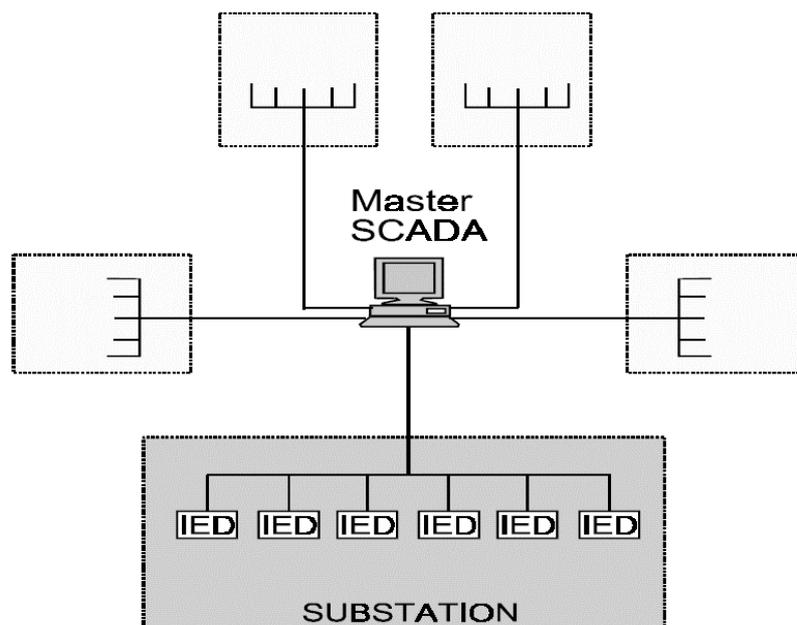


Abbildung 22: SCADA-Aufbau (Strauss 2003)

Als IED (Intelligent Electronic Device) werden die Slaves von SCADA-Systemen bezeichnet. Dabei handelt es sich um einfache Logikeinheiten wie beispielsweise Aktoren oder Messgeräte. Diese sind für die Messdatenerhebung und für die Ausführung von Steuerungsaufgaben verantwortlich, wenn diese vom Master aufgefordert werden. IED's sind mit dem Master verbunden und kommunizieren mit diesem. Der Master ist für die Steuerung der gesamten Kommunikation mit den IED, des Datenmanagements und Analyse der erhobenen Messwerte verantwortlich. Zusätzlich kann der Master einfache Entscheidungen selbst ausführen, bzw. benötigt dieser die Bestätigung vom Bedienungspersonal, damit eine Steuerungshandlung an

IED im Versorgungsnetz veranlasst wird. Die Software des Masters kann individuell programmiert und gestaltet werden. Damit kann eine intuitiv gestaltete Benutzeroberfläche realisiert werden, womit die Anwender einfache Rahmenbedingungen für den Betrieb vorfinden.

3.6 Datenmanagement und Visualisierung

Im Layer des Datenmanagements und der Visualisierung werden die gesamten Messdaten, welche durch den dritten Layer gespeichert und übertragen werden, an eine zentrale Fernwirkleinrichtung weitergegeben, bei der die erfassten Messdaten verwaltet und visualisiert werden (SWAN Forum 2015). Informationen werden in Form von Messdatenverwaltung, Metadatenverwaltung, Datenvalidierung und Datenfreigaben für autorisiertes Personal aufbereitet (Specht et al. 2015).



Abbildung 23: Layer 4, Datenmanagement und Visualisierung

Durch die Einbindung aller Sensoren und steuer- und regelbaren Aktoren wird ein zentrales Fernwirkssystem für den Betrieb geschaffen. Zusätzlich wird mit einem Fernwirkssystem die Betreuung des gesamten Wasserversorgungsnetzes erleichtert und das Bedienpersonal im laufenden Betrieb unterstützt, wodurch ein effizienter Betrieb eines Versorgungsnetzes umgesetzt wird.

Das erhobene und gespeicherte Datenmaterial kann für spätere Analysen genutzt werden. Zusätzlich ist das Datenmanagement für die Weitergabe von Steuer- und Regelungsbefehlen, welche durch die Entscheidungsfindung (Layer 5) an die Kommunikation (Layer 3) und schlussendlich an die Aktoren (Layer 2) weitergegeben werden, verantwortlich. Damit wird sichergestellt, dass in das Versorgungsnetz zeitnah (einige Minuten bis hin zu Echtzeit-Anwendungen) eingegriffen werden kann.

3.6.1 Datenmanagement

Das Datenmanagement beschreibt die Datensammlung, Datenspeicherung und Datenverwaltung eines ITVS. Bereits bei der Projektplanung sollten der Aufbau und die Organisation des Datenmanagements definiert sein, um den Anforderungen des laufenden Projekts/Betriebs gerecht zu werden (Thompson und Panacek 2015).

Die Verwaltung der Daten kann beispielsweise mit einem konventionellen SCADA System erfolgen. Eine nicht kommerzielle Lösung wurde am Institut für Siedlungswasserwirtschaft entwickelt, welches weitestgehend die Funktionalität eines kommerziellen Datenverwaltungsprogrammes umfasst. Das sogenannte Open Scientific Data Management System (OpenSDM) wurde speziell für längere

Zeitreihen wie Niederschlagsmessungen etc. entwickelt und bietet eine robuste Umgebung, um mit Zeitreihendaten effizient zu arbeiten (Camhy et al. 2012).

Zudem bietet OpenSDM die Möglichkeit, Sensordaten effizient zu verwalten. Voraussetzung hierfür ist eine einheitliche Erfassung der Sensoren wie es beispielsweise durch das Open Geospatial Consortium (OGC) mit SensorML (Sensor Model Language) im Jahr 2011 offiziell als Standard definiert wurde. Bei der Verwaltung von Daten wird nach genau definierten Standards vorgegangen, wodurch eine einheitliche Vorgangsweise einer gleichbleibenden Datenqualität bei der Erhebung der Messdaten realisiert wird (Camhy et al. 2012).

Die Verwaltung der Sensoren in einem standardisierten Format erleichtert die Verwaltung in einem ITVS im Sinne von Wartungsintervallen, Zuständigkeit sowie die Installation weiterer Sensoren.

3.6.2 Visualisierung

In ITVS besteht in der Regel die Möglichkeit die erhobenen Daten visuell aufzubereiten. Visuelle Daten unterstützen beispielsweise bei einer ersten Prüfung der Daten auf Konsistenz. Die Datenvisualisierung passiert in einem ITVS in Echtzeit, was dem Personal in der Fernwirkleinrichtung eine gezielte Analyse einzelner Steuerungsmaßnahmen und deren Auswirkungen auf das System ermöglicht.

Je nach Zweck der Datenvisualisierung können in Diagrammen bereits bestimmte Grenzwerte und deren Über- oder Unterschreitung mitdargestellt werden. Dies ermöglicht beispielsweise eine sehr schnelle Feststellung eines Sensorausfalles bzw. Defekts. Entscheidungsträger von WVU legen im Vorfeld fest, welche Funktionalitäten von einem Datenmanagement- und Visualisierungs-Tool vorausgesetzt werden.

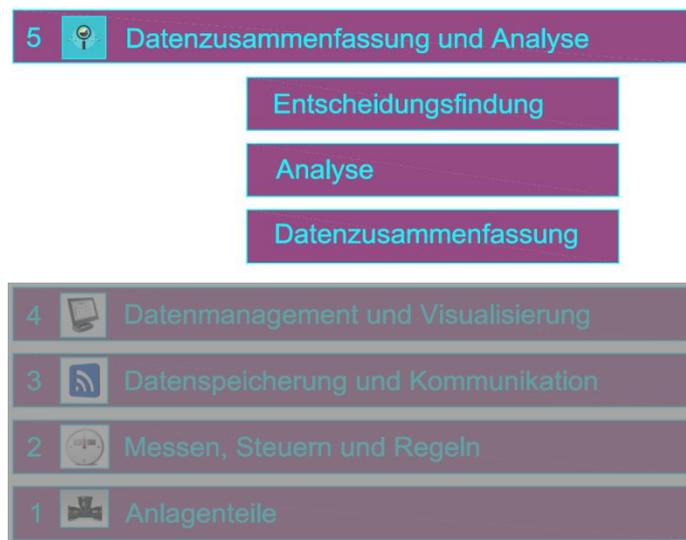
Derzeit befindet sich eine Vielzahl an kommerziellen als auch Open-Source Lösungen auf den Markt. Ein Visualisierungstool, welches auch in OpenSDM Anwendung findet ist „Grafana“, das eine webbasierte Darstellung der erhobenen Daten ermöglicht.

3.6.2.1 Miteinbindung von GIS-Anwendungen

Die Darstellung verschiedener Parameter, die Auswertung einzelner Trends etc. kann individuell auf die Ansprüche eines WVU oder des Bedienpersonals angepasst werden. Zusätzlich können GIS-Anwendungen integriert werden, wodurch zusätzliche Anwendungen wie Wasserverlustmanagement und Instandhaltungstools implementiert werden können. Einfache Warnmeldungen und Auswertungsaufgaben können automatisiert ausgeführt und visuell aufbereitet werden, wodurch der Informationsgrad des bedienenden Personals erhöht wird (SWAN Forum 2015). Zusätzlich zu den gemessenen Daten im Versorgungsnetz wird dem Personal eine Entscheidungsunterstützung geboten.

3.7 Datenzusammenfassung und Analyse

Der fünfte Layer besteht laut SWAN Forum 2015 aus der Datenzusammenführung und Analyse. Nach ersten Überlegungen wurde dieser in drei Untergruppen/Unterlayer aufgeteilt, welcher aus der Datenzusammenfassung, Analyse und Entscheidungsfindung besteht. Die Datenzusammenfassung wird benötigt um Messdaten aus dem vorangegangenen Layer in



Abhängigkeit der zur Auswahl kommenden Analysemethoden

Abbildung 24: Layer 5, Zusammenführung von Daten und deren Analyse

zusammenzufassen. Dieses zusammengefasste Datenmaterial stellt die Grundlage für Analysen im ITVS dar. Diese können als Analyse des Verbrauchsverhaltens, Wasserqualitäts-Monitoring, Wasserverlustmanagement, Druckmanagement, Automatisierte Ereignisdetektion, Energieoptimierung, Verbraucher Zufriedenheit und Verrechnungsmanagement umgesetzt werden. Einige Analysen bauen auf hydraulischen Modellen auf. Hydraulische Modelle können in diesem Zusammenhang als Werkzeug für andere Analysen gesehen werden. Die spezifischen Auswertungen von Analysen können vom fachkundigen Bedienpersonal zur Entscheidungsfindung genutzt werden. Auch Informationen über Leckagen oder unerwünschte Wasseraustritte können aus geeigneten Anwendungen von intelligenten Technologien erarbeitet werden, um Rehabilitationsmaßnahmen im Versorgungsnetz des WVU abzuleiten. Im Kapitel 4 wird im Detail mit Beispielen auf die kurz angesprochenen Anwendungen von intelligenten Technologien eingegangen, welche den Mehrwert von ITVS darstellen.

4 Benefit intelligenter TVS

In diesem Kapitel werden die vorher erwähnten Anwendungen von intelligenten Technologien näher betrachtet. Diese Anwendungen sollen erläutern, wofür ITVS bei entsprechender Umsetzung der Messgerätauswahl, der Technologie der Datenübertragung, des Datenmanagements und geeigneten Analysen genutzt werden können.

Derzeit weisen der Großteil der Trinkwassernetze nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Messgeräten auf, welche wichtige Informationen für den Betreiber erfassen, wie zum Beispiel den Zufluss zum Versorgungsnetz, Hochbehälterfüllstände, Versorgungsdrücke, etc.. Steuerungsaufgaben können mit einer Fernwirkeinrichtung umgesetzt werden, wodurch zum Beispiel das Befüllen von Hochbehältern veranlasst werden kann.

ITVS hingegen wurden bereits von einigen WVU in unterschiedlichen Staaten implementiert. Dadurch hat sich die Messgeräteanzahl und das Datenaufkommen in WVS vervielfacht, bis hin zu einem intelligenten Messgerät (Smart Meter) pro Haushalt. Zudem wurden die Datenübertragungskapazitäten erweitert, damit die erhobenen Messdaten übertragen, gespeichert und für Analysen genutzt werden können.

In Europa, Australien, Neuseeland, Kanada, England, Amerika, Indien und Singapur gibt es bereits Pilotgebiete, welche die Prinzipien von ITVS anwenden und von WVU betrieben werden (Boyle et al. 2013). Jeder Betreiber eines WVS in einem Land hat unterschiedliche Intentionen ein intelligentes Trinkwasserversorgungssystem aufzubauen. Diese Intentionen werden durch Möglichkeiten wie das Einsparen von Wasserverlustmengen, daraus resultierende Energieeinsparung im Betrieb oder Wasserqualitäts-Monitoring geleitet, wodurch bestehende WVS mit geeigneten Methoden optimiert werden können.

Basis für eine Vielzahl von Anwendungen in einem ITVS bilden **hydraulische Modelle**. Ein hydraulisches Modell eines WVS ist für WVU von großer Bedeutung. Vor allem für Planer, WVU und andere Beteiligte, welche sich mit Aufgaben in der Analyse, Planung, Betrieb oder Instandhaltung von WVS beschäftigen (Savic et al. 2009). Diese hydraulischen Modellierungen stellen heutzutage übliche Anwendungen im Bereich des Wasserqualitäts-Monitorings, eines Wasserverlustmanagements dar. Aber auch für Optimierungen in der Betriebsführung, oder in der Unterstützung der Entscheidungsfindungen des verantwortlichen Personals können hydraulische Modelle genutzt werden.

Jeder hydraulischen Modellierung liegt ein mathematisches Modell zugrunde, welches aus unterschiedlichen Modellparametern besteht (Savic et al. 2009). Damit sich ein hydraulisches Modell realitätsnah verhalten kann, ist eine Kalibrierung einzelner Parameter unumgänglich (Sunela und Puust 2015).

Eine Beispiel für eine hydraulische Modellierung der Wasserqualität stellt eine Fallstudie in Tampere, einem finnischen WVU dar (Sunela und Puust 2015). Dieses WVS weist eine Leitungslänge von 780 km auf und hat einen Wasserverbrauch von ca. 40.000 m³/Tag (Sunela und Puust 2015). Die Wasserqualitätsänderung sollte mit einem hydraulischen Modell im zeitlichen Verlauf simuliert werden (Sunela und Puust 2015). Hierbei wurde eine Online-Kalibrierung angewendet indem echtzeitfähige Messgeräte alle fünf Minuten den hydraulischen und qualitativen Zustand des WVS erfassten (Sunela und Puust 2015). Stündlich wurden die gemittelten Messwerte über ein SCADA-Netz übertragen (Sunela und Puust 2015). Diese gesammelten Daten wurden zentral gespeichert und wurden von EPANET (Rossman 2000) in Kombination mit einem Real-Time Erweiterungs-Modul für ein Online-Wasserqualitäts-Monitoring und eine Wirkungsgradanalyse der Energie genutzt (Sunela und Puust 2015). Die betrachteten Wasserqualitätsparameter waren die verwendete Wasserquelle, Temperatur, pH-Wert, Härte und freies Chlor im WVS (Sunela und Puust 2015). Die Wirkungsgradanalyse der Energie wurde durchgeführt indem die nachgefragte Energie durch die eingespeiste Energie dividiert wurde (Sunela und Puust 2015). Zusätzlich können die gespeicherten Daten für Offline-Analysen genutzt werden, wie beispielsweise die Verbreitung von punktueller Kontaminierung des Trinkwassers im WVS (Sunela und Puust 2015).

4.1 Analyse des Verbrauchsverhaltens

Mit dem Wachsen der Weltbevölkerung wird es zunehmend schwieriger, ausreichend Trinkwasser in entsprechender Qualität und Menge zur Verteilung zur Verfügung zu stellen. Ein Szenario ist möglicherweise, dass bis zum Jahr 2030 Megastädte von einer Einwohneranzahl von 10 Millionen auf 40 Millionen wachsen könnten (Cominola et al. 2015). Hierbei entstehen neue Herausforderungen an die Trinkwasserversorgung, damit Einwohner versorgt werden können. Die Speicherkapazitäten sowie die Wassergewinnung stellen einen limitierenden Faktor dar. Weiter gilt es zu beachten, dass ein kosteneffizienter bewusster Umgang mit der Ressource Wasser sichergestellt werden muss (Cominola et al. 2015). Hierzu ist es von großer Bedeutung über das Verbrauchsverhalten bzw. Verbrauchsmuster von Haushalten Kenntnis zu haben. Dabei müssen Einflussfaktoren erfasst werden, die beschreiben wie Personen Wasser verbrauchen bzw. einsparen (Cominola et al. 2015). Zusätzlich können nicht kontrollierbare Faktoren den Wasserverbrauch verändern, welche saisonal, oder durch das Klima bedingt sind (Cominola et al. 2015).

Mit dem Einsatz von Durchflussmessgeräten mit AMR- bzw. AMI-Technologie kann der Wasserkonsum im zeitlichen Verlauf erhoben werden und eine genaue Charakterisierung des Wasserverbrauches von Haushalten bzw. Versorgungszonen vorgenommen werden.

Diese Verbrauchsanalysen werden von WVU unter anderem dazu genutzt, Bedarfsprognosen zu erstellen und Verbrauchsganglinien im zeitlichen Verlauf zu

evaluieren (Boyle et al. 2013). Zusätzlich können Bedarfsprognosen genutzt werden, um Betriebsprozesse (z. B.: Pumpensteuerungen) oder das Versorgungsnetz (Rohrdimensionierung) zu optimieren (Boyle et al. 2013). In Queensland, Australien, konnten durch Verwendung wassersparender Armaturen bei einem durchschnittlichen Tagesverbrauch eine Reduktion der Tagesspitze von bis zu 49 % beobachtet werden (Gurung et al. 2014). Zudem besteht die Möglichkeit in einem Haushalt alle Wasserverbrauchenden Geräte (z. B.: Armaturen, Waschmaschine, WC, Bad, Gartenbewässerung,...) mit einem Messgerät auszustatten. Mit der Messung über längere Perioden können Analysen erarbeitet werden, zu welchem Zeitpunkt welche Wassermengen von Geräten verbraucht werden (Gurung et al. 2014). Mit Optimierungen im zeitlichen Wasserverbrauch können Wasserspitzen abgeflacht werden, indem bestimmte Geräte wie Waschmaschinen bzw. Gartenbewässerungen ab bestimmten Tageszeiten zugelassen werden.

Ein weiterer Mehrwert aus der Verbrauchsanalyse besteht darin, dass der Wassertarif auf Basis der aktuell nachgefragten Wassermenge im Netz angepasst wird. Dadurch können beispielsweise Verbrauchsspitzen durch eine entsprechende Tarifierhöhung und der daraus resultierenden geringeren Nachfrage abgeflacht werden (Cominola et al. 2015). Eine weitere Möglichkeit das Verbrauchsverhalten zu nutzen, stellt das Ermitteln von Leckagen dar. Hierbei kann bei stetig zunehmenden Wasserverbrauch bei Haushalten (z. B. beim Nachtminimum) auf Leckagen oder defekte Armaturen geschlossen werden.

Die Analyse des Verbrauchsverhaltens nimmt zunehmend einen immer größeren Stellenwert in der Wasserversorgung ein. Damit sollen nicht nur zukünftige Bedarfsermittlungen für Haushalte erstellt werden. Auch der Zustand des Versorgungsnetzes kann überprüft werden, indem auf Leckagen in Haushalten oder dem WVS geschlossen werden kann.

4.2 Wasserqualitäts-Monitoring

Mit ITVS kann ein echtzeitfähiges Wasserqualitäts-Monitoring erarbeitet werden, damit die gesetzlichen Rahmenbedingungen bezogen auf die Wasserqualität eingehalten werden können. Hierbei können Beeinträchtigungen in ungewollter oder absichtlicher Form auftreten. Eine ungewollte Beeinträchtigung kann durch beispielsweise Leckagen im Versorgungsnetz auftreten, indem Schmutzpartikel unter großem Druckeinfluss in das Rohrleitungsnetz eines WVU eindringen. Weitere ungewollte Beeinträchtigungen können durch verunreinigte Quellen oder Brunnen entstehen, oder aber auch durch Pestizide, welche über das Grundwasser in das TVS gelangen. Eine absichtliche Beeinträchtigung kann zum Beispiel durch terroristische Anschläge veranlasst werden (Di Nardo et al. 2013).

Seit den terroristischen Anschlägen in Amerika am 11. September 2001 wurden öffentliche WVU, welche mehr als 3.300 Einwohnern mit Trinkwasser versorgen, als gefährdete Bereiche für terroristische Anschläge eingeteilt (Thompson und Kadiyala

2014). Als Folge wurde mit der U.S Environmental Protection Agency (EPA) in Cincinnati, Dallas, New York, Philadelphia und San Francisco ein kontinuierliches Online Wasserqualitäts-Monitoring aufgebaut (Thompson und Kadiyala 2014).

Als zusätzlicher Mehrwert aus diesem Wasserqualitäts-Monitoring konnten Thomson und Kadiyala folgenden Aspekt identifizieren. Die Effizienz in der Wasseraufbereitung und bei der Wasserverteilung wurde verbessert und zusätzlich kann die öffentliche Gesundheit besser geschützt werden (Thompson und Kadiyala 2014). Die betrachteten Wasserqualitäts-Parameter in den Städten mit implementierten Wasserqualitäts-Monitoring waren der gesamte organische Kohlenstoff (TOC engl. Total organic Carbon), Restchlorgehalt, Leitfähigkeit, pH-Wert und die Trübheit (Thompson und Kadiyala 2014). Um die Messgerätezahl gering halten zu können, wurden die Messgeräte an kritischen Positionen mit einer Sensor-Platzierungs-Optimierungs-Software (Berry et al. 2008) positioniert.

Mit konventionellen Lösungen wurden Ereignisdetektionen vorgenommen, womit gleiche Parameter in der näheren Umgebung verglichen wurden, und erst bei einer größeren Abweichung eines Parameters ein Alarm ausgelöst wurde (Thompson und Kadiyala 2014). Dadurch weist jeder Parameter einen Schwellenwert auf indem ein Wert als plausibel gilt. Wird dieser über- bzw. unterschritten wird ein Alarm ausgelöst, und das verantwortliche Bedienpersonal wird verständigt.

Der große Vorteil eines kontinuierlichen Wasserqualitäts-Monitoring besteht in einer gesicherten und verbesserten Bereitstellung von Trinkwasser für den Konsumenten (Thompson und Kadiyala 2014). Zusätzlich können Empfehlungen für die Wasseraufbereitung getätigt werden, wodurch ein effizienteres Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung sichergestellt werden kann (Thompson und Kadiyala 2014). Alarmer können bei Unter- oder Überschreitung getätigt und Trendanalysen der Wasserqualität können erarbeitet werden (Thompson und Kadiyala 2014). Durch Online-Messungen entsteht ein großes Datenaufkommen beim Wasserqualitäts-Monitoring. Damit verbunden sind lange Verarbeitungszeiten, wodurch eine Reaktionszeit zwischen Entstehung und Reaktion von einer Kontamination entsteht (Thompson und Kadiyala 2014). Die nächsten Forschungsschwerpunkte liegen in der Effizienzsteigerung im Betrieb, da bereits andere Messgeräte in den WVS erfasst werden, wodurch eine gemeinsame integrierte Lösung für ITVS geschaffen werden soll (Thompson und Kadiyala 2014).

4.3 Wasserverlustmanagement

Ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser ist für WVU und natürliche Personen von großer Bedeutung. Damit dieser effizient umgesetzt werden kann, wird versucht die Wasserverlustmengen in einem Trinkwasserversorgungssystem so gering wie möglich zu halten. Wasserverluste in Kombination mit unerlaubten Wasserentnahmen sind für einen beachtlichen Anteil der NRW verantwortlich (Loureiro et al. 2014). Wasserverluste können durch Leckagen in Rohrleitungen,

Hausanschlüsse, Verbindungen, Fittingen und Überläufe an Wassertanks entstehen (Loureiro et al. 2014).

Wasserverluste können in Hintergrundverluste, gemeldete und ungemeldete Lecks und Leitungsbrüche eingeteilt werden (Loureiro et al. 2014). Hintergrundverluste sind eine Anhäufung von kleinen Wassermengen, welche von Fittingen im WVS entweichen, und dadurch zu klein sind, um bei jedem einzelnen Fitting detektiert werden zu können (Loureiro et al. 2014). In diesem Fall spricht man von nicht detektierbaren Leckagen. Gemeldete Lecks bzw. Leitungsbrüche sind dem WVU in deren Lage bekannt, wohingegen die Lagen von ungemeldete Lecks und Leitungsbrüchen unbekannt sind, jedoch über die Analyse der Systemeinspeisung erkannt werden können. Diese Lagebestimmung von unbekanntem Lecks und Leitungsbrüchen stellt das WVU vor große Herausforderungen, damit ein nachhaltiger Umgang mit dem Trinkwasser sichergestellt werden kann.

Eine Möglichkeit Leckagen örtlich einzugrenzen ist die Bildung von Messzonen, sogenannte District Metered Areas (DMA) (Loureiro et al. 2014). Allerdings ist anzumerken, dass bei der Bildung von DMA's die gewünschte Redundanz des Versorgungsnetzes durch eine vermaschte Struktur des Leitungsnetzes verloren geht. Dem kann bis zu einem gewissen Grad entgegengewirkt werden, indem mehrere DMA's mit Verbindungsleitungen, welche mit intelligenten Messgeräten und Schiebern ausgestattet sind, verbunden werden. Damit kann beim Ausfall eines DMA die Wasserversorgung über ein zweites DMA erfolgen.

Eine gängige DMA Größe entspricht ca. 1.000-3.000 Hausanschlüssen und ist mit intelligenten Messgeräten ausgestattet, womit die Zu- und Ausflusswassermengen ermittelt werden (Loureiro et al. 2014). Mit der Erfassung des Nachtminimums, sollen die Hintergrundverluste erfasst werden, da zu diesem Zeitpunkt der Großteil der Bevölkerung schläft, wodurch die entweichenden Wassermengen nicht von den Haushalten verbraucht werden (Loureiro et al. 2014). Beim Erfassen des Nachtminimums können Unsicherheiten entstehen, da auch unbekannte Leckagen unter diesen Begriff Nachtminimum subsumiert werden (Loureiro et al. 2014). Mit einer Übertragung der Messwerte mit zum Beispiel GSM in einem Stundenintervall werden die verbrauchten Wassermengen an einen WVU übermittelt. Die Daten werden zentral gespeichert und mit einem Algorithmus ausgewertet (Loureiro et al. 2014). Diese verbrauchten Wassermengen werden mit Informationen über das Verbrauchsverhalten und einem hydraulischem Modell mit dem DMA verglichen (Loureiro et al. 2014). Wird ein definierter Schwellenwert mit einem erhöhten Wasserverbrauch von länger als sechs Stunden überschritten, wird dies vom Algorithmus als unbekanntes Leck oder Rohrleitungsbruch detektiert (Loureiro et al. 2014). Von der Wahrnehmung einer Leckagen oder Rohrleitungsbrüchen, bis zur Lokalisierung im DMA und einer Behebung kann eine Dauer von mehreren Stunden bis Tagen verstreichen (Loureiro et al. 2014). In Summe wurden von Loureiro fünf DMA in Portugal mit diesem Algorithmus als Fallbeispiele untersucht (Loureiro et al.

2014). Die Wasserverlustmengen des NRW reichten von 0,7–15 % der eingespeisten Wassermenge und konnten im Durchschnitt um mehr als 10 % reduziert werden. Mit der Erfassung der verbrauchten Wassermengen in einem DMA konnten saisonale Schwankungen erfasst werden. Aber auch unerlaubter und ungemessener Wasserverbrauch von Nutzern wurden erfasst (Loureiro et al. 2014).

Probleme entstanden bei der Übertragung der Messwerte des Wasserverbrauchs, wodurch das Datenmaterial nicht vollständig für die erforderlichen Analysen erhoben wurde. Unter Zuhilfenahme statistischer Methoden konnte das fehlende Datenmaterial ergänzt werden, um die notwendigen Analysen durchführen zu können (Loureiro et al. 2014).

Zusätzlich kommt es bei einer Vielzahl an Versorgern vor, dass Wasser zu Trinkwasser aufbereiten werden muss, was mit einem beachtenswerten Aufwand verbunden ist. Auch anhand dieses Beispiels wird verdeutlicht, dass durch unnötig hohe Wasserverlustmengen im WVS wesentlich mehr Wasser aufbereitet werden muss, damit die Versorgung sichergestellt werden kann. Denn mit der Aufbereitung von Wasser zu Trinkwasser sind wiederum Betriebskosten verbunden und können durch ein effizientes Wasserverlustmanagement verringert werden.

Eine weitere Möglichkeit Wasserverlustmengen zeitnah zu reduzieren bietet ein **Druckmanagement**. Wasserverlustmengen bzw. Leckagen sind abhängig vom Betriebsdruck eines WVS (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Verringert sich der Betriebsdruck werden auch die Wasserverluste in einem WVS reduziert. Mit dieser Maßnahme können Wasserverlustmengen eingespart werden, bevor kostenintensive Rehabilitationsarbeiten veranlasst werden (Berardi et al. 2015). Dadurch wird eine Untergrenze an Leckagen im Betrieb von WVS toleriert (Berardi et al. 2015).

Mit der Verwendung von intelligenten Druckreduzierungsventilen und einer Einteilung des WVS in DMA, in denen der Druck nach Bedarf variiert werden kann, können verschiedenste Strategien zur Druckreduzierung umgesetzt werden (Berardi et al. 2015). Diese Strategien können von einer lokalen Drucksteuerung bis hin zur ferngesteuerte Druckregelung reichen (Berardi et al. 2015). Bei der lokalen Drucksteuerung wird der Druck verringert/erhöht, wenn ein definierter Druckzustand im WVS überschritten/unterschritten wird (Berardi et al. 2015).

Mit dem Einsatz von intelligenten Messgeräten und einer echtzeitfähigen Datenübertragung kann der Druckzustand in DMA ferngesteuert erhöht bzw. verringert werden (Berardi et al. 2015). In diesem Fall spricht man von intelligentem Druckmanagement. Hierbei muss der geringste Druckzustand in einem DMA in Echtzeit erfasst werden, um mit entsprechenden Druckänderungen der Druckreduzierungsventile im WVS reagieren zu können.

In der Gemeinde Opegård, Norwegen wurde ein intelligentes Druckmanagement aufgebaut. Dieses intelligente Druckmanagement wurde in Form einer ferngesteuerten Druckregelung umgesetzt (Berardi et al. 2015). Das WVS von

Oppegård besteht aus 128 km Rohrleitungsnetz und die Höhenlage des Versorgungsnetzes variiert zwischen 40 bis 180 m über dem Meeresspiegel (Berardi et al. 2015). Mit der ferngesteuerten Druckreduzierung mit Druckreduzierungsventilen konnten Wassereinsparungen von 244 m³/Tag realisiert werden, was einer Reduktion der Leckagen um 27 % entspricht (Berardi et al. 2015). Durch Untersuchung unterschiedlicher Druckmanagement-Szenarien wurde es ermöglicht, mehr als 41 % der Leckagemengen zu reduzieren, im Vergleich zum aktuellen Betrieb des WVS von Oppegård (Berardi et al. 2015).

4.4 Automatisierte Ereignisdetektion

Mit der Verwendung eines Monitorings-Systems, welches periodisch Messgrößen im WVS erhebt kann eine automatisierte Ereignisdetektion umgesetzt werden. ITVS mit einer Online-Anbindung der Messgeräte stellen die Grundlagen für die Umsetzung dar. Im Bereich der Wasserqualität kann eine automatisierte Ereignisdetektion auf festgelegten Schwellenwerten der Wasserqualitätsparameter erfolgen (Eliades et al. 2015). Mit Unter- bzw. Überschreitung dieser Schwellenwerte können Ereignisse automatisiert von Messgeräten erfasst werden (Eliades et al. 2015). Zusätzlich kann eine Verständigung des verantwortliche Personal veranlasst werden (Eliades et al. 2015). Aber auch Kontaminationen, welche durch Schmutzeintrag bei Leckagen oder terroristischen Ambitionen entstehen, können im WVS erfasst werden.

Eine weitere Möglichkeit eine automatisierte Ereignisdetektion zu nutzen stellt eine modellgestützte Leckage Eingrenzung dar (Steffelbauer et al. 2014). Hierbei werden Durchflüsse und Druckzustände während des Nachtminimums ermittelt (Steffelbauer et al. 2014). In einem hydraulischen Modell des Versorgungsgebietes werden Leckagen angesetzt und die Ergebnisse aus der Modellierung werden mit den Durchflüssen und Druckzuständen der im Versorgungsnetz positionierten Messgeräten verglichen (Steffelbauer et al. 2014). Mit einer Minimierung der Abweichung zwischen den Messwerten aus dem Versorgungsnetz und dem hydraulischen Modell mit angesetzter Leckage, können Aussagen über eine Leckage Eingrenzung im Versorgungsnetz vorgenommen werden (Steffelbauer et al. 2014). Mit dieser Methode konnte in einem Teilnetz eines Österreichischen WVU, mit einer Leitungslänge von ca. 37 km Leckagen in deren Lage eingegrenzt werden (Steffelbauer et al. 2014). 20 % der Simulationen konnten den genauen Leitungsabschnitt der Leckage ermitteln (Steffelbauer et al. 2014). Bei 62 % der Simulationen wurde die Leckage auf den umliegenden Leitungsabschnitt eingegrenzt.

Aber auch das Verbrauchsverhalten von DMA oder Haushalten kann betrachtet werden, um eine automatisierte Detektion von Leckagen vorzunehmen. Hierzu messen Durchflussmessgeräte den Zufluss zu einem DMA oder Haushalt. Wird eine stetige Zunahme des Durchflusses bemerkt (z. B. Nachtminimum) kann unter Berücksichtigung statistischer/saisonaler Verbrauchsschwankungen auf die Präsenz von Leckagen geschlossen werden.

Der Vorteil aus einer automatisierten Ereignisdetektion besteht in einer Verkürzung der Laufzeit vom Erkennen einer Leckage bzw. Kontamination im WVS bis hin zur Maßnahmenergreifung. Ressourcen in Form von Trinkwasser und Personal können aufgrund einer gezielten Leckage Ortung bzw. feststellen von Kontamination oder einer verminderten Wasserqualität eingespart werden.

4.5 Energieoptimierung

Durch das Anwenden von Energieoptimierung sollen Betriebskosten für WVU reduziert werden. Für den Verbrauch von elektrischer Energie sind vorwiegend Pumpen verantwortlich. Durch die Optimierung von Pumpensteuerungen, aber auch durch Wassereinsparung im WVS kann elektrische Energie eingespart werden und dazu beitragen, dass weniger Kosten für den Betrieb eines WVS anfallen (Parra 2016). Durch die Verwendung von intelligenten Messgeräten in einem ITVS können Wasserverlustmengen in Haushalten, aber auch im WVS erfasst werden (Britton et al. 2013). Mit der Verständigung des betroffenen Haushaltes, kann eine Reparatur des undichten/defekten Bauteiles veranlasst werden, womit in Folge Wasserverlustmengen reduziert werden (Britton et al. 2013).

In Hervey Bay, Australien, einer Stadt mit einer Einwohneranzahl von 53.551 Einwohner im Jahr 2007 konnten stündliche Wasserverluste um durchschnittlich 89 % verringert werden (Britton et al. 2013). Diese Wassereinsparung konnte innerhalb von drei Monaten realisiert werden (Britton et al. 2013). 70 % der Leckagen in Haushalten wurden mit weniger als 200 australischen Dollar (130 Euro) repariert (Britton et al. 2013). Der Großteil von Leckagen wurden an Toiletten, Zuleitung der Wasserversorgung zum Haushalt, defekten Wasserhähnen, Wassererhitzern und Duschen im Haushalt festgestellt (Britton et al. 2013).

Durch die Reduzierung von Leckagen in Haushalten oder im WVS kann der Wasserverbrauch in Summe verringert werden. Wird ein Großteil des Trinkwassers aus dem Grundwasserkörper mithilfe von Brunnen und Pumpen gefördert, wie dies in Österreich zum Großteil der Fall ist, kann elektrische Energie und die Ressource Wasser eingespart werden. In weiterer Folge werden auch die Betriebskosten für WVU reduziert. Dieses nicht benötigte Trinkwasser (welches durch Leckagen im Versorgungsnetz und in Haushalten austritt) muss nicht in Hochbehälter gepumpt werden, damit der tägliche Bedarf an Trinkwasser sichergestellt werden kann.

4.6 Verbraucher Zufriedenheit

Die gemessenen Wasserverbräuche der einzelnen Hausanschlüsse können dem Endverbraucher zur Verfügung gestellt werden. Dies kann als „Software as a Service“ (SaaS) umgesetzt werden, wodurch der Endverbraucher die Möglichkeit hat, sich über einen Webbrowser seine persönlichen Wasserverbräuche darstellen zu lassen (Boyle et al. 2013). In Sydney beispielsweise wurden 161 Haushalte mit einem Display ausgestattet, womit das konsumierte Wasser mit AMI-fähigen

Messgeräten in nahezu Echtzeit angezeigt werden konnte. Nur durch das Anbringen eines Displays, welches den Wasserverbrauch darstellte, wurde es möglich, dass der Wasserverbrauch um durchschnittlich 7-10 % verringert wurde (Boyle et al. 2013). Zusätzlich können dem Endverbraucher neue Wassertarife und laufende bzw. zukünftige Instandhaltungsarbeiten angezeigt werden, wodurch die Serviceleistung von WVU gegenüber den Kunden verbessert wird (Boyle et al. 2013).

Mit der Anwendung von SaaS können den Kunden deren monatlichen Wasserverbräuche, sowie zusätzliche Einsparungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden. Ein weiterer Mehrwert von SaaS besteht in der jährlichen/monatlichen Rechnungszustellung via E-Mail oder Online über ein Web-Interface.

4.7 Verrechnungsmanagement

Smart Meter bzw. Wasserzähler, welche mit AMI Technologie ausgestattet sind, können implementiert in ein ITVS ein wesentlich effizienteres Abrechnungsmanagement ermöglichen. Bisher werden die abgegebenen Wassermengen an den Endverbraucher meist jährlich vom WVU-Personal manuell abgelesen. Dies hat nicht nur die lange Wartezeit auf die Rechnungslegung und Erstellung der Wasserbilanz zur Folge, sondern neben den ungenauen rollierenden Ablesungen oftmals auch die Schätzung von Verbräuchen bei defekten Geräten.

In Echtzeit angebundene Hauswasserzähler ermöglichen hingegen einen ständigen Überblick über die eingespeiste und verkaufte Wassermenge und demnach die Entwicklung des gesamten Wasserverbrauchs im System. Diese Daten können zudem zu einer rascheren Detektion von auftretenden Rohrgebrechen, auch beim Endverbraucher, führen.

Mit der Anwendung von ITVS kann ein innovatives Tarifmanagement ermöglicht werden. Damit kann beispielsweise der Spitzenwasserverbrauch zu bestimmten Tageszeiten verringert werden (Marchment Hill Consulting 2010). Mit dieser Maßnahme sollen Spitzenwasserverbräuche abgeflacht werden, indem Tarife zu Zeitpunkten mit hohem Wasserverbrauch angehoben werden, wodurch der Wasserkonsum auf die Zeitdauer mit günstigerem Wassertarif umgelagert werden soll (Gurung et al. 2014). Aber auch eine Tarifierhöhung bei Wasserengpässen wäre denkbar, wie dies beispielsweise in Australien und England angewendet wird (Boyle et al. 2013). Der übermäßige temporäre Wasserkonsum durch das saisonal bedingte Befüllen von Swimming Pools oder das Bewässern von Gartenflächen zu Zeiten mit Ressourcenknappheit soll unterbunden werden. Dies wird bereits in Australien praktiziert, wodurch jeder Person in einem Haushalt eine gewisse Wassermenge zur Verfügung steht (Boyle et al. 2013). Wird diese überschritten, wird für die darüberhinausgehende Wassermenge ein höherer Wassertarif in Rechnung gestellt (Gurung et al. 2014).

4.8 Grenzen der Anwendbarkeit

Mit der Entwicklung von ITVS ergeben sich neue Möglichkeiten für den Betrieb von WVS. Ein Aufbau des ITVS analog zur 5-Layerstruktur des SWAN-Forums kann hilfreich sein. Hierbei ist vor allem der Informationsgewinn aus dem physischen Wasserversorgungsnetz von großer Bedeutung, da entsprechende Messgeräte angebracht werden müssen, welche in der Lage sein müssen die erhobenen Daten zu übertragen. Ein Eckpfeiler für ein funktionierendes ITVS ist definitiv eine robuste Form der Datenübertragung. Limitierende Faktoren bei den Messgeräten können die Datenübertragung, aber auch die Spannungsversorgung über Akkumulatoren bzw. das Stromnetz sein. Zudem kann das Alter eines verwendeten Messgerätes bedeutend für die Möglichkeit der Datenübertragung sein. Einige ältere Messgeräte haben die Möglichkeit mit einem Kommunikationsmodul nachgerüstet zu werden. Dadurch steht eine kostengünstige Alternative zum Neuerwerb von intelligenten Messgeräten zur Verfügung. Aber auch die Verwendung von defekten Messgeräten bzw. Steuer- und Regelungseinheiten sind limitierende Faktoren, wodurch ein ITVS eingeschränkt werden kann.

Im Bereich der Übertragungsnetze und der Datenspeicherung können Probleme mit der Kommunikation bzw. der Datenübertragung auftreten, wodurch ein Informationsdefizit für spätere Analysen entstehen kann. Je nach Übertragungsintervall und Anzahl der verwendeten Messgeräte mit Kommunikationsmodul muss ein Übertragungsnetz in der Lage sein die Informationen vom Versorgungsnetz verarbeiten zu können. Dieses anfallende Datenmaterial muss gespeichert werden, was zur heutigen Zeit keinen limitierenden Faktor darstellt.

Bei der Einführung eines ITVS bedarf es seitens des WVU einiges an Aufklärungsarbeit. Das Personal sieht in dieser Technologie eine Konkurrenz für deren eigenen Arbeitsplatz, denn zunehmend werden Arbeitskräfte durch automatisierte Produktionsstätten ersetzt. Die Vorteile dieser Technologie müssen demnach auch gegenüber dem Personal entsprechend vermittelt werden. Schlussendlich bedarf es immer menschlicher Fachkompetenz um die automatisiert-veranlassten Steuerungen oder Regelungen zu überprüfen und gegebenenfalls Einzugreifen bzw. falschen Abläufen entgegen zu wirken.

5 ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN

Mittels der vorangegangenen Literaturrecherche wird der Aufbau von ITVS anhand eines experimentellen Labornetzes des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau beschrieben. Hierbei wird der Fünf-Layer Aufbau auf das Labornetz angewendet. Zusätzlich soll eine Analyse des Verbrauchsverhaltens vorgenommen werden.

Die Analyse des Verbraucherverhaltens erfolgt, sodass unter Zuhilfenahme des Labornetzes mit allen Komponenten wie Sensoren, Steuerung und Auswertungstools, reale Einspeisemengen aus einem Pilotgebiet eines realen TVS skaliert auf Modellmaßstab erzeugt werden. Magnetventile, welche als Stellvertreter für strategische Ventile in realen Systemen stehen, werden basierend auf automatisch generierten Schaltmatrizen gesteuert um das Verbrauchsverhalten eines realen Netzes nachzuempfinden.

Die Zuordnung der Bestandteile zur Umsetzung der automatisierten Steuerung des Verbrauchsverhaltens im Labormodell wird analog zum Fünf-Layer Aufbau von ITVS beschrieben.

5.1 Anlagenteile des Labornetzes

Das experimentelle Labornetz des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft- und Landschaftswasserbau besteht aus einem Wasserreservoir, einer Pumpe, einem Windkessel, sowie aus 51 Leitungsteilen mit Verbindungsstücken, 8 Schiebern und einer Gesamtleitungslänge von ca. 50 Metern (Günther et al. 2015).

Das Wasserreservoir dient der Wasserversorgung des experimentellen Labornetzes mit ausreichend Wasser. Die Versorgung des Netzes erfolgt über eine Unterwasserpumpe. Das für Laborversuche benötigte Wasser wird an definierten Stellen über Ventile entnommen und kontrolliert in das Reservoir zurückgeführt. Es erfolgt ein regelmäßiger Wasseraustausch um Verunreinigungen, sowie der Erwärmung des verwendeten Wassers entgegenzuwirken

Das Labormodell besteht aus PE-80 Rohren und weist drei verschiedene Innendurchmesser (20,4; 32,6 und 40,8 mm) auf. Die Schieber und Fittinge bestehen ebenfalls aus diesem Material. Um die Wasserentnahmestellen sowie Drucksensoren im Labormodell anzubringen wurden Anbohrschellen verwendet. Im Labormodell sind neben magnetisch induktiven und Ultraschalldurchflusssensoren auch Drucksensoren und ein Temperatursensor verbaut.

In Abbildung 25 wird das experimentelle Labornetz des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz (EWDS-TUG) dargestellt (Günther et al. 2014; Günther et al. 2015). Zusätzlich ist im Anhang A ein Plan des Labornetzes zu entnehmen.



Abbildung 25: Bild des experimentellen Labornetzes (Foto: M. Günther, 2015)

5.1.1 Versorgung des Labornetzes

Die Wasserversorgung des Labormodells erfolgt über einen Tiefbehälter, welcher rund 5 m³ Wasser fasst. Das experimentelle Labornetz wird mit Versorgungsdrücken, wie sie auch in österreichischen Versorgungsnetzen typisch sind, zwischen 20- und 60 m betrieben und fördert bis zu 8 m³ Wasser pro Stunde. Dies erfolgt mit einer 15-stufigen Kreiselpumpe des Herstellers Grundfos mit der Typenbezeichnung SP 8A-15.

Die Pumpe wird mithilfe eines Frequenzumformers angesteuert und es stehen mehrere Betriebsarten zur Verfügung. Diese können in Druck- und Durchflussgesteuert unterschieden werden, wobei ein bestimmter Druck oder Durchfluss festgelegt wird. Der Frequenzumformer übernimmt die Regelung, damit der festgelegte Wert (definierter Druck oder Durchfluss) erreicht wird. Zusätzlich kann die Pumpe mit einem Frequenzumformer mit einer bestimmten Frequenz betrieben werden.

Die Pumpenkennlinie wird im Anhang B dargestellt. Die entsprechende Typenbezeichnung der verwendeten Pumpe wurde mit einem schwarzen Rechteck umrahmt.

Für die derzeitigen Experimente regelt der Frequenzumformer die Pumpendrehzahl stetig, damit ein Druck von 4,05 bar im Labornetz vorherrscht. Zusätzlich muss die Pumpe einen Mindestdurchfluss von 0,2 Liter pro Sekunde aufweisen, damit die Kühlung der Pumpe sichergestellt wird und Schäden an der Pumpe vorgebeugt werden. Alle eingebauten Schieber im Labornetz wurden bei der Simulation bzw. Analyse des Verbrauchsverhaltens geöffnet.

5.1.2 Wasserentnahmen im Labornetz

Damit Wasserverbraucher im Labornetz simuliert werden können, war es notwendig, Wasserentnahmen im laufenden Betrieb vorzunehmen. Diese Apparaturen zur Wasserentnahme werden sowohl für die Simulation von Verbrauchern (Analyse des Verbrauchsverhaltens), als auch zur Simulation von Leckagen verwendet. Dies wurde mit einer speziellen Apparatur bestehend aus einem Durchflusssensor, einem Magnetventil und einem Drehventil am Ende der Apparatur umgesetzt.

Die Magnetventile sind an Relaiskarten angeschlossen, welche anhand von Schaltmatrizen zentral von einem PC angesteuert werden können. Die elektrisch angesteuerten Magnetventile sind für das Öffnen bzw. Schließen der Entnahmestellen verantwortlich und sollen Wasserverbraucher sowie auftretende Leckagen in einem Versorgungssystem simulieren.

In Summe stehen (im derzeitigen Setup) 13 Wasserentnahmen (mit der Bezeichnung K1_1-8 bis K2_1-5) im Labornetz zur Verfügung. Abbildung 26 zeigt die Umsetzung einer Wasserentnahmeeinrichtung, womit kontinuierliche als auch zeitlich variierende Wasserentnahmen realisiert werden können. In Anhang C ist die Positionierung der Wasserentnahmestellen ersichtlich.



Abbildung 26: Aufbau einer Wasserentnahmeeinrichtung (Foto: M. Günther, 2015)

Jede der 13 Wasserentnahmen weist einen unterschiedlichen Wasserverbrauch auf, welcher bei einem Versorgungsdruck von 4,05 bar erhoben wurde. Dieser Wasserverbrauch wurde mit einer Teilöffnung des Drehventiles realisiert. Die Wasserverbrauchsmengen der einzelnen Wasserentnahmen wird in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Wasserentnahmen an den Magnetventilen (Quelle: i. A. M. Günther, 2015)

Magnetventil Bezeichnung	Druck [bar]	Durchfluss bei Entnahmestellen Q [l/s]
K1_1	4,05	0,37
K1_2	4,05	0,21
K1_3	4,05	0,14
K1_4	4,05	0,12
K1_5	4,05	0,16
K1_6	4,05	0,07
K1_7	4,05	0,28
K1_8	4,05	0,00
K2_1	4,05	0,03
K2_2	4,05	0,12
K2_3	4,05	0,25
K2_4	4,05	0,15
K2_5	4,05	0,21

5.2 Messen, Steuern- und Regeln im Labornetz

Die Messgeräte sind im Labornetz integriert und sind über Anbohrschellen oder direkt an der Leitung in das Labormodell eingebunden. Im Labornetz werden Durchfluss, Druck, Geschwindigkeit und Temperatur erfasst und die Messparameter an Datenlogger weitergeleitet. Damit jeder Messwert eindeutig identifizierbar ist, werden die Messgeräte einem Eingangskanal (engl. Channel (CH)) eines Datenloggers zugeteilt. Mit dieser Identifikation der Messgeräte kann jeder erhobene Messwert einer eindeutigen Position und Messgerät zugeordnet werden. In Summe werden zwei Datenlogger verwendet. Der Datenlogger Endress und Hauser ist für 16 analoge Messgeräte verantwortlich, welche mit E und einer laufenden Nummer (z. B. E01) bezeichnet wurden. Der Meilhaus RedLab 1608G Datenlogger ist ebenfalls in der Lage 16 analoge Messsensoren zu verwalten. Derzeit sind im Labornetz 9 der 16 Kanäle in Verwendung und haben die Bezeichnung R gefolgt von einer laufenden Nummer (z. B. R01).

Im Anhang D wird die Zuordnung der Messgeräte auf den jeweiligen Datenlogger und die Positionierung im Labornetz auf den Anbohrschellen (AS) bzw. Leitungen (L) beschrieben. Zudem erfolgt eine eindeutige Zuordnung der Sensoren, sowie Leitungen und Knoten in einem hydraulischen Modell des physischen Netzes.

Im Rohrleitungsnetz des Labornetzes werden Durchflussmengen mit MID und UFM erfasst. Die Drücke im Labormodell werden mit 8 piezoresistiven Drucksensoren erfasst. Abbildung 27 stellt die gängigen Druck- und Durchflussmessgeräte dar, welche im Labornetz Anwendung finden (Günther et al. 2014; Günther et al. 2015).

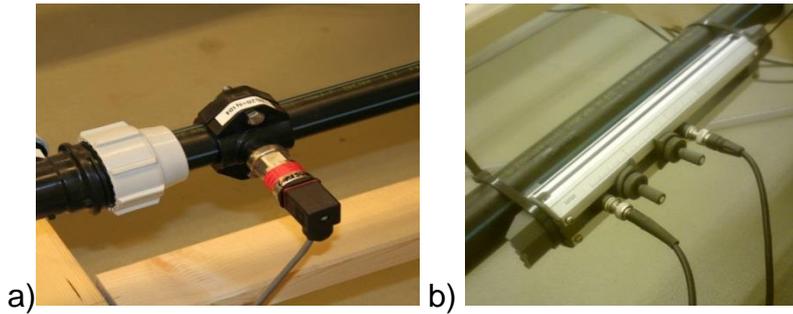


Abbildung 27: a) Druck-, b) Durchflussmessgeräte (UFM) des Labornetzes (a) Foto: M. Günther, 2015)

5.2.1 Messgeräte

Für die Messungen im Labornetz sind beim derzeitigen Forschungsprojekt „Aktives Zustandsmonitoring von Trinkwasserverteilleitungen“ (AZM), welches sich mit modellgestützter Leckage Eingrenzung befasst (Fuchs-Hanusch et al. 2014), zwei physikalische Messgrößen von großer Bedeutung. Einerseits der Durchfluss, womit die Fließmenge je Zeiteinheit in einem definierten Leitungsabschnitt gemessen wird und andererseits der Druck, welcher auf die Rohrleitungsabschnitte als innere Kraft einwirkt. Tabelle 4 stellt die zugeteilten Eingangskanäle, die Schnittstelle, das Messprinzip, die physikalische Messgröße und deren Einheiten dar. Zusätzlich wurde im Wasserreservoir ein Temperaturfühler integriert um den Einfluss der kinematischen Zähigkeit des Mediums Wasser auf Druck etc. bei den Experimenten gegebenenfalls berücksichtigen zu können.

ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN

Tabelle 4: Messgeräte des Labornetzes (Quelle: i.A. M. Günther, 2015)

Eingangskanal	Schnittstelle	Messprinzip	Messgröße	Messbereich	Einheit
E01	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0 - 27	l/s
E02	4-20 mA	Piezoresistiv	Druck	0 - 16	bar
E03	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
E04	4-20 mA	Piezoresistiv	Druck	0 - 6	bar
E05	4-20 mA	Piezoresistiv	Druck	0 - 6	bar
E06	4-20 mA	Piezoresistiv	Druck	0 - 6	bar
E07	4-20 mA	UFM	Durchfluss	0,5 - 7	m/s
E08	4-20 mA	UFM	Durchfluss	0 - 50	m ³ /h
E09	4-20 mA	UFM	Durchfluss	0 - 50	m ³ /h
E10	4-20 mA	EFM	Durchfluss	2,5 - 50	l/min
E11	4-20 mA	UFM	Durchfluss	0 - 50	m ³ /h
E12	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
E13	4-20 mA	DMP321	Druck	0 - 6	bar
E14	4-20 mA	DMP335	Druck	0 - 6	bar
E15	4-20 mA	DMP331	Druck	0 - 6	bar
E16	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R00	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R01	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R02	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R03	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R04	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R05	4-20 mA	Temp	Temperature		°C
R08	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R09	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R10	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R11	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min
R12	4-20 mA	EFM	Durchfluss	0,8 - 16	l/min

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass einige Messgerätehersteller die Durchflussmenge in m³/h, andere wiederum in l/min oder l/s angeben. Diese unterschiedlichen Einheiten können aufgrund der physikalischen Zusammenhänge umgerechnet werden, damit spätere Auswertungen auf gleicher Einheitenbasis erfolgen.

5.2.2 Einfluss des Messbereichs auf die Messgenauigkeit

Bei der Messgeräteauswahl ist es von zentraler Bedeutung den Messbereich für den späteren Einsatz der Sensoren auf die Gegebenheiten des Versorgungssystems anzupassen. Eine Auswahl von Messgeräten mit einem größeren Messbereich als gefordert kann sich negativ auf die Messgenauigkeit auswirken, wodurch ein unnötig großer Messfehler entstehen kann. Nachfolgend soll dieser resultierende Messfehler bzw. Messungenauigkeit anhand von ausgewählten Messgeräten im Labornetz aufgezeigt werden. Hierzu werden Messgeräte mit unterschiedlichen Messbereichen und Messgenauigkeiten zum Erfassen des Durchflusses und des Druckes herangezogen.

5.2.2.1 Durchflusssensor

Bei den Durchflusssensoren wurden die Messgeräte mit der Eingangskanal E01 und E08 herangezogen, damit eine vergleichende Gegenüberstellung der Messgeräte ermöglicht wird. Das Messgerät am Kanal E01 weist einen Messbereich von 0–27 Liter pro Sekunde auf und hat eine Genauigkeit von 5 % bezogen auf den gesamten Messbereich (FS = Full Scale). Das Messgerät, welches am Kanal E08 angeschlossen ist, weist einen Messbereich von 0-13,89 Liter pro Sekunde auf, und besitzt eine Genauigkeit von 0,1 % auf den gerade erhobenen Messwert (of reading).

In Tabelle 5 werden die relativen Abweichungen der beiden Messgeräte E01 und E08 für einen im Labor typisch auftretenden Durchfluss berechnet. Es ist ersichtlich, dass Messgeräte mit einem zu großen Messbereich (E01) und einem Fehler auf den gesamten Messbereich bei kleineren Messwerten große relative Abweichungen in der Höhe bis zu 67,5 % aufweisen. Dadurch wird eine Abweichung von fast 1,7-fach des gemessene Messwert zugelassen, wenn dies nicht bereits bei der Messgeräteauswahl berücksichtigt wird. Dadurch ist die Messbereichsauswahl zusätzlich zur Genauigkeit eines Messgerätes von zentraler Bedeutung, damit der Messbereich im späteren Betrieb möglichst ausgenutzt wird. Werden Messgeräte (E08) verwendet, welche den relativen Messfehler auf den gerade erhobenen (of reading) Messbereich beziehen, wird der angegebene Genauigkeit von 0,1% auf den gemessenen Messwert angewendet. Dadurch entsteht ein geringerer maximal zugelassener Messfehler, welcher der Genauigkeit des Messgerätes entspricht.

Tabelle 5: relative Abweichung in Abhängigkeit des Wertebereiches von Durchflussmessgeräten

	E01	E08
Messbereich Sensor	0 - 27 l/s	0 - 13,89 l/s
Genauigkeit	5 % FS	0,1 % of reading
Erw. max Abweichung	1,35 l/s	0,002 l/s
Wahrer Messwert	2 l/s	2 l/s
Relativer Messfehler bezogen auf wahren Messwert	$1,35 / 2 = 67,5 \%$	$(2 \cdot 0,001) / 2 = 0,1 \%$

5.2.2.2 Drucksensor

Am Beispiel zweier Drucksensoren mit unterschiedlichen Messbereichen wird dieses Beispiel wiederholt. Hierzu wurde das Druckmessgerät auf dem Eingangskanal E02 mit einem Messbereich von 0–16 bar mit dem Messgerät E15 verglichen, welches einen Messbereich von 0–6 bar aufweist. Die Betrachtung des relativen Fehlers erfolgt mit einem wahren Messwert von 4 bar im Labormodell. Daraus soll der Einfluss von Messbereichen auf den relativen Fehler dargestellt werden.

Tabelle 6 stellt den relativen Fehler von Messgeräten mit unterschiedlichen Messbereichen gegenüber. Es ist ersichtlich, dass das Messgerät, welches am Eingang E02 angeschlossen ist, einen größeren Wertebereich aufweist, womit eine größere Abweichung bei kleineren Messbereichen verbunden ist. Wird der Messbereich reduziert, wie mit dem Messgerät, welches am Messeingang E15 angeschlossen ist, verringert sich der relative Fehler.

Infolge kann mit geeigneter Messbereichsauswahl von Messgeräten aktiv in die Fehlerreduzierung von Messwerten eingegriffen werden.

Tabelle 6: Relative Abweichung in Abhängigkeit des Wertebereiches von Druckmessgeräten

	E02	E15
Messbereich	0 - 16 bar	0 - 6 bar
Genauigkeit	0,5 % FS	0,35 % FS
Abs. Abweichung	0,08 bar	0,021 bar
Wahrer Messwert	4 bar	4 bar
Relativer Messfehler	$0,08 / 4 = 2 \%$	$0,021 / 4 = 0,525 \%$

5.2.3 Steuerung des Labornetzes

Die Steuerung des Labormodells erfolgt einerseits manuell und andererseits über eine zentrale „Leitwarte“, welche die Magnetventile an den Verbraucher/Leckage-Positionen, basierend auf einer vordefinierten Schaltmatrix, steuert.

5.2.3.1 Exkurs Ganglinien des Pilotgebietes

Ganglinien werden verwendet damit der zeitliche Verbrauch von Wasser visuell dargestellt werden kann. Hierbei kann in Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresganglinien unterschieden werden. Der Wasserbedarf unterliegt Schwankungen, welche durch das Klima, die Lebensgewohnheiten, Bevölkerungsstruktur und Siedlungsstruktur beeinflusst werden. Zusätzlich können jahres- und tageszeitliche Schwankungen auftreten (Fuchs-Hanusch et al. 2014). Abbildung 28 stellt Verbrauchsschwankungen in Abhängigkeit der Besiedlungsstruktur dar. In Abbildung 28 sind deutliche Unterschiede in Bezug auf Verbrauchsschwankungen dargestellt.

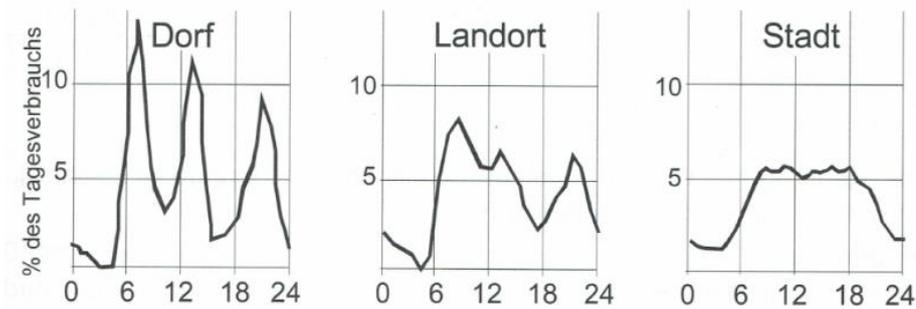


Abbildung 28: Verbrauchsschwankungen in Abhängigkeit der Besiedlungsstruktur (Fuchs-Hanusch et al. 2014)

Die Siedlungsstruktur in kleinen Versorgungsstrukturen wie einem Dorf weisen Verbrauchsspitzen in den Morgen-, Mittags- und Abendstunden auf. Ein Landort weist bereits weniger markante Verbrauchsschwankungen auf, wohingegen der Wasserverbrauch in städtischen Gebieten über den Tag nur relativ geringen Schwankungen im Verbrauch unterliegt.

5.2.3.1.1 Tagesganglinie des Pilotgebietes

Die reale Tagesganglinie stellt den täglichen Wasserverbrauch in einem Pilotnetz eines österreichischen Wasserversorgers dar. Hierbei werden die Wassermengen, die von den Verbrauchern im Verlauf von 24 Stunden verbraucht werden, dargestellt. Für die Simulation im Labornetz wurde der Tagesverbrauch vom 5. August 2015 zugrunde gelegt. Abbildung 29 zeigt die Tagesganglinie für das Pilotgebiet am 5. August 2015. Zwischen 02:00 und 04:00 Uhr in der Nacht wurde der geringste Wasserverbrauch erhoben (Nachtminimum). Um ca. 07:00 bis 09:00 Uhr in der Früh wird die Morgenspitze, der Spitzenverbrauch des Tages, erreicht. Anschließend verringert sich der Wasserverbrauch, bis dieser ca. um 12:00 bis 13:00 Uhr ein wenig erhöht wird und anschließend erneut abflacht. Ab ca. 17:00 Uhr steigt der Wasserbrauch bis ca. 21:00 Uhr. Anschließend fällt der Wasserverbrauch auf ca. jenen Wert, welcher bereits in den Nachtstunden auftritt (ca. 00:00 bis 01:00 Uhr).

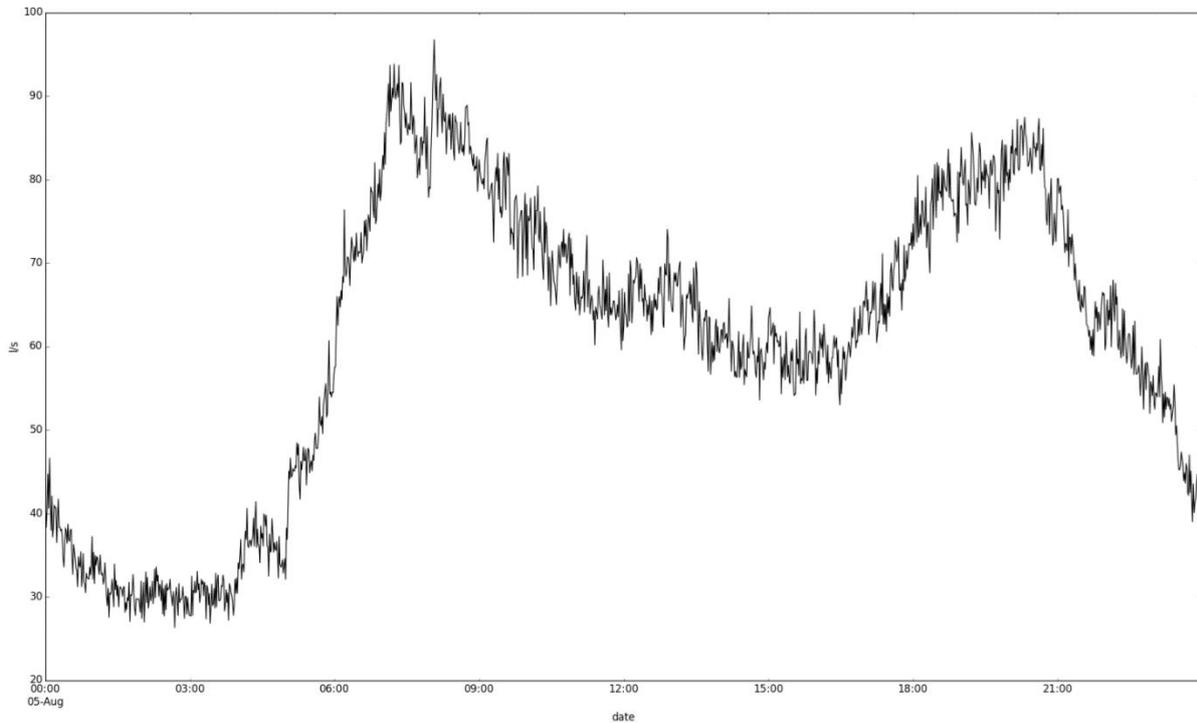


Abbildung 29: Tagesganglinie im Projektgebiet (Günther et al. 2015)

5.2.3.1.2 Wochenganglinie des Pilotgebietes

Mit der Wochenganglinie wird der Wasserverbrauch über eine Woche dargestellt, wie dieser in Abbildung 30 dargestellt ist. Es ist ersichtlich, dass die täglichen Verbräuche ebenfalls Schwankungen unterliegen.

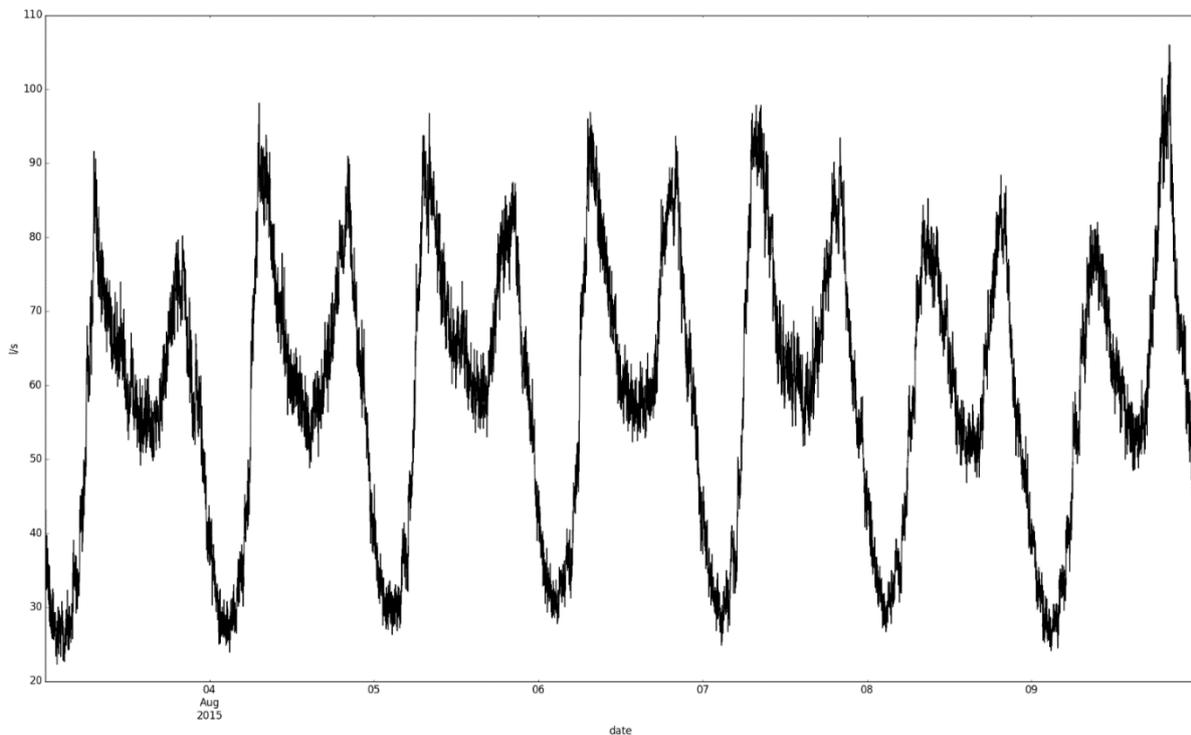


Abbildung 30: Wochenganglinie im Projektgebiet (Günther et al. 2015)

5.2.3.2 Erstellung von Schaltmatrizen

Damit die Tages-, und Wochenganglinien des Pilotgebietes im Labormaßstab simuliert werden können, muss eine Skalierung der Ganglinien vorgenommen werden (Günther et al. 2015). Anschließend können die skalierten Ganglinien zur Modellierung einer Ganglinie genutzt werden, woraus eine Schaltmatrix für das Labormodell erstellt wird. Anhand dieser Schaltmatrix werden die Wasserentnahmen im Labormodell gesteuert.

5.2.3.2.1 Skalierung von Ganglinien

Damit der tatsächlich erhobene Wasserverbrauch von Wochen- oder Tagesganglinien im Pilotgebiet auf das Labornetz angewendet werden kann, muss der Wasserverbrauch auf die örtlichen Gegebenheiten des Labornetzes skaliert werden. Hierzu kam ein Skalierungsfaktor zur Anwendung. Dieser Skalierungsfaktor ergibt sich aus der Summe der Wasserentnahmen des Labornetzes dividiert durch den maximalen Wasserverbrauch, welcher im realen System auftrat.

Skalierungsfaktor:
$$norm = \frac{\Sigma Q_{Lab}}{\max. Q_{Pilot}}$$

ΣQ_{Lab} Summe der Durchflüsse der Wasserentnahmestellen im Labornetz

$\max. Q_{Pilot}$ Maximaler Durchfluss im Pilotgebiet einer Wochen- bzw. Tagesganglinie

Mit diesem Skalierungsfaktor wird der maximale Wasserverbrauch des Labornetzes auf die Wasserentnahmen, welche mit den Magnetventilen gesteuert werden, begrenzt. Anschließend wird der arithmetische Mittelwert der skalierten Verbräuche über einen bestimmten Zeitabschnitt ermittelt. Für die Modellierung der Ganglinien wurden zwei unterschiedliche Zeitbasen verwendet. Diese Zeitbasen betragen 30 oder 60 Minuten, was bedeutet, dass für die Modellierung eines Zeitabschnittes der Ganglinie ein Intervall von 30 oder 60 Minuten herangezogen wurde. Abbildung 31 stellt die Modellierung der Ganglinie auf den unterschiedlichen Zeitbasen von 30 und 60 Minuten dar, wobei das arithmetische Mittel berechnet wird.

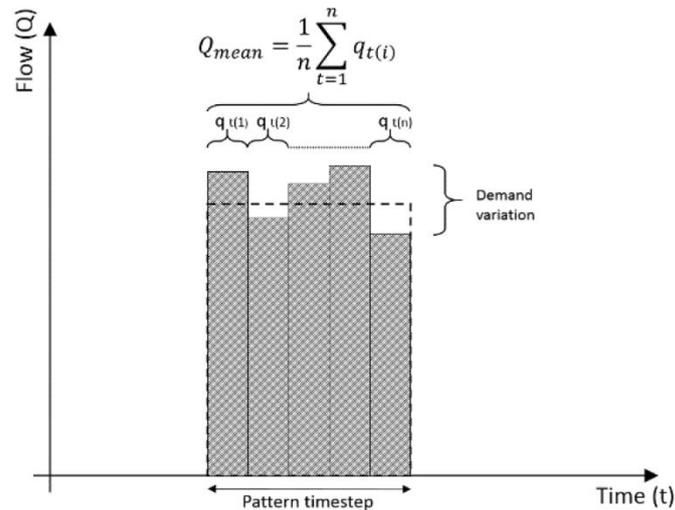


Abbildung 31: Modellierung der Ganglinien (Günther et al. 2015)

Die modellierte Ganglinie wurde anschließend herangezogen, um eine Schaltmatrix automatisch zu erstellen.

5.2.3.2.2 Erstellung der Schaltmatrix

Die Erstellung der Schaltmatrix wurde mithilfe der Programmiersprache Python umgesetzt. Der benötigte Source-Code zur Erstellung der Schaltmatrix wurde vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau zur Verfügung gestellt.

Bei der theoretischen Erstellung der Schaltmatrix wird versucht, die Differenz zwischen der modellierten Ganglinie und der Wasserentnahmemengen durch die Magnetventile so gering wie möglich zu halten. Die Differenz zwischen der modellierten Ganglinie und der Wasserentnahmemengen im Labornetz soll einem vordefinierten Wert, welcher im Source-Code frei wählbar ist, von 0,05 Liter pro Sekunden nicht über- oder unterschreiten. Die Schaltkombination der 13 Entnahmestellen des Labornetzes wird bei der Schaltmatrixerstellung zufällig ausgewählt. Liegen mehrere mögliche Schaltkombinationen innerhalb der zugelassenen Toleranz, wird eine der Kombinationen zufällig ausgewählt und in die Schaltmatrix übernommen.

Abbildung 32 stellt den Aufbau der automatisch erstellten Schaltmatrix dar. In der ersten Spalte wird das Zeitintervall angeführt, in dem die Schaltkombinationen der Magnetventile gewechselt werden (Einheit: Sekunden [s]). Hierbei wurde ein Schaltintervall der Magnetventile von 15 Sekunden gewählt. Die darauffolgenden Spalten stellen die jeweiligen Magnetventile dar, beginnend von K1_1–K1_8 und K2_1–K2_8. Der Zustand 0 bei den jeweiligen Spalten der Magnetventile, stellt ein geschlossenes Ventil dar. Mit dem Zustand 1 werden die jeweiligen Magnetventile geöffnet und Wasser wird aus dem Labornetz entnommen.

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?														
15	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
45	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
75	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
105	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
120	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
150	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
165	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
180	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
195	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0

Abbildung 32: Schaltmatrix

Das Schaltintervall der Schaltmatrix kann individuell gewählt werden. Bei den Simulationen der Ganglinien im Labornetz wurde ein Schaltintervall von 15 Sekunden gewählt. Diese 15 Sekunden werden von der frequenzgesteuerten Pumpe benötigt um den geforderten Druck von 4,05 bar nach einem Schaltkombinationswechsel der Magnetventile im Labornetz wieder herzustellen.

Mit dem Schaltintervall von 15 Sekunden ist das Labornetz in der Lage eine Tagesganglinie auf der modellierten Zeitbasis von 60/30 Minuten in 6/12 Minuten zu simulieren. Eine Wochenganglinie auf der modellierten Zeitbasis von 60 Minuten kann demnach in 42 Minuten im Labornetz nachgestellt werden.

5.2.3.3 Modellierte Tagesganglinien mit Schaltmatrix im Labornetz

Abbildung 33 stellt die modellierte Tagesganglinie auf Basis realer Eingangsdaten, welche auf einer Zeitbasis von 60 Minuten erstellt wurde, dar. Die Abszisse stellt den zeitlichen Tagesverlauf in Stunden dar und die Ordinate den Durchfluss in Liter pro Sekunde. Die rote Linie (real world) stellt den skalierten gemittelten Wasserverbrauch der gewählten Zeitbasis von 60 Minuten dar. Die schwarze Linie (lab model) zeigt die Tagesganglinie, welche durch die Schaltmatrix im Labornetz erzeugt wird, unter Einhaltung der maximalen zulässigen Toleranz von 0,05 Liter pro Sekunde.

ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN

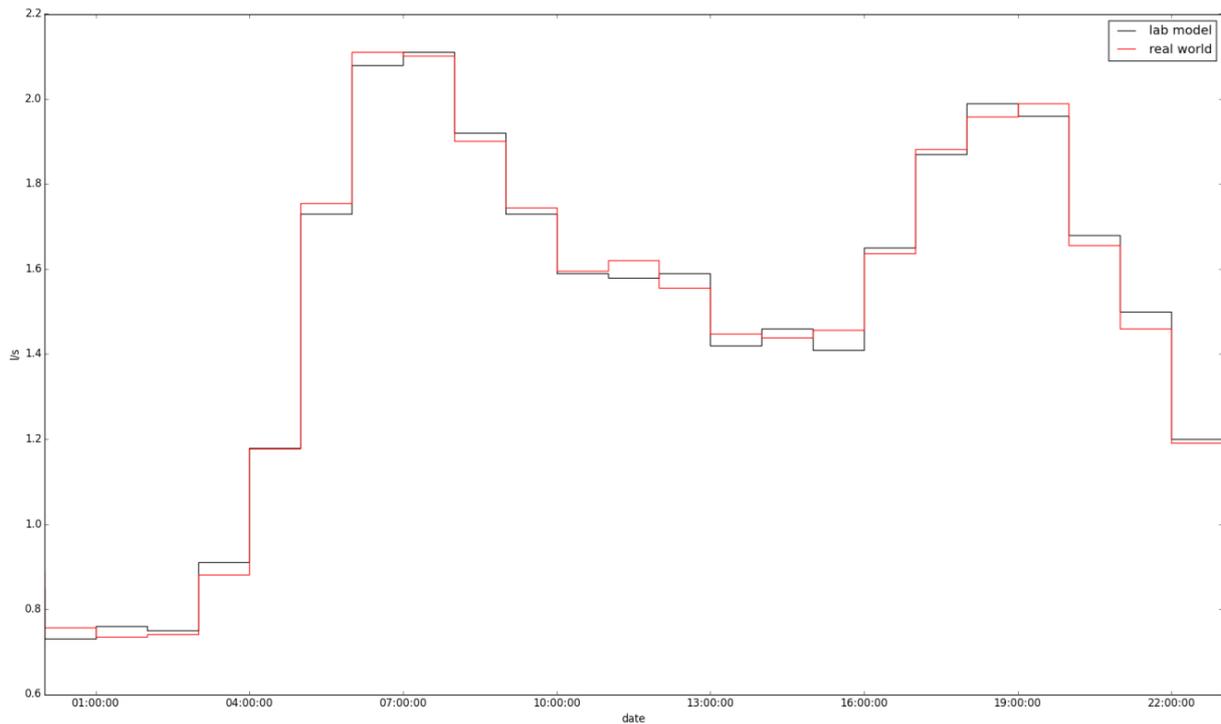


Abbildung 33: Skalierte Tagesganglinie [Zeitbasis: 60 Minuten]

Abbildung 34 stellt die Schaltmatrix für die Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten dar.

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?														
15	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
30	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
60	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
75	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
90	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
105	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
135	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
150	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
165	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
180	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
195	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
210	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
225	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
240	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
255	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
270	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
285	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
300	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
315	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
330	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
345	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
360	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0

Abbildung 34: Schaltmatrix für die Tagesganglinie [Zeitbasis: 60 Minuten]

Abbildung 35 stellt ebenfalls dieselbe Tagesganglinie dar. Die gewählte Zeitbasis für die modellierte Tagesganglinie beträgt 30 Minuten. Wiederrum stellt die rote Linie (real world) den skalierten gemittelten Wasserverbrauch des Forschungsnetzes dar, wohingegen die schwarze Linie (lab model) die von der Schaltmatrix erzeugte Tagesganglinie für das Labornetz beschreibt.

Mit der Auswahl einer Zeitbasis von 30 Minuten für die Modellierung einer Tagesganglinie, können kurze Wasserverbrauchsänderungen besser simuliert werden, als mit der Zeitbasis von 60 Minuten. Dies ist auf die arithmetische Mittelwertbildung der Ganglinienerstellung zurückzuführen. Mit einer weiteren Reduzierung der Zeitbasis können Verbrauchsschwankungen im Pilotgebiet noch genauer im Labornetz nachgebildet werden, jedoch wird die Versuchsdauer im Labornetz erhöht.

5.3 Datenspeicherung und Kommunikation im Labornetz

In diesem Abschnitt wird auf die Datenspeicherung und die Kommunikation im experimentellen Labornetz eingegangen.

5.3.1 Kommunikation

Die Kommunikation zwischen den Messgeräten und den Datenloggern erfolgt über ein kabelgebundenes Netz, womit die Messgeräte zusätzlich mit elektrischer Energie versorgt werden. Durch die räumliche Begrenzung des experimentellen Labornetzes kann auf die Verwendung von anderen Kommunikationsarten verzichtet und zugleich die Ausfallsicherheit erhöht werden.

Das Messsignal wird an Datenlogger übertragen und anschließend an einen zentralen PC für die Weiterverarbeitung der Daten geleitet. Am PC erfolgt eine erste Visualisierung und Speicherung der Datensätze mit einem speziell auf die Bedürfnisse angepassten Programmes erstellt in LabView (Johnson 1997). Die zentral gesammelten und abgelegten Daten können laufend an OpenSDM (Open Scientific Data Management) übertragen werden, welches wissenschaftliche Datensätze effizient und vielseitig verwaltet (Camhy et al. 2012). Abbildung 37 zeigt das Funktionsprinzip der Kommunikation in Abhängigkeit der Layerstruktur des Labornetzes.

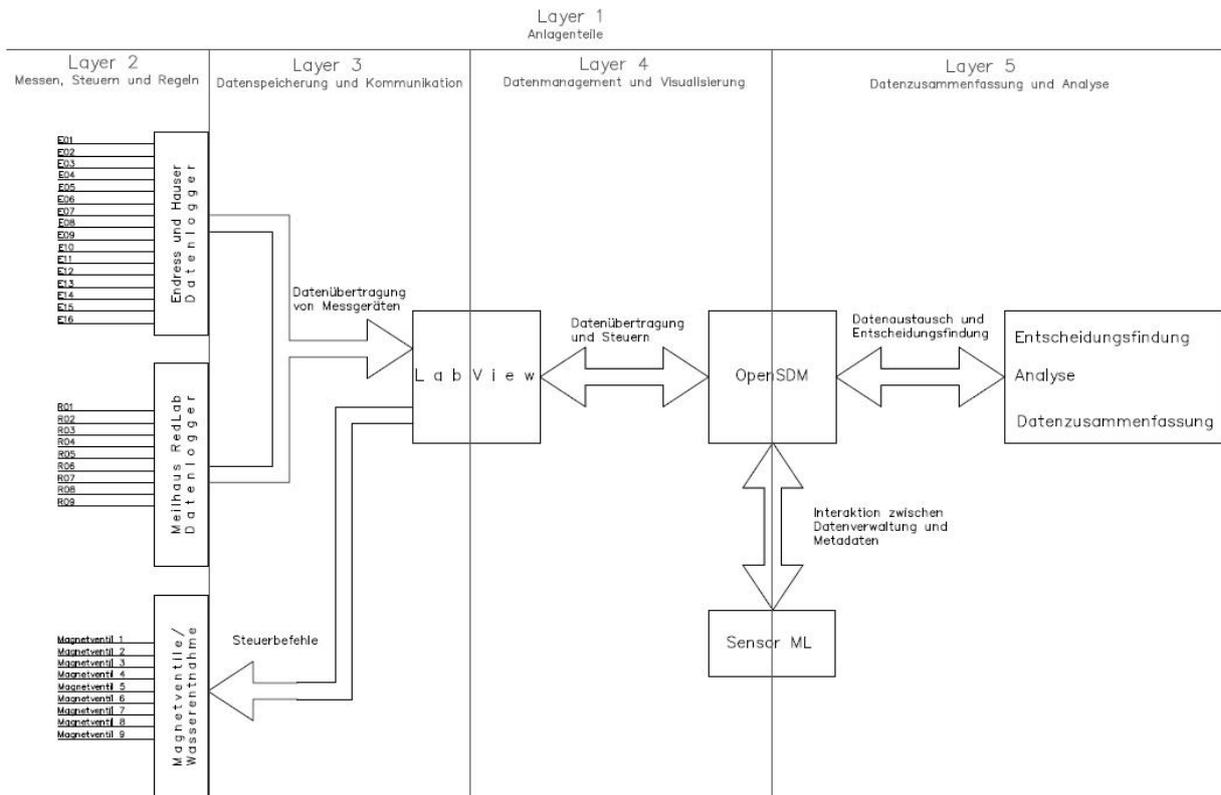


Abbildung 37: Aufbau und Funktionsprinzip der Kommunikation (Foto: M. Günther, 2015)

5.3.2 Datenspeicherung

Die Datenspeicherung erfolgt über einen Server des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau. Dazu werden die gesamten gemessenen Messwerte zu einem Dokument zusammengeführt, und eine stündliche Speicherung der Datensätze vorgenommen, damit bei Störungen nicht die gesamte Datenmenge verworfen werden muss. Dieses Dokument ist eine Text-Datei und wird als CSV gespeichert. CSV-Formate (engl. Comma-separated values) beschreiben einen Aufbau eines Datenformates, womit erhobene Messwerte durch ein Komma voneinander getrennt werden. Sie beinhaltet neben dem Zahlenwert für die Messgrößen auch das Datum mit Uhrzeit der Messung und den Eingangskanal des Messgerätes, wodurch der zeitliche Verlauf von Messwerten verfolgt werden kann.

5.3.2.1 Aufbau des Textdokuments

Das Textdokument hat bei der Protokollierung der Messwerte stets dasselbe Format und denselben Aufbau. In Abbildung 38 wird der Aufbau des Textprotokolls bei der Messung im Labornetz exemplarisch dargestellt. Die erste Spalte beschreibt das Datum und die Uhrzeit des Laborversuches, anschließend folgen Angaben zum Eingangskanal des Messgerätes vom Datenlogger und einem Reserveparameter gefolgt vom erhobenen nominellen Messwert des Messgerätes.

Datei	Bearbeiten	Format	Ansicht	?
05.06.2014	14:30:39	1	0	1,570
05.06.2014	14:30:39	2	0	4,010
05.06.2014	14:30:39	3	0	0,000
05.06.2014	14:30:39	4	0	3,490
05.06.2014	14:30:39	5	0	3,520
05.06.2014	14:30:39	6	0	3,540
05.06.2014	14:30:39	7	0	1,440
05.06.2014	14:30:39	8	0	0,010
05.06.2014	14:30:39	9	0	0,820

Annotations in the image:

- Datum der Messung:** Points to the date and time columns.
- Eingangskanal (CH):** Points to the channel column.
- Reserveparameter:** Points to the reserve parameter column.
- gemessener Messwert:** Points to the measured value column.
- Zeitsignatur:** Points to the time part of the date and time columns.

Abbildung 38: Aufbau des Textprotokolls

5.4 Datenmanagement und Visualisierung im Labornetz

Die vom Messgerät erhobenen und übertragenen Messwerte werden auf einem Server des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau gespeichert. Die Namensgebung der Datei ist flexibel, jedoch muss die Bezeichnung eindeutig sein um Versuche und deren erhobenen Daten eindeutig zuordnen zu können.

Mittels der Programmiersprache Python („Python 2.7.8 Release | Python.org“ 2014) werden die gesammelten Messdaten vom Labornetz visuell aufbereitet und können anschließend für Analysen genutzt werden.

5.4.1 TOML

Die im Labornetz vorhandenen Messgeräte werden mit TOML beschrieben. Bei TOML handelt es sich um eine Syntax-Schreibweise, welche ohne Probleme in OpenSDM gelesen und implementiert werden kann. Damit erfolgt ein OGC-Standard getreue Erfassung und Verwaltung der Messgeräte in Anlehnung an SensorML. Die einzelnen Messgeräte werden in TOML-Syntax mit Metadaten über Hersteller, Typenbezeichnung, Seriennummer, Messbereich, Messprinzip, Position der

Messgeräte im Labornetz, wartungsverantwortliches Personal und Wartungsintervall erfasst und verwaltet.

Nachfolgend wird der TOML-Quellcode für die Verwaltung eines Durchflussmessgerätes dargestellt. Der Quellcode für Druck- und Temperaturmessgeräte ist korrespondierend aufgebaut und kann der Daten CD, welche sich im Anhang befindet, entnommen werden.

5.4.1.1 Klassifizierung der Messgeräte:

[classification]

```
measurement_type= "Flow"      #Einteilung in Durchflussmessgerät
keywords= azm, acm            #Stichwörter, Schlagwörter
connection_type= "analog"     #Verbindungsart
```

[characterisation]

```
connection_u_min= "4 mA"      #Eingangssignal Minimum
connection_u_max= "20 mA"     #Eingangssignal Maximum
```

5.4.1.2 Einteilung der Messgeräte nach Hersteller:

[type of] #Verweist auf Kapitel 5.4.1.1 Klassifizierung der Messgeräte:

```
flowmeter.ini
```

[identification]

```
manufacturer= "Danfoss"      #Eigenschaft /Name des Herstellers
```

5.4.1.3 Einteilung nach Herstellerbezeichnung:

[type of] #Verweist auf Kapitel 5.4.1.2

```
flowmeter_danfoss.ini
```

[identification]

```
model_number= "Flowmeter MAG 5000" #Herstellerbezeichnung
```

[classification]

```
measurement_principle= "MID: Magnetisch Induktiver Durchflussmesser"
#Messprinzip
```

5.4.1.4 Spezifische Eigenschaften des Messgerätes:

[type of] #Verweist auf Kapitel 5.4.1.3

```
flowmeter_danfoss_MAG5000.ini
```

[identification]

serial_number= "486030T352" #Seriennummer
internal_name= "EFM-1" #interne Bezeichnung
inventory_number= "-" #Inventarnummer
responsible_person= "-" #Verantwortliches Personal
maintenance_interval= "-" #Wartungsintervall

[characterisation]

accuracy= "+/- 5.0 (%) FS" #Genauigkeit +/- 5 % auf Full Scale
(gesamter Wertebereich) bezogen
range_min= "0 l/s" #Minstdurchflussmenge
range_max= "27 l/s" #Maximale Durchflussmenge

[channel]

offset="2.00 V" #Offset des Messsignals
epanet_position.csu #Position in EPANET
cad_position.csu #Position im CAD-Plan

5.4.2 Visualisierung der erfassten Daten

In diesem Abschnitt wird auf die Darstellung der erfassten Messdaten von den jeweiligen Laborversuchen eingegangen. Hierzu werden die Ganglinien auf unterschiedlicher Zeitbasis dargestellt und beschrieben. Die Darstellung wurde mit Python in Kombination mit einem Source-Code umgesetzt, welcher wie bereits bei der Schaltmatrix vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau zur Verfügung gestellt wurde (Günther et al. 2015).

5.4.2.1 Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten

Abbildung 39 kann in eine obere und untere Abbildungen unterteilt werden. Die obere Abbildung stellt die modellierte Tagesganglinie dar, welche mit der Schaltmatrix erzeugt wird. In der unteren Abbildung wird die simulierte Tagesganglinie des Labornetzes dargestellt. Die Zeitbasis für die Modellierung beträgt 60 Minuten. Die Abzisse beschreibt einerseits die Versuchsdauer der simulierten Tagesganglinie, und andererseits den Wasserverbrauch im Laufe von 24 Stunden bei der modellierten Tagesganglinie. Die Ordinate bildet den Durchfluss in Liter pro Sekunden ab. Es ist ersichtlich, dass die Morgenspitze um 7 Uhr (Modellierte Tagesganglinie), 2,1 Liter pro Sekunden beträgt. Dieser Durchfluss kann vom Labornetz zum Zeitpunkt um ca. 15:41:00 Uhr nicht realisiert werden und liegt ca. 0,1 Liter pro Sekunden darunter.

ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN

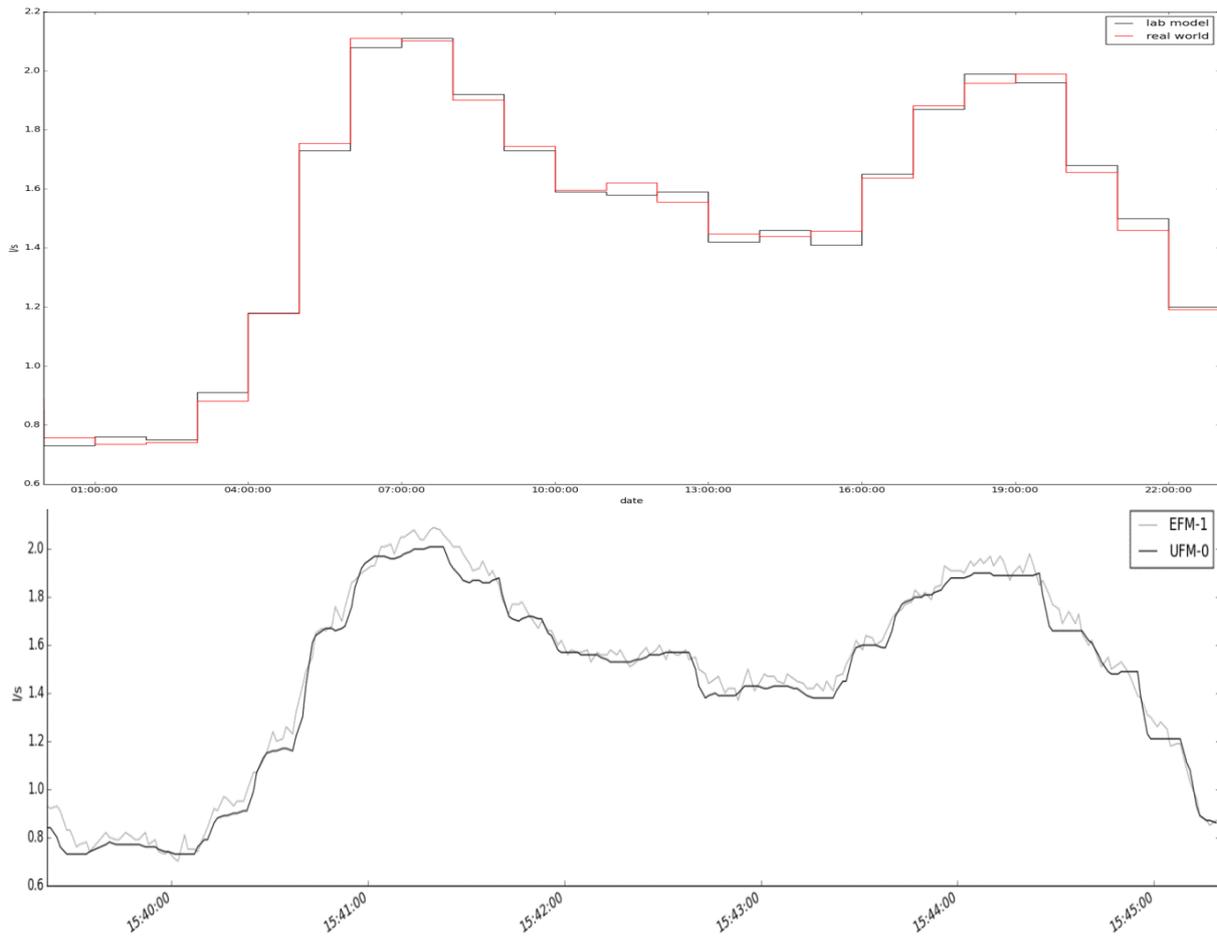


Abbildung 39: Tagesganglinie der Modellierung und des Labornetzversuches auf der Basis von 60 Minuten

Abbildung 40 stellt den Durchfluss vom Labornetz in Abhängigkeit von der Zeit dar. Die Abszisse stellt den zeitlichen Verlauf in Minuten dar, wohingegen die Ordinate den Durchfluss in Liter pro Sekunde beschreibt. Zusätzlich ist Abbildung 40 in zwei Teilabbildungen unterteilt. Die obere Darstellung stellt den Zufluss zum Labornetz dar, während in der unteren Darstellung die einzelnen Entnahmemengen an den Verbraucherpositionen, sowie deren Status (geöffnet/geschlossen), ersichtlich ist.

ITVS-Prinzipien am Beispiel eines experimentellen TVN

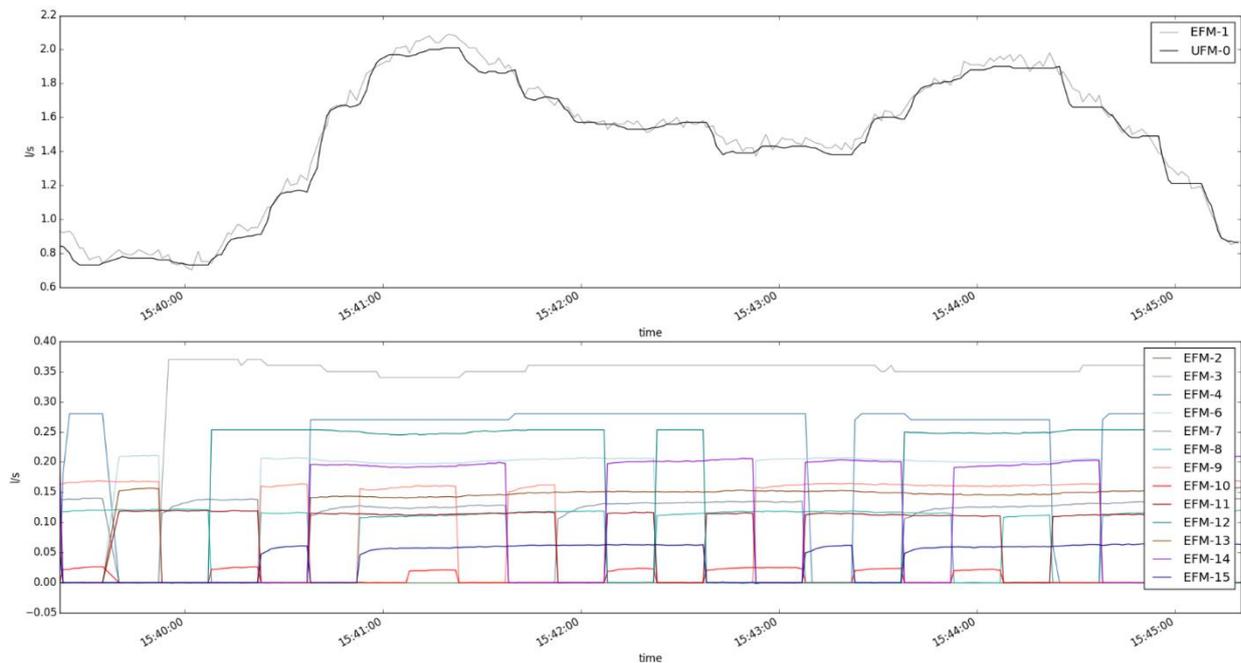


Abbildung 40: Skalierte Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten

Die obere Darstellung von Abbildung 40 stellt die Tagesganglinie, welche durch die Schaltmatrix erstellt wurde, dar. Die gesamte Tagesganglinie wurde im Labornetz innerhalb von 6 Minuten erzeugt, aufgrund des Schaltintervalls der Schaltmatrix. EFM-1 und UFM-0 messen dieselbe Messgröße, jedoch weist UFM-0 einen kleineren Messwertebereich und geringere Messungenauigkeiten auf, wodurch dieses Messgerät im Vergleich zu EFM-1 den „genaueren“ Messwert darstellt. Der zeitliche Verlauf des Durchflusses stellt die Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten dar.

In der unteren Darstellung von Abbildung 40 werden die einzelnen Durchflüsse der Magnetventile (EFM-2 bis EFM-15) abgebildet, welche basierend auf der erstellten Schaltmatrix die jeweiligen Relais und somit Magnetventile steuert. Das Schaltintervall beträgt 15 Sekunden, wodurch es ermöglicht wird, eine Stunde im realen Versorgungssystem im Labornetz in 15 Sekunden nachzubilden.

Treten im Labornetz große Durchflüsse bzw. ein großer Verbrauch auf, fällt der Druck im Labornetz ab. Dadurch verringert sich der Durchfluss, welcher durch die Wasserentnahmestellen entweicht. Dies ist auf die Druckabhängigkeit der Wasserentnahmen im Labor zurückzuführen. Denn anders als im hydraulischen Modell des Labornetzes, wo Verbraucher an Knoten als druckunabhängig modelliert werden, agieren die Verbraucher im Labormodell druckabhängig. Die verringerten Durchflussmengen treten in den Zeitabschnitten von 15:40:20 Uhr bis 15:41:45 Uhr und von 15:43:30 Uhr bis 15:44:30 Uhr auf, wodurch der geforderte (theoretisch) modellierte Durchfluss von ~2,1 Liter pro Sekunde nicht erreicht wird. Der Druckabfall kann in Abbildung 41 zu denselben Zeitpunkten beobachtet werden, in denen sich der Durchfluss durch die Wasserentnahmestellen erhöht. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass bei der Modellierung der Ganglinie ein stets konstanter Druck

vorausgesetzt wird, welcher im Labornetz aufgrund der frequenzgesteuerten Pumpe nicht gewährleistet werden kann.

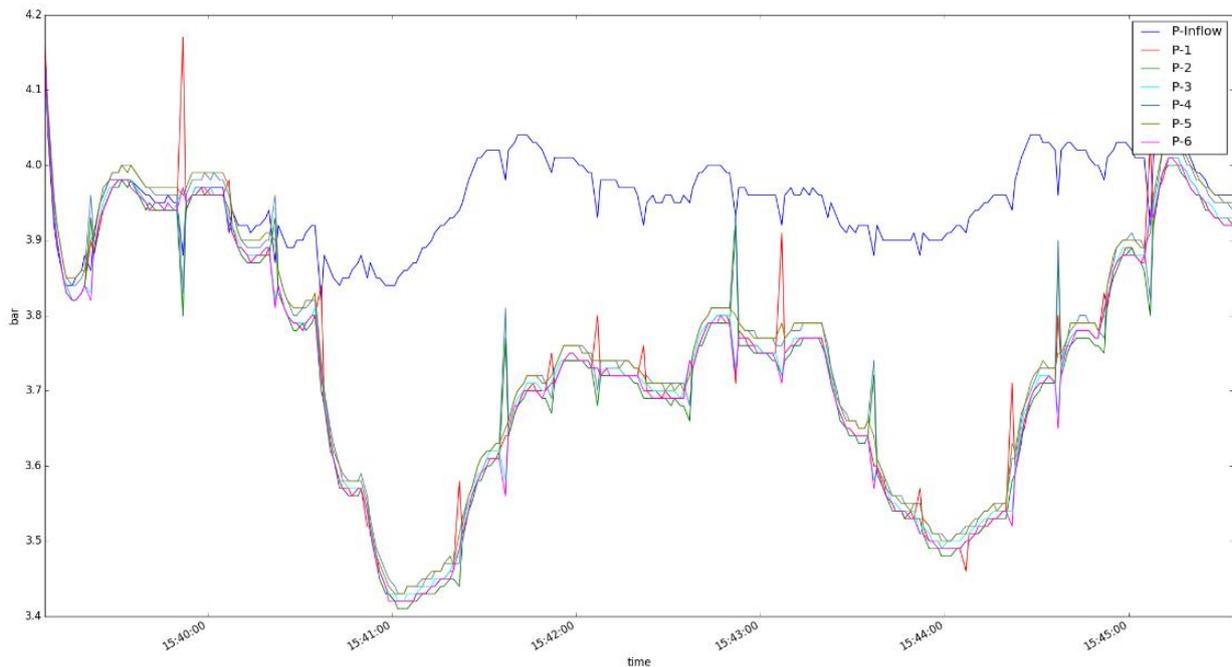


Abbildung 41: Druckverlauf der Tagesganglinie auf der Basis von 60 Minuten

Abbildung 41 zeigt den Druckverlauf in Abhängigkeit der Versuchsdauer. Alle 15 Sekunden entsteht ein Druckstoß, welcher durch den Schaltkombinationswechsel der Schaltmatrix verursacht wird. P-Inflow stellt den Druck dar, welcher direkt nach der frequenzgesteuerten Pumpe angeordnet ist. P1 bis P6 stellen im Labornetz verteilte Druckmessgeräte dar.

Durch einen hohen Durchfluss im Labornetz verringert sich der Druck im Labornetz und nimmt bei geringem Wasserverbrauch zu, was die Realität widerspiegelt. Durch diesen Sachverhalt kann das Labornetz genutzt werden, um mögliche Fragestellungen an das Pilotgebiet vorab im Labormaßstab zu testen und die gewonnen Erkenntnisse aus der Simulation zu evaluieren. Der Druckunterschied zwischen P-Inflow und P1 bis P6 lässt sich auf die Positionierung der Druckmessgeräte zurückführen. P-Inflow ist nach der Pumpe angeordnet, wodurch geringe Rohrreibungsverluste entstehen. Die Messgeräte, welche P1 bis P6 erfassen, sind im Labornetz verteilt. Zusätzlich weisen die Drucksensoren P-Inflow sowie P1 bis P6 unterschiedliche Genauigkeits- und Messbereichsklassen auf. Durch Druckverluste aufgrund der Rohrleitungsreibung und Umlenkverluste von Verzweigungen sind P1 bis P6 geringer als P-Inflow. Rohrreibungsverluste sind von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig, welche quadratisch in der Berechnung von Rohrreibungsverlusten eingehen. Nimmt nun der Durchfluss durch das Labornetz zu, erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit des Durchflusses und die Rohrreibungsverluste nehmen zu.

Auf das Druckmanagement bezogen lässt sich ableiten, dass der Versorgungsdruck bei geringeren Wasserverbräuchen reduziert werden kann. Bei größeren Verbräuchen im Versorgungsnetz kann sich der Versorgungsdruck verringern, wodurch es ermöglicht wird, dass unzulässige Betriebsdrücke entstehen. Jedoch sind Versorgungsstrukturen in der Dimensionierung dermaßen bemessen, dass eine Unterschreitung des Betriebsdruckes in der Regel nicht auftreten sollte.

5.4.2.2 Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 30 Minuten

Abbildung 42 kann in zwei Teilabbildungen eingeteilt werden. Die obere Abbildung stellt die modellierte Tagesganglinie dar, welche durch die Schaltmatrix theoretisch erzeugt werden kann. Die untere Abbildung zeigt die simulierte Tagesganglinie. Die Tagesganglinie wurde auf der Zeitbasis von 30 Minuten ermittelt. Mit der Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 30 Minuten werden Verbrauchsspitzen und Minima besser bzw. detailgetreuer simuliert als mit der Zeitbasis von 60 Minuten. Dies lässt sich auf die Modellierung der Ganglinien zurückführen, da für die Ermittlung des arithmetischen Mittels auf der 30 Minuten Zeitbasis herangezogen wird.

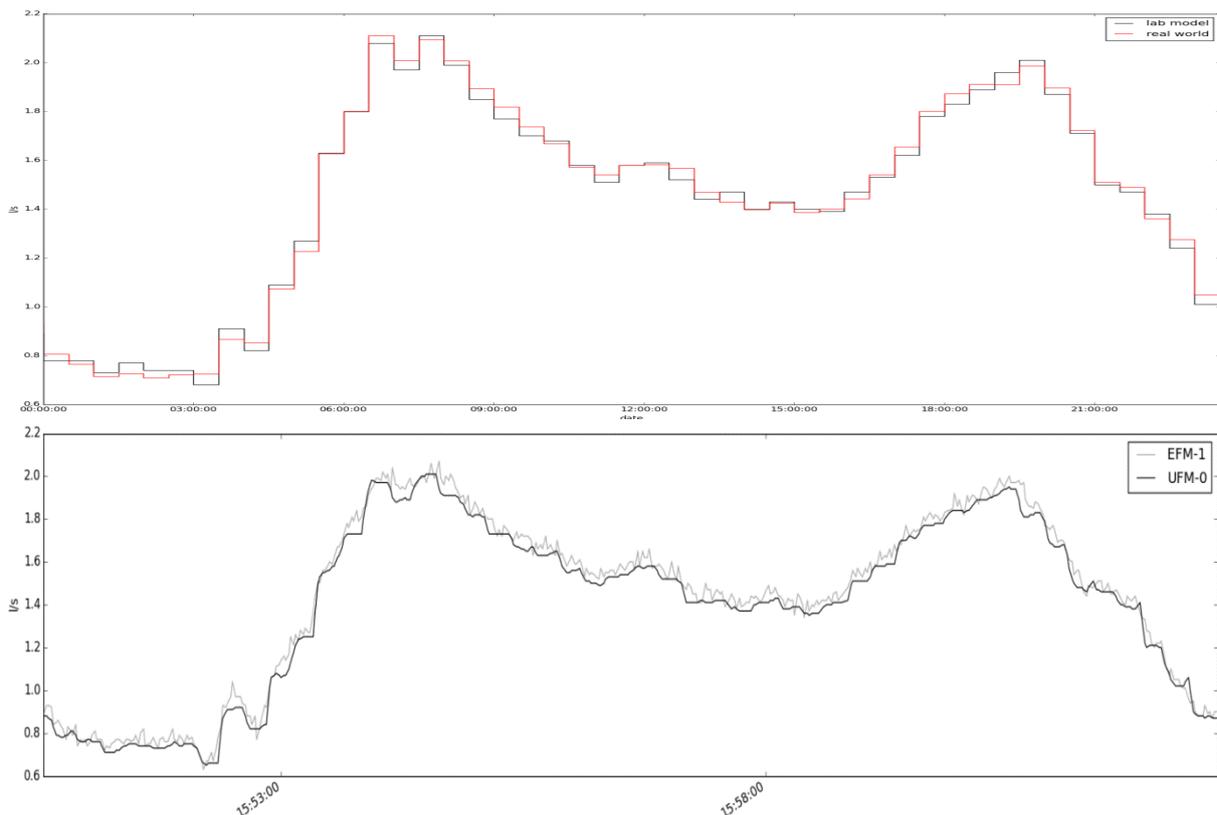


Abbildung 42: Tagesganglinie der Modellierung und des Labornetzversuches auf der Basis von 30 Minuten

In der oberen Darstellung von Abbildung 43 wird die Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 30 Minuten dargestellt. Wiederum werden die Schaltkombinationen, welche von der Schaltmatrix erstellt wurden, alle 15 Sekunden gewechselt, wodurch die Tagesganglinie innerhalb von 12 Minuten simuliert werden kann. In der unteren Darstellung von Abbildung 43 werden die einzelnen Wasserentnahmen (EFM-2 bis EFM-15) der Magnetventile dargestellt. Wie bereits bei der Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten erwähnt, verringert sich der Versorgungsdruck beim Erreichen der Spitzenverbräuche.

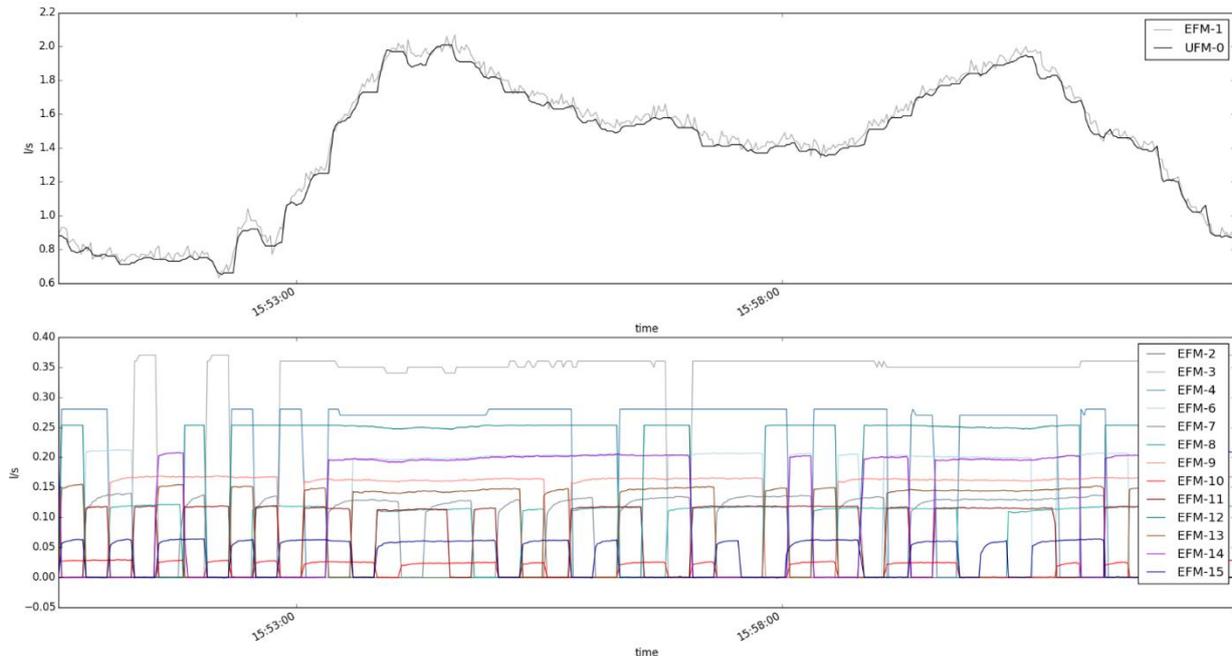


Abbildung 43: Skalierte Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 30 Minuten

In Abbildung 44 wird der Druckverlauf in Abhängigkeit der Versuchsdauer dargestellt. Die frequenzgesteuerte Pumpe erzeugt außerhalb des Labornetzes den Druckverlauf mit der Bezeichnung P-Inflow. P1 bis P6 stellen den zeitlichen Verlauf der Druckzustände im Labornetz dar. Bei geringen Druckzuständen, beispielsweise zu den Zeitpunkten 15:54:00 Uhr und 16:01:00 Uhr, erhöhen sich die Durchflüsse, welche durch die Magnetventile entweichen. Durch diesen verringerten Druck wird der Spitzenverbrauch zum Zeitpunkt 15:54:30 Uhr von $\sim 2,1$ Liter pro Sekunde nicht erreicht und liegt um $\sim 0,1$ Liter pro Sekunde darunter. Wie bei der vorangegangenen Tagesganglinie ist der Druck bei P-Inflow höher als bei P1 bis P6, was mit steigenden Rohrreibungsverlusten zu begründen ist. Das Messgerät, welches P-Inflow erfasst, hat einen Messbereich von 0-16 bar bei einer Genauigkeit von 0,5 % auf den gesamten Messbereich. Dadurch weist dieser Messwert eine größere Ungenauigkeit auf, als die Messgeräte, welche P1 bis P6 erfassen, da deren Messbereich innerhalb von 0-6 bar liegt und deren Messgenauigkeit zwischen $< 0,25\%$ und $< 0,5\%$ bezogen auf den gesamten Messbereich von 6 bar beträgt. Hierzu wurde bereits ein Fallbeispiel in Kapitel 5.2.2 näher ausgeführt.

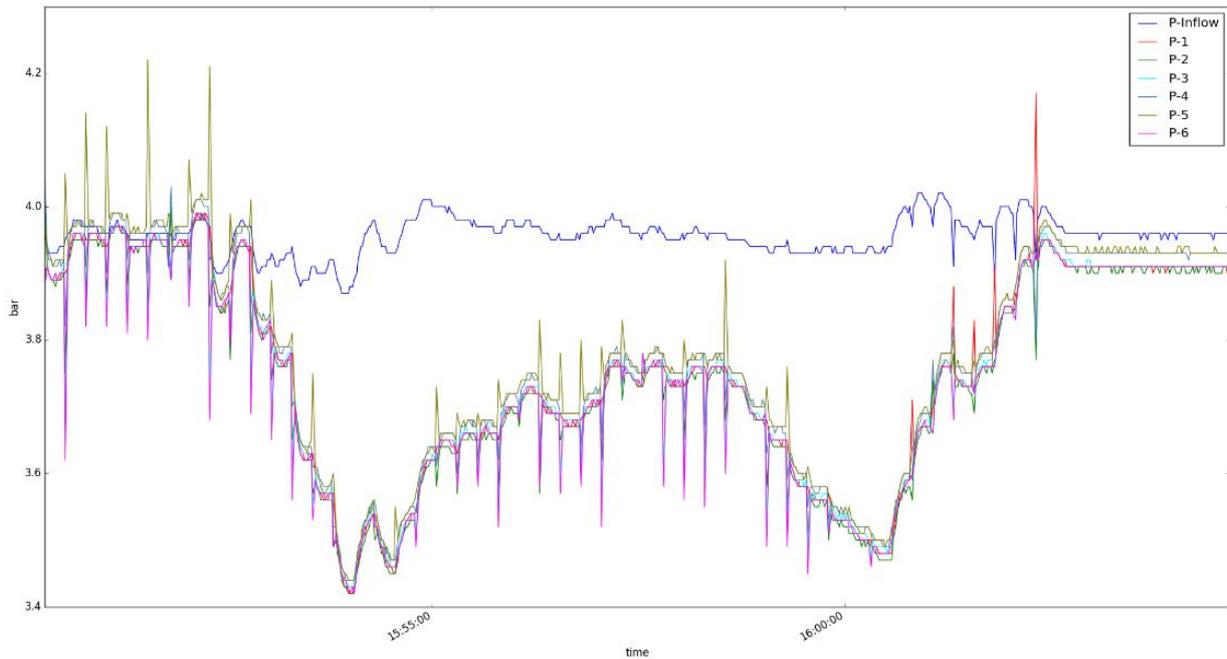


Abbildung 44: Druckverlauf der Tagesganglinie auf der Basis von 30 Minuten

5.5 Datenzusammenfassung und Analysen des Labornetzes

Im Bereich der Datenzusammenfassung wurden die notwendigen Messdaten genutzt um die Visualisierung der simulierten Ganglinien im Labornetz vorzunehmen. Die simulierten Ganglinien stellen qualitativ und quantitativ die realen Ganglinien unter Berücksichtigung der entsprechenden Skalierung und der Durchflussreduktion aufgrund der Druckreduktion im Labornetz wieder.

Die simulierten Ganglinien entsprechen einer tatsächlichen Analyse des Verbrauchsverhaltens im Pilotgebiet. Diese Messdaten können für unterschiedliche Analysemethoden genutzt werden wie beispielsweise, Wasserverlustmanagement und automatisierte Ereignisdetektion unter zu Hilfenahme von hydraulischen Modellen. Mit einer hydraulischen Modellierung können Verbrauchsanalysen simuliert und in Kombination mit einem Wasserverlustmanagement können Leckagen bzw. Rohrleitungsbrüche in der Lage eingegrenzt werden. Die Verbrauchsanalysen in Kombination mit täglichen Schwankungen des Wasserverbrauchs eines Versorgungsgebietes bzw. eines DMA bilden hierbei die Grundlage. Hierzu wird ein Vergleich zwischen Verbrauchsanalyse und dem hydraulischen Modell vorgenommen.

Abweichungen zwischen den im realen System gemessenen Verbräuchen und jenen die im hydraulischen Modell prognostiziert oder berechnet wurden sind unumgänglich. Überschreiten die Abweichungen einen Schwellenwert, kann dies auf Leckagen/Rohrleitungsbruch zurückzuführen sein, womit eine automatisierte Ereignisdetektion für Leckagen zusätzlich unterstützt werden kann. Mit der Ortung

von Leckagen mit einem genetischen Algorithmus im hydraulischen Modell kann die Lage der Leckage/Rohrleitungsbruch eingegrenzt werden (Steffelbauer et al. 2014).

In weiterer Folge können Analysen vorab im Labormaßstab simuliert werden und Methoden wie beispielsweise eine modellgestützte Leckage Eingrenzung vorab getestet, evaluiert und die Erkenntnisse daraus in die Anwendung in realen Systemen eingebracht werden

6 Schlussfolgerung und Ausblick

6.1 Schlussfolgerung

Durch die Anwendung von ITVS ergeben sich für den Betrieb neue Möglichkeiten, welcher aus dem Informationsgewinn durch eine Vielzahl an Sensordaten aus dem WVS resultiert.

Die Grundlage stellen die verteilten intelligenten Messgeräte mit echtzeitfähiger Kommunikation im WVS dar. Mit einer Verdichtung der Messgeräte, bis hin zur Bestückung jedes Hausanschlusses mit einem intelligenten Messgerät wird der Informationsgehalt aus einem WVS erhöht. Zusätzlich werden steuer- und regelbare Aktoren im WVS integriert um gezielt in das WVS eingreifen zu können. Mit der Nutzung von bestehenden IT-Systemen und weiterem Ausbau können weitere Vorteile für ITVS geschaffen werden. Zusätzlich entstehen bei echtzeitfähigen ITVS neue Innovationen, wodurch mehr Flexibilität für zukünftige Anforderungen geschaffen wird.

Bei einem ITVS handelt es sich nicht nur um ein Instrument, mit dem die Verteilung von Trinkwasser effizienter gestaltet werden kann. Vielmehr handelt es sich um ein System mit dem die Gesamtheit der anfallenden Prozesse in einem WVU optimiert werden können. Diese beginnen bei einer effizienteren Wasserverteilung und enden bei einer besseren Information und somit Bewusstseinsbildung sowie Zufriedenheit der Kunden.

Die erfassten Messdaten aus dem WVS bilden die Grundlage für den späteren Benefit von ITVS. Dieser Benefit bzw. Mehrwert kann in Form von Analyse des Verbrauchsverhaltens, Wasserqualitäts-Monitoring, Wasserverlustmanagement, Automatisierte Ereignisdetektion, Energieoptimierung, Verbraucher Zufriedenheit und das Verrechnungsmanagement beschrieben werden.

Bei der Analyse des Verbrauchsverhaltens wird der Wasserverbrauch von Haushalten erfasst. Damit kann überprüft werden, ob bestehende Speicherbauwerke und Wassergewinnungsstellen für zukünftige Anforderungen in ausreichender Menge vorhanden sind. Aber auch das Verbrauchsverhalten einzelner Messzonen kann näher betrachtet werden um Prognosen für den zukünftigen Bedarf abzuleiten und etwaigen Versorgungsengpässen entgegen zu wirken.

Mit einem Wasserqualitäts-Monitoring kann die Wasserqualität im zeitlichen Verlauf beobachtet werden. Punktuelle Kontaminationen in gewollter oder ungewollter Form können im zeitlichen Verlauf beobachtet und detektiert werden und Gegenmaßnahmen können zeitnah vorgenommen werden.

Mit geeigneten Methoden kann ein Wasserverlustmanagement in WVS effizient umgesetzt und im Verteilnetz befindliche Leckagen bzw. Rohrbrechen schnell erfasst und in der Lage eingegrenzt werden. Mit Erweiterung des Wasserverlustmanagements mit einem intelligenten Druckmanagement wird eine

weitere Möglichkeit geschaffen Wasserverlustmenge zu reduzieren, indem in Zeiten mit niedriger Wassernachfrage der Versorgungsdruck entsprechend reduziert wird.

Unter Zuhilfenahme von Methoden zur automatisierten Ereignisdetektion kann ein schnelles System zum Erfassen von Ereignissen im Netz wie beispielsweise Leckagen/Rohrleitungsbrüche oder Änderungen der Wasserqualität aufgebaut werden. Mit geeigneten Maßnahmen kann in das WVS eingegriffen werden, damit die Wasserverlustmengen reduziert bzw. die Wasserqualität verbessert wird.

Wesentlich für den Betrieb von WVS sind die Kosten, welche für Energie zur Verfügung gestellt werden müssen. Mit Optimierung im Bereich von Pumpensteuerungen oder Reduktion von Wasserverlustmengen können Energieeinsparungen erzielt werden, womit Kosten im laufenden Betrieb reduziert werden.

Zudem kann mit dieser Technologie die Zufriedenheit der Kunden verbessert werden, indem diese laufend über Instandhaltungsmaßnahmen, oder Einschränkungen in der Wasserversorgung (Online) informiert werden. Des Weiteren kann durch die Einführung eines ITVS ein effizienteres Verrechnungsmanagement, welches sich dem Verbraucher anpasst, realisiert werden. Dies ermöglicht zudem individuelle Abrechnungszeiträume sowie eine flexibles, den Rahmenbedingungen angepasstes, Tarifmanagement.

Die einzelnen Vorteile von ITVS dürfen nicht als einzelne unabhängige Vorteile betrachtet werden. Vielmehr muss das System als Ganzes betrachtet werden. Ein weiteres Beispiel für eine systemhafte Betrachtung von ITVS stellt die Einbindung der gewonnenen Daten in GIS-Anwendungen dar, welche mit allen systemrelevanten Informationen (Abrechnung, Wasserverbrauch, anlagenbezogenen Informationen, Leitungsgebrechen etc.) zusätzliche Möglichkeiten bieten. GIS-Anwendungen in Kombination mit einer automatisierten Ereignisdetektion kann zur strategischen Instandhaltung von WVU genutzt werden, womit ein effizienter Ressourceneinsatz und eine nachhaltige Bewirtschaftung der Trinkwasserversorgungsnetze sichergestellt werden kann.

ITVS funktionieren als die beschriebene 5-Layerstruktur, wodurch jeder Layer vom darüber bzw. vom darunter liegenden Layer abhängig ist. Fällt hierbei ein Layer aus bzw. wird die Funktion eingeschränkt, wird das gesamte ITVS eingeschränkt. Ein Beispiel hierfür war der Laborversuch mit der Simulation von Ganglinien. Die Steuerung der Magnetventile funktionierte nicht immer ohne Probleme. In Anbetracht dessen, dass dieses experimentelle Trinkwasserverteilnetz gut überschaubar ist und alle Randbedingungen sehr genau bekannt sind, kann man sich vor Augen führen, welche Herausforderung die Umsetzung von Steuerung und Regelung in realen, hochkomplexen Systemen darstellt. Aus diesem Grund kann auch nachvollzogen werden, dass derzeit weltweit nur Pilotprojekte, also Teilnetze als ITVS betrieben werden und ein flächendeckender Einsatz noch auf sich warten lässt.

6.2 Ausblick

Mit der Umsetzung von ITVS kann die Effizienz und der Ressourceneinsatz von WVU zukünftig verbessert werden. In den kommenden Jahren werden Erneuerungen und Rehabilitationsmaßnahmen im WVS von noch größerer Bedeutung sein. Hierzu versuchen WVU bisherige Entwicklungen zu verbessern und neue Technologien wie diese in ITVS zum Einsatz kommen, vermehrt zu nutzen. Damit soll die Leistungsfähigkeit von bestehenden WVS und ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser auch für die nächsten Generationen gewährleistet werden.

Vor allem in urbanen Gebieten werden an WVU große Herausforderungen gestellt, da eine effiziente Ressourcennutzung immer stärker an Bedeutung gewinnen wird.

Zusätzlich müssen auch weitere Faktoren wie beispielsweise der Klimawandel, wodurch sich Temperatur und Vegetation ändern, und die zukünftige Verfügbarkeit der Ressource Wasser betrachtet werden. Hierbei können ITVS als System genutzt werden, um mit der Ressource Wasser nachhaltig umzugehen. Nicht zuletzt sind auch die Kunden bzw. Verbraucher gefordert, durch einen bewussteren Umgang mit Trinkwasser das wertvollste Lebensmittel zu schützen.

Den heutigen Stand der Technik stellen konventionelle TVS dar. Jedoch wird es für WVU in Zukunft unumgänglich die Vorteile von ITVS zu nutzen. Mit weiteren Forschungstätigkeiten im Bereich von ITVS schreiten diese immer weiter voran, bis diese schlussendlich den Stand der Technik repräsentieren, wie dies bereits bei elektrischen Smart Grids der Fall ist.

Als Industrie 4.0 wird bereits heute eine vernetzte, hoch flexible, sich selbst adaptierende Produktion bezeichnet (Lehky 2015), womit eine intelligente, wandlungsfähige und ressourceneffiziente Fabrik beschrieben werden kann (Lehky 2015).

Mit der Erweiterung von TVS zu ITVS kann eine flexible und wandlungsfähige Wasserversorgung ermöglicht werden, die in Zukunft bei der ganzheitlichen Umsetzung und Betrachtung des Systems, möglicherweise als Wasserversorgung 2.0 bezeichnet werden kann.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung Wasserverbrauch von Industrie und Gewerbe (Neunteufel et al. 2010)	10
Tabelle 2: Steuer-bzw. regelbare Anlagenteile	31
Tabelle 3: Wasserentnahmen an den Magnetventilen (Quelle: i. A. M. Günther, 2015).....	55
Tabelle 4: Messgeräte des Labornetzes (Quelle: i.A. M. Günther, 2015)	57
Tabelle 5: relative Abweichung in Abhängigkeit des Wertebereiches von Durchflussmessgeräten	58
Tabelle 6: Relative Abweichung in Abhängigkeit des Wertebereiches von Druckmessgeräten.....	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gültigkeit von Normen, Richtlinien und Merkblättern (Hofstadler und Schieder 2011)	3
Abbildung 2: Wissensstand in Abhängigkeit der Verbreitung (Hofstadler und Schieder 2011)	4
Abbildung 3: Wasserverwendung im Haushalt (Neunteufel et al. 2010).....	8
Abbildung 4: Durchschnittliche Anteile der Systemeinspeisung (OEVGW-Richtlinie-W63 2009).....	9
Abbildung 5: Funktionsprinzip der intelligenten Netze am Beispiel von intelligenten Stromnetzen (Lugmaier et al. 2015)	12
Abbildung 6: Aufbau von intelligenten Trinkwasserversorgungssystemen (i.A. The SWAN Forum 2015)	12
Abbildung 7: Layer 1, Anlagenteile	14
Abbildung 8: Aufbau einer Trinkwasserversorgung (Stadtwerke St. Vith 2015).....	16
Abbildung 9: Materialien in Trinkwassernetzen (E. Hawle Armaturenwerke GmbH 2015)	18
Abbildung 10: Layer 2, Messen und Steuern.....	19
Abbildung 11: Anwendungsbereich in Abhängigkeit der Abtastfrequenz und Auflösung (Heinecke 2000).....	20
Abbildung 12: a) Analoges und b) diskretes Messsignal (Hesse und Schnell 2011).....	20
Abbildung 13: Wasserzählarten: Akkumulations-, Impuls- und Intervallmessung (Marchment Hill Consulting 2010).....	21
Abbildung 14: Prinzip des magnetisch-induktiven Durchflussmessgerätes (Hofmann 2013)	23
Abbildung 15: Ultraschallzähler (Diehl Metering GmbH 2015).....	24
Abbildung 16: Messvorgang im Ringkolbenzähler (Mengersen und Schulz 2005).....	25
Abbildung 17: Schnittdarstellung eines Mehrstrahlflügelradzählers (Tröger und Entenmann 2015)	26
Abbildung 18: Steuerkette	32
Abbildung 19: Aufbau eines Regelkreises	33
Abbildung 20: Layer 3, Datenspeicherung und Kommunikation	33
Abbildung 21: Aufbau eines kabellosen Kommunikationsnetzes (Shao et al. 2014).....	37
Abbildung 22: SCADA-Aufbau (Strauss 2003)	38
Abbildung 23: Layer 4, Datenmanagement und Visualisierung	39
Abbildung 24: Layer 5, Zusammenführung von Daten und deren Analyse.....	41
Abbildung 25: Bild des experimentellen Labornetzes (Foto: M. Günther, 2015).....	53

Abbildung 26: Aufbau einer Wasserentnahmeeinrichtung (Foto: M. Günther, 2015).....	54
Abbildung 27: a) Druck-, b) Durchflussmessgeräte (UFM) des Labornetzes (a) Foto: M. Günther, 2015)	56
Abbildung 28: Verbrauchsschwankungen in Abhängigkeit der Besiedlungsstruktur (Fuchs-Hanusch et al. 2014)	60
Abbildung 29: Tagesganglinie im Projektgebiet (Günther u. a. 2015).....	61
Abbildung 30: Wochenganglinie im Projektgebiet.....	61
Abbildung 31: Modellierung der Ganglinien (Günther et al. 2015)	63
Abbildung 32: Schaltmatrix	64
Abbildung 33: Skalierte Tagesganglinie [Zeitbasis: 60 Minuten].....	65
Abbildung 34: Schaltmatrix für die Tagesganglinie [Zeitbasis: 60 Minuten]	65
Abbildung 35: Skalierte Tagesganglinie [Zeitbasis: 30 Minuten].....	66
Abbildung 36: Schaltmatrix für die Tagesganglinie [Zeitbasis: 30 Minuten]	66
Abbildung 37: Aufbau und Funktionsprinzip der Kommunikation (Foto: M. Günther, 2015).....	68
Abbildung 38: Aufbau des Textprotokolls	69
Abbildung 39: Tagesganglinie der Modellierung und des Labornetzversuches auf der Basis von 60 Minuten	72
Abbildung 40: Skalierte Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 60 Minuten.....	73
Abbildung 41: Druckverlauf der Tagesganglinie auf der Basis von 60 Minuten	74
Abbildung 42: Tagesganglinie der Modellierung und des Labornetzversuches auf der Basis von 30 Minuten	75
Abbildung 43: Skalierte Tagesganglinie auf der Zeitbasis von 30 Minuten.....	76
Abbildung 44: Druckverlauf der Tagesganglinie auf der Basis von 30 Minuten	77

Literaturverzeichnis

- Aichele, Christian, und Oliver D. Doleski, Hrsg. 2013. *Smart Meter Rollout*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-8348-2440-0>.
- Bantel, Martin. 2004. *Messgeräte-Praxis*. Leipzig: Carl-Hanser-Verlag.
- Berardi, Luigi, Daniele Laucelli, Rita Ugarelli, und Orazio Giustolisi. 2015. „Leakage Management: Planning Remote Real Time Controlled Pressure Reduction in Oppegård Municipality“. *Procedia Engineering* 119: 72–81. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.855.
- Bernard, Heinz, Frank Grunert, Frank Dornau, Armin Brucker, und Friedrich Hofman. 2006. *Durchflusssmesstechnik*. Bd. 5. atp Praxiswissen kompakt. Oidenburg: Deutscher Industrieverlag.
- Berry, J. W., Erik Boman, Lee Ann Riesen, William E. Hart, Cynthia A. Phillips, und Jean-Paul Watson. 2008. „User’s manual: TEVA-SPOT toolkit 2.2“. *US EPA, Office of Research and Development, EPA-600-R-08* 41. https://software.sandia.gov/trac/spot/raw-attachment/ticket/4243/userguide_th_edits.pdf.
- Boyle, Thomas, Damien Giurco, Pierre Mukheibir, Ariane Liu, Candice Moy, Stuart White, und Rodney Stewart. 2013. „Intelligent Metering for Urban Water: A Review“. *Water* 5 (3): 1052–81. doi:10.3390/w5031052.
- Britton, Tracy C., Rodney A. Stewart, und Kelvin R. O’Halloran. 2013. „Smart Metering: Enabler for Rapid and Effective Post Meter Leakage Identification and Water Loss Management“. *Journal of Cleaner Production* 54 (September): 166–76. doi:10.1016/j.jclepro.2013.05.018.
- Bundeskanzleramt. 2016. „Informationen zu Normen“. *HELP.gv.at*. Jänner 7. <https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/256/Seite.2560001.html>
- Camhy, David, Valentin Gamerith, David Steffelbauer, Dirk Muschalla, und Günther Gruber. 2012. „Scientific Data Management with Open Source Tools- An Urban Drainage Example“. In , 11. Belgrad.
- Cominola, A., M. Giuliani, D. Piga, A. Castelletti, und A.E. Rizzoli. 2015. „Benefits and Challenges of Using Smart Meters for Advancing Residential Water Demand Modeling and Management: A Review“. *Environmental Modelling & Software* 72 (Oktober): 198–214. doi:10.1016/j.envsoft.2015.07.012.
- Crouch, Dora P. 1998. „Dora P. Crouch. Water Management in Ancient Greek Cities.“ *Comparative Civilizations Review*, Nr. 38: 82–85.
- Deutsches Krebsforschungszentrum. 2015. „Asbest: Noch lange ein Krebsrisiko“. Februar 2. <https://www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/asbest.php>.
- Diehl Metering GmbH. 2015. „Diehl Metering: HYDRUS“. http://www.diehl.com/fr/diehl-metering/products-solutions/pdb-details.html?tx_diehlproducts_pi1%5Bproduct%5D=707229&tx_diehlproducts_pi1%5BbackPid%5D=91&tx_diehlproducts_pi1%5Baction%5D=show&tx_diehlproducts_pi1%5Bcontroller%5D=MeteringProduct&cHash=9a874c7e23fac027bbbaae28cb347c34.
- Di Nardo, A., M. Di Natale, D. Musmarra, G. F. Santonastaso, V. Tzatchkov, und V. H. Alcocer-Yamanaka. 2013. „A District Sectorization for Water Network Protection from Intentional Contamination“. In *12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry*, 515–24.

- E. Hawle Armaturenwerke GmbH. 2015. „Wasser - E. Hawle Armaturenwerke GmbH“. April 23. <http://www.hawle.at/produkte/wasser.html>.
- Eliades, Demetrios G., Demetris Stavrou, Stelios G. Vrachimis, Christos G. Panayiotou, und Marios M. Polycarpou. 2015. „Contamination Event Detection Using Multi-Level Thresholds“. *Procedia Engineering* 119: 1429–38. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.1003.
- Frenzel, F., H. Grothey, C. Habersetzer, M. Hiatt, W. Hogrefe, M. Kirchner, G. Lütkepohl, u. a. 2011. „Industrielle Durchfluss- Messtechnik Grundlagen und Praxis“. https://library.e.abb.com/public/acc2ad20c5184c29c12578c0004b8437/D184B075U01-07-07_2011_secure.pdf?filename=D184B075U01-07-07_2011_secure.pdf.
- Fritsch, Peter, Johann Mutschmann, und Fritz Stimmelmayer. 2014. *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fuchs-Hanusch, Daniela, Günther Gruber, und Ernst Peter Kauch. 2014. *Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft*. 6. Aufl. Wien: MANZ.
- Fuchs-Hanusch, Daniela, Markus Neumayer, Markus Günther, und David Bernhard Steffelbauer. 2014. „AZM - Aktives Zustandsmonitoring von Trinkwasserverteilnetzen - 2.Zwischenbericht“. Zwischenbericht 2. Ministerium für ein Lebenswertes Österreich.
- Fuchs-Hanusch, D., M. Günther, D. Steffelbauer, und D. Muschalla. 2014. „Impact of failure mode, crack area, and pressure on leakage outflow“. In *World Environmental and Water Resources Congress*, 525–34. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413548.056>.
- Gray, Harold Farnsworth. 1940. „Sewerage in Ancient and Mediaeval Times“. *Sewage Works Journal* Volume 12 (No. 5): 939–46.
- Gungor, Vehbi C., Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergut, Concettina Buccella, Carlo Cecati, und Gerhard P. Hancke. 2011. „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards“. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 7 (4): 529–39. doi:10.1109/TII.2011.2166794.
- Günther, M., D. Camhy, D. Steffelbauer, M. Neumayer, und D. Fuchs-Hanusch. 2015. „Showcasing a Smart Water Network Based on an Experimental Water Distribution System“. *Procedia Engineering* 119: 450–57. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.857.
- Günther, M., D. Steffelbauer, M. Neumayer, und D. Fuchs-Hanusch. 2014. „Experimental Setup to Examine Leakage Outflow in a Scaled Water Distribution Network“. *Procedia Engineering* 89: 311–17. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.193.
- Gurung et al. 2014. „Smart Meter Enabled Water End-Use Demand Data“, September, 1–13.
- Heinecke, W. 2000. „Labor für Messelektronik- Versuch 1: Analog- Digital-Umsetzer“. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel.
- Hesse, Stefan, und Gerhard Schnell. 2011. *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation: Funktion - Ausführung - Anwendung*. 5., korr. und verb. Aufl. Praxis. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Hofmann, Friedrich. 2013. *Grundlagen Magnetisch- Induktive Durchflussmessung*. 3. Aufl. Krohne Messtechnik GmbH & Co. KG Duisburg 2003. http://cdn.krohne.com/dlc/BR_MID_de_144.pdf.
- Hofstadler, Christian, und Anton Schieder. 2011. *Leitfaden Sichtbeton*. Graz: Prof. Heck & Prof. Lechner Verlag der TU Graz.

- Johnson, Gary W. 1997. *LabVIEW Graphical Programming: Practical Applications in Instrumentation and Control*. 2nd Aufl. McGraw-Hill School Education Group.
- Küpfmüller, Karl, Wolfgang Mathis, und Albrecht Reibiger. 2013. *Theoretische Elektrotechnik*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-37940-6>.
- Lehky, Andrea. 2015. „Industrie 4.0: Und morgen braucht es keine Menschen mehr“. Text. Februar 5. http://karrierenews.diepresse.com/home/karrieretrends/4720366/Industrie-40_Und-morgen-braucht-es-keine-Menschen-mehr-.
- Loureiro, D., H. Alegre, S. T. Coelho, A. Martins, und A. Mamade. 2014. „A New Approach to Improve Water Loss Control Using Smart Metering Data“. *Water Science & Technology: Water Supply* 14 (4): 618. doi:10.2166/ws.2014.016.
- Lucklum, F., und B. Jakoby. 2009. „Principle of a Non-Contact Liquid Level Sensor Using Electromagnetic-Acoustic Resonators“. *E & I Elektrotechnik Und Informationstechnik* 126 (1-2): 3–7. doi:10.1007/s00502-009-0604-x.
- Lugmaier, Andreas, Helfried Brunner, Wolfgang Prügler, Nathalie Glück, Friedrich Kupzog, Hubert Fechner, Ursula Tauschek, Thomas Rieder, Karl Derler, und Thomas Mühlberger. 2015. „Roadmap Smart Grids Austria“. Zugegriffen April 29. <http://www.smartgrids.at/index.php?download=254.pdf>.
- Mala-Jetmarova, Helena, Andrew Barton, und Adil Bagirov. 2014. „History of Water Distribution Systems and Their Optimisation“.
- Marchmont Hill Consulting. 2010. „Smart Water Metering Cost Benefit Study, Final Report“. Melburn, Australia. http://www.swanforum.com/uploads/5/7/4/3/5743901/smart_metering_cost_benefit.pdf.
- Mays, L. W., D. Koutsoyiannis, und A. N. Angelakis. 2007. „A brief history of urban water supply in antiquity“. *Water Science & Technology: Water Supply* 7 (1): 1–12.
- Mengersen, Christian, und Wilfried Schulz. 2005. „Gesetzliches Messwesen: Vorschriften und Richtlinien“. *Gasmessung und Gasabrechnung* 3. [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=q5DCBCzm7VoC&oi=fnd&pg=PA25&dq=%2225+\(2%E2%80%9C\),+PN%22+%22V+%C3%BCber+eine+bestimmte+Zeit+t+erfasst+oder+der%22+%22mittelbare+Volumenz%C3%A4hler+wie+z.+B.%22+%22im+Messwerk+durch+fortlaufendes+F%C3%BCllen+und%22+%22Z%C3%A4hler+f%C3%BCr+PN+4,+PN+6,+PN+10+und+PN+16+\(MWP+58,+87,%22+&ots=YfsSor-mCD&sig=j01_1lg9LTLd70mWG_LIC9JNxU](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=q5DCBCzm7VoC&oi=fnd&pg=PA25&dq=%2225+(2%E2%80%9C),+PN%22+%22V+%C3%BCber+eine+bestimmte+Zeit+t+erfasst+oder+der%22+%22mittelbare+Volumenz%C3%A4hler+wie+z.+B.%22+%22im+Messwerk+durch+fortlaufendes+F%C3%BCllen+und%22+%22Z%C3%A4hler+f%C3%BCr+PN+4,+PN+6,+PN+10+und+PN+16+(MWP+58,+87,%22+&ots=YfsSor-mCD&sig=j01_1lg9LTLd70mWG_LIC9JNxU).
- Morgenschweis, Gerd. 2011. *Hydrometrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-05390-0>.
- Nationalrat. 2016. *RIS - Trinkwasserverordnung*. Zugegriffen Jänner 3. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001483>.
- Neunteufel, Roman, Laurent Richard, und Reinhard Perfler. 2010. „Studie Wasserverbrauch und Wasserbedarf“. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- OEVGW-. 2007. „ÖVGW Richtlinie W 100: Wasserverteilung“. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- . 2008. „ÖVGW Richtlinie W 85: Betriebs- und Wartungshandbuch für Wasserversorgungsunternehmen“. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.

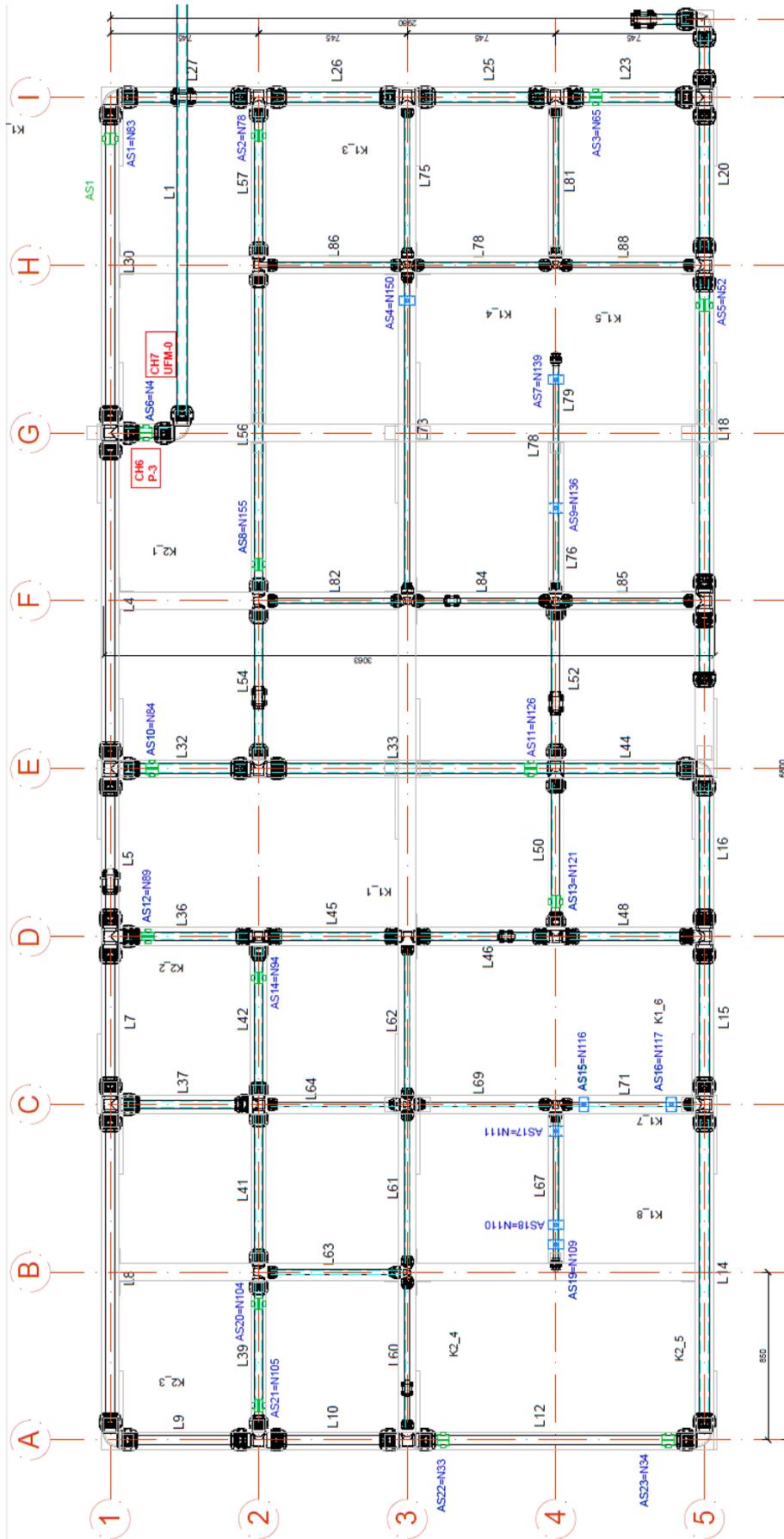
- . 2009. „ÖVGW Richtlinie W 63: Wasserverluste in Trinkwasserversorgungssystemen“. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- . 2010. „ÖVGW Richtlinie W 104: Leitungsinformationssystem Wasser und Abwasser“. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- ÖNORM EN 805. 2000. „ÖNORM EN 805“. Österreichisches Normungsinstitut.
- ORACLE. 2009. „Smart Metering for Water Utilities, An Oracle White Paper“. <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/046596.pdf>.
- Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach. 2007. „Benchmarking 2007“. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- Österreichische Technologieplattform zum Thema Smart Grids. 2015. „Definition Smart Grids der österreichischen Technologieplattform zum Thema Smart Grids“. 6. <http://www.smartgrids.at/smart-grids/>.
- ÖVGW. 2015. „OeVGW - Themen - ÖVGW-Qualitätsmarke“. Zugegriffen Juli 20. <https://www.ovgw.at/zert/themen/?uid:int=222>.
- Parra, Manuel. 2016. „Advantages of Implementing Smart Water Networks“. *Water World*. Juni 1. <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-27/issue-3/editorial-features/water-utility-management-special-section/advantages-of-implementing-smart-water-networks.html>.
- „Python 2.7.8 Release | Python.org“. 2014. Zugegriffen Oktober 29. <https://www.python.org/download/releases/2.7.8/>.
- Rossman, Lewis A., Water Supply and Water Resources Division, und National Risk Management Laboratory. 2000. „EPANET Benutzerhandbuch“. National Risk Management Laboratory. <http://sourceforge.net/projects/ghydraulic/files/epanet/2.0.12/EN2manual.PDF/download>.
- Savic, Dragan A., Zoran S. Kapelan, und Philip M.R. Jonkergouw. 2009. „Quo Vadis Water Distribution Model Calibration?“ *Urban Water Journal* 6 (1): 3–22. doi:10.1080/15730620802613380.
- Shao, Sujie, Shaoyong Guo, Xuesong Qiu, Luoming Meng, Yang Jiao, und Wei Wei. 2014. „Traffic scheduling for wireless meter data collection in smart grid communication network“. In *Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2014 International Conference on*, 1–7. IEEE. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6963087.
- Skowaisa, Jürgen. 2006. „Unterschied Radar und Ultraschall“. http://www.pua24.net/pi/index.php?forward=downloadPdf.php&p=mJ3rC2nsGxWFBanjU.jGmQF3Ccl_ExJkccClnMfiMg3pRU00V0jbeuPqmPg.G@7BBhBka-Vnq@TkBx93Eh.9V9fgBb8pccYFCd-.TUeXpAOBf7WzQ_itGw.-GHuqF9WwtJ3O&dd=0.
- Specht, A., S. Guru, L. Houghton, L. Keniger, P. Driver, E.G. Ritchie, K. Lai, und A. Treloar. 2015. „Data Management Challenges in Analysis and Synthesis in the Ecosystem Sciences“. *Science of The Total Environment* 534 (November): 144–58. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.092.
- Stadtwerke St. Vith. 2015. „St.Vith.be: Wassersektor“. April 23. <http://www.st.vith.be/stadtwerke/aufgabenbereiche/wassersektor/>.
- Steffelbauer, David, Markus Günther, Markus Neumayer, und Daniela Fuchs-Hanusch. 2014. „Leakage Localization In Virtual District Metered Areas With Differential Evolution“. http://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic/220/?utm_source=academicworks.cuny.edu%2Fcc_conf_hic%2F220&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages.

- Strauss, Cobus. 2003. *Practical Electrical Network Automation and Communication Systems*. http://ac.els-cdn.com/B9780750658010500085/3-s2.0-B9780750658010500085-main.pdf?_tid=01dbfcf2-d2e8-11e4-9356-00000aab0f26&acdnat=1427285643_28a884ec827713f09896996a2188d81a.
- Sunela, Markus I., und Raido Puust. 2015. „Real Time Water Supply System Hydraulic and Quality Modeling – A Case Study“. *Procedia Engineering* 119: 744–52. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.928.
- SWAN Forum. 2015. „A Layered View of Data Technologies for the Water Distribution Network.pdf“. http://www.swan-forum.com/uploads/5/7/4/3/5743901/__swan_water_network_layers.pdf.
- Texas Instruments. 2015. „CC2530 – 2,4 GHz System-on-Chip für ZigBee-, RF4CE-, Smart Energy-Anwendungen“. Produktanbieter. www.ti.com. Zugegriffen Juli 20. <http://www.ti.com/ww/de/analog/cc2530/>.
- Thompson, Cherly Bagley, und Edward A. Panacek. o. J. „Data Management“. *Basic of Research Part 12*, Nr. Air Medical Journal: 156–58.
- Thompson, K., und R. Kadiyala. 2014. „Protecting Water Quality and Public Health Using a Smart Grid“. In *12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013*, 1649–58. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.182.
- Tröger, und Entenmann. 2015. „Mehrstrahl-Flügelrad-Hauswasserzähler als Nassläufer | Tröger und Entenmann“. Zugegriffen April 15. <http://ekatalog.tuehd.de/produkt/mehrstrahl-fluegelrad-zaehler-nasslaeufer/732>.
- Walski, Thomas M. 2006. „A History of Water Distribution“. *Journal AWWA* Vol. 98 (March): 10.
- Zastrow, Friedrich, und Joachim-Helmut Werner. 1994. *Messen, steuern und regeln mit dem Personal-Computer*. Expert Verlag.

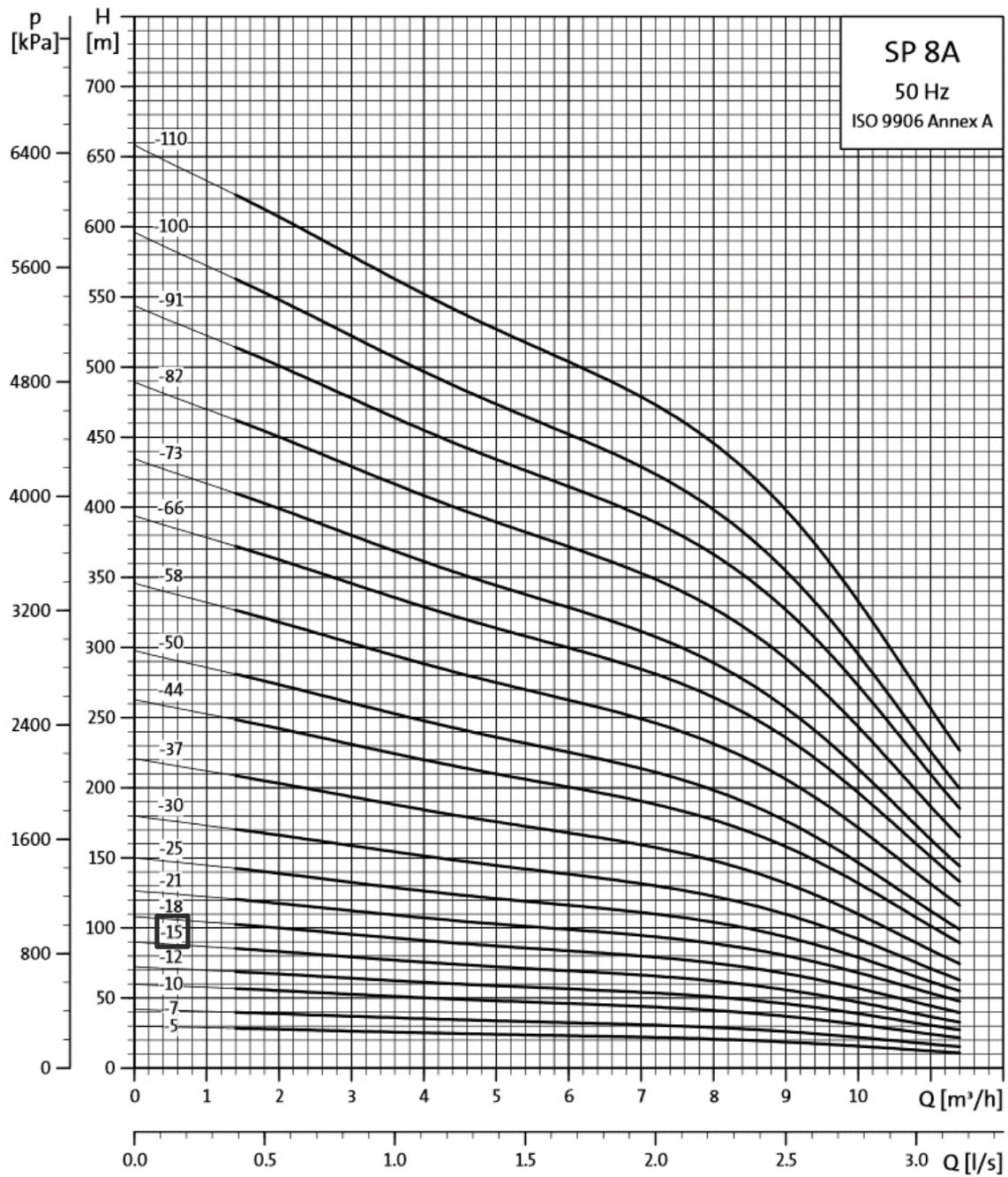
Anhang

Anhang A	A-ii
Anhang B	A-iii
Anhang C	A-iv
Anhang D	A-v
Anhang E	A-vi
Daten CD	A-vii

Anhang A

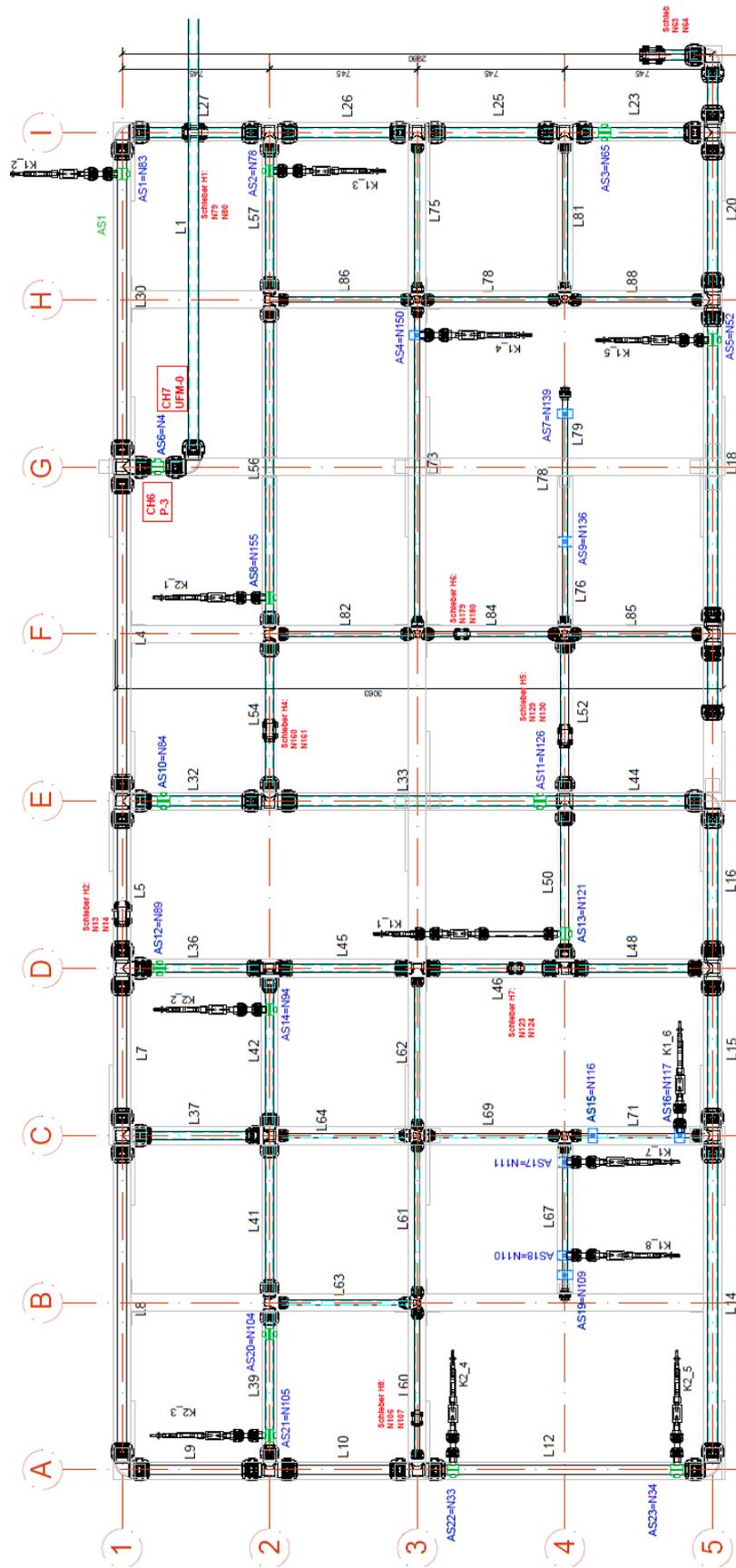


Anhang B



Quelle: Grundfos 2015

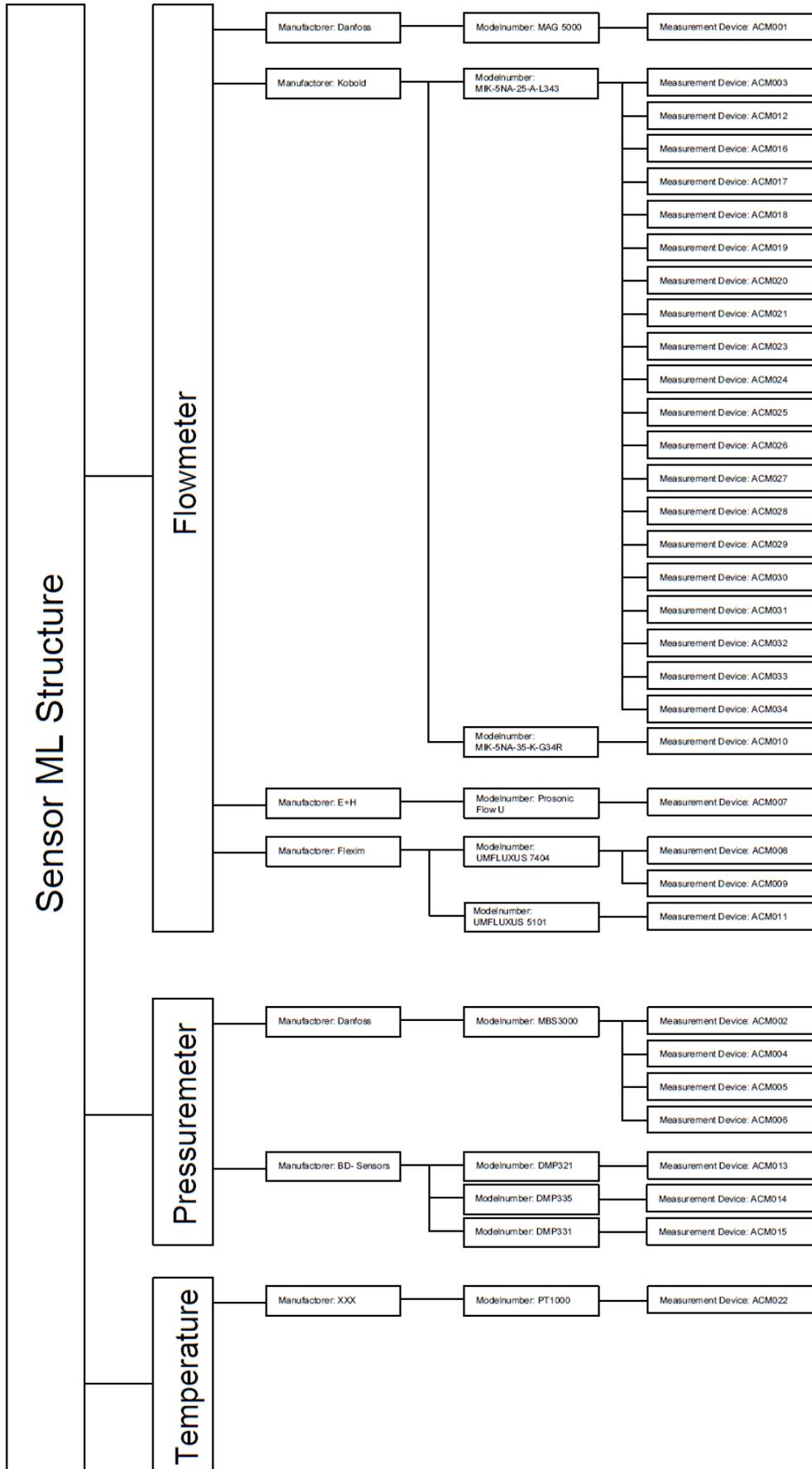
Anhang C



Anhang D

Summary of Measurement Devices														
Channel	Connection	Type	Characterization	Serial Number	Inventory Number	Measurement Range	Unit	Accuracy	Company	Type	CAD/Lab	Position	ID/Name	Switch/Relais
All on Memograph E+H, 16 Serial Connections														
Endress und Hauser Datenlogger														
CH1	4-20 mA	Flow	EFM	486030T352		0 - 27 (l/s)	(l/s)	+/- 5.0 FS (%)	Danfoss	PN16 MAGFLOW		95	EFM-1	
CH2	4-20 mA	Pressure	Piezoresistiv	88103268		0 - 16 (bar)	(bar)	+/- 0.5 FS (%)	Danfoss	MBS3000		N201	P-inflow	
CH3	4-20 mA	Flow	EFM	353409		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Danfoss	MIK-5NA-25-A-L343	L78	L78	EFM-2	
CH4	4-20 mA	Pressure	Piezoresistiv	80655253		0 - 6 (bar)	(bar)	+/- 0.5 FS (%)	Danfoss	MBS3000	AS9	N136	P-1	
CH5	4-20 mA	Pressure	Piezoresistiv	60626483		0 - 6 (bar)	(bar)	+/- 0.5 FS (%)	Danfoss	MBS3000	AS20	N104	P-2	
CH6	4-20 mA	Pressure	Piezoresistiv	78798373		0 - 6 (bar)	(bar)	+/- 0.5 FS (%)	Danfoss	MBS3000	AS6	N4	P-3	
CH7	4-20 mA	Flow	UFM	83086402000	0032745	0.5 - 7.0 (m³/s)	(m³/s)	+/- 0.5 of reading (%)	E+H	Prosonic Flow U	L1	L1	UFM-0	
CH8	4-20 mA	Flow	UFM	46747	0109653	0 - 50 (m³/h)	(m³/h)	+/- 0.1 of reading (%)	FLEXIM	UMFLUXUS 7404	L48	L48	UFM-2	
CH9	4-20 mA	Flow	UFM	46740	0109653	0 - 50 (m³/h)	(m³/h)	+/- 0.1 of reading (%)	FLEXIM	UMFLUXUS 7404	L84	L84	UFM-3	
CH10	4-20 mA	Flow	UFM	340833	0109651	2.5 - 50 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-35-K-G34R	AS13	N121	EFM-3	KL_1
CH11	4-20 mA	Flow	UFM	45875	0109652	0 - 50 (m³/h)	(m³/h)	+/- 0.1 of reading (%)	FLEXIM	UMFLUXUS 5107	L30	L30	UFM-1	
CH12	4-20 mA	Flow	EFM	353411		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS17	N111	EFM-4	KL_7
CH13	4-20 mA	Pressure	DMP321	1000411897		0 - 6 (bar)	(bar)	± 0.25% FSO	BD-Sensors	DMP321	AS11	N126	P-4	
CH14	4-20 mA	Pressure	DMP335	1000411896		0 - 6 (bar)	(bar)	± 0.50% FSO	BD-Sensors	DMP335	AS10	N84	P-6	
CH15	4-20 mA	Pressure	DMP331	1000411897		0 - 6 (bar)	(bar)	± 0.35% FSO	BD-Sensors	DMP331	AS15	N116	P-5	
CH16	4-20 mA	Flow	EFM	353414		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS18	N110	EFM-5	KL_8
Additional 16 Channels on Mettler RedLab														
ACH0	4-20 mA	Flow	EFM	353406		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS1	N83	EFM-6	KL_2
ACH1	4-20 mA	Flow	EFM	353403		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS2	N78	EFM-7	KL_3
ACH2	4-20 mA	Flow	EFM	353415		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS4	N150	EFM-8	KL_4
ACH3	4-20 mA	Flow	EFM	353417		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS5	N52	EFM-9	KL_5
ACH4	4-20 mA	Flow	EFM	353407		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS8	N155	EFM-10	K2_1
ACH5	4-20 mA	Flow	EFM	353410		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS14	N94	EFM-11	K2_2
ACH6	4-20 mA	Flow	EFM	353413		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS21	N105	EFM-12	K2_3
ACH7	4-20 mA	Flow	EFM	353421		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS22	N93	EFM-13	K2_4
ACH8	4-20 mA	Flow	EFM	353420		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS23	N34	EFM-14	K2_5
ACH9	4-20 mA	Flow	EFM	353422		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343	AS16	N117	EFM-15	KL_6
-	4-20 mA	Flow	EFM	353416		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353418		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353408		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353404		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353419		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353405		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
-	4-20 mA	Flow	EFM	353412		0.8 - 16 (l/min)	(l/min)	± 2% of FS	Kobold	MIK-5NA-25-A-L343				
HART Devices														
Channel	Connection	Type	Characterization	Serial Number	Measurement Range	Unit	Accuracy	Company	Name					
H1	HART	Pressure	XMPi 511	1741484	0 - 10 (bar)	(bar)	0.1 % FSO	BD-Sensors	HP-1	AS3	N65		HP-1	
H2	HART	Pressure	XMPci 51E	1741485	0 - 10 (bar)	(bar)	± 0.10% FSO	BD-Sensors	HP-2	AS12	N89		HP-2	

Anhang E



Daten CD