



**Universität für Bodenkultur Wien**

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

**Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt**

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl



# **MODELLIERUNG DER TRINKWASSERVERTEILUNG – ANSÄTZE ZUR OPTIMIERUNG DER INFRASTRUKTUR UND DER BETRIEBSFÜHRUNG**

**Masterarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur**

eingereicht von:  
**CHRISTOPH KULIR**

Betreuer: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.tech Reinhard Perfler

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Laurent Richard

Matrikelnummer: 0940089

Jänner 2015



## **Vorwort**

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Institutes für Siedlungswasserbau, Industrieressourcenmanagement und Gewässerschutz, insbesondere dem Leiter dieser Arbeit Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.tech. Reinhard Perfler sowie Dipl.-Ing. Laurent Richard, welche mich während des gesamten Bearbeitungszeitraums tatkräftig unterstützten – sei es durch hilfreiche Tipps oder laufende Informationen bzgl. Literatur und Software. Sämtlichen anderen Personen, welche ich hier nicht namentlich erwähne, die aber zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die es mir ermöglicht hat, das Studium Vollzeit zu absolvieren. Ohne eure Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen, in dieser Zeit zu studieren.



## Kurzfassung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, ausgewählte Modellierungsansätze zur Optimierung der Infrastruktur und der Betriebsführung im Bereich der Trinkwasserverteilung zu untersuchen. Im Zuge der Literaturrecherche wurden folgende Themen untersucht:

- GIS-basierte Planung
- Redundanz/Resilienz
- Optimierung der Platzierung von Sensoren

Häufig werden geografische Informationssysteme (GIS) und hydraulische Modellierung getrennt voneinander betrachtet. Dabei werden GIS-Daten (Einwohnerzahlen, Leitungskataster, Grundstückskataster...) oftmals am aktuellen Stand gehalten, während hydraulische Modelle nicht ständig aktualisiert werden. Die aktuelle Zielsetzung ist eine GIS-zentrierte Planung, welche diese Modelle verknüpft.

In der Arbeit wird für eine österreichische Marktgemeinde eine Verbrauchsanalyse aus vorliegenden Verbrauchsdaten (10 Jahre) durchgeführt. Es werden Pro-Kopf-Verbrauchswerte nach verschiedenen Kategorien (Alter, Haushaltsgröße und Wohnsitzart) ermittelt. Anhand der Bevölkerungsentwicklung der letzten 10 Jahre werden Szenarien definiert. Die Ergebnisse, z.B. Pro-Kopf-Verbrauchswerte für unterschiedliche Haushaltsgrößen, werden im GIS zentral gespeichert. Diese Art der Bedarfsermittlung wird mit der konventionellen Berechnungsmethode (nach EN805 bzw. ÖNORM B2538) verglichen. Dadurch soll eine Aussage über die Sinnhaftigkeit der vertieften Bedarfsermittlung getroffen werden. Des Weiteren wird die generelle Leistung des Trinkwassernetzes der Gemeinde für unterschiedliche Bedarfsszenarien untersucht.

Ein sicherer Betrieb des Versorgungsnetzes ist ebenso wichtig wie die optimierte Planung. Durch die möglichst redundante Ausführung des Versorgungsnetzes kann durch alternative Versorgungswege die Versorgungssicherheit, beispielsweise im Falle eines Rohrbruches, sichergestellt werden: Zusätzlich sollen qualitative und quantitative Aspekte der Trinkwasserversorgung im Netzbetrieb mit Sensoren überwacht werden. Zur Entwicklung eines Sensoren-Netzwerkes wird das Software Modul TEVA-SPOT der US-EPA verwendet. Die Einleitung eines schädlichen Stoffes soll so schnell wie möglich erkannt werden. Dazu werden verschiedene Anzahlen von Sensoren sowie Injektionspunkte getestet.

## Abstract

The main topic of this master thesis is to investigate specific modelling options to optimize the infrastructure and the operation management for drinking water supplies. Therefore in the literature search following topics were examined.

- GIS based planning
- Redundancy / Resilience
- Sensor placement

Usually geographic information systems (GIS) and hydraulic modelling are considered separately. Often GIS data (population, digital cadastral map of the water network, land Illadaster...) is the more up to date information, whereas the hydraulic model is not updated that often. The actual goal is to apply GIS-based planning for combining both models.

In the thesis an in-depth demand analysis for an Austrian municipality is investigated, based on consumption data from the last 10 years. A calculation of the per capita consumption for various categories (age, household size and residence type) is made. Different scenarios are defined using the population development of the last 10 years. The results for e.g. per capita consumption of several household sizes, are stored in a GIS. This method of demand calculation is compared with the conventional one (EN805 / ÖNORM B2538)., An evaluation is made if the application of in depth calculation is useful or not, by comparison of the different calculation methods. It is also possible to evaluate the general efficiency of drinking water supply using different demand levels.

A reliable and safe operation of the drinking water networks is as important as optimized planning procedures. Building a redundant pipe network can provide multiple flow ways for the consumers, to secure the water supply in case of pipe failures. In addition, sensor based monitoring of the network is useful referring to e.g. accidental or intentional drinking water quality deterioration. The freeware TEVA-SPOT by US-EPA is used for the design of a sensor network in order to detect the intrusion of e.g. harmful substances as fast as possible. Different sizes of sensor sets are tested, as well as various injection points.



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	6
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Zielsetzung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Allgemeine Grundlagen.....</b>	<b>10</b>
3.1 Wasserbedarfsrechnung .....	10
3.1.1 Theoretische Bedarfsermittlung.....	10
3.1.2 Aufteilung Personenbedarf .....	12
3.1.3 Metermengenanzahl.....	13
3.1.4 Großverbraucher .....	13
3.1.5 Zusammenfassung .....	14
3.2 Geoinformationssysteme .....	15
3.2.1 Historische Entwicklung.....	15
3.2.2 Was ist GIS? .....	15
3.2.3 Softwareanbieter und Programme.....	16
3.2.4 Anwendungsbeispiel.....	17
3.3 Hydraulische Modellierung von Wasserversorgungsleitungen .....	18
3.3.1 Wasserversorgung.....	18
3.3.2 Hydraulische Modelle .....	20
3.3.3 Verbrauchszuweisung .....	22
3.4 Verknüpfung von Geoinformationssystemen und hydraulischen Modellen .....	23
3.4.1 Einleitung.....	23
3.4.2 Vorteile einer GIS-integrierten Planung.....	24
3.5 Betriebsüberwachung – optimale Sensorplatzierung im System .....	27
3.5.1 Einleitung .....	27
3.5.2 Versorgungsnetze und Kontaminationsarten .....	27
3.5.3 Sensortypen.....	30
3.5.4 Grundlagen von Sensornetzwerken .....	32
3.5.5 TEVA-Spot.....	35
3.5.6 Redundanz und Resilienz von Trinkwassersystemen.....	37
<b>4. Fallstudie Hallstatt .....</b>	<b>41</b>
4.1 Beschreibung der Trinkwasserversorgung Hallstatt .....	41
4.2 Datengrundlage und Datenaufbereitung .....	44
4.2.1 Meldelisten.....	44
4.2.2 Verbrauchszahlen.....	45
4.2.3 Berücksichtigte Bevölkerung .....	46
4.2.4 Shapefiles .....	47
4.2.5 Leitungsplan .....	48
4.3 Arbeitsschritte Modellierung.....	49
4.3.1 Meldedaten – Einwohneranalyse; Verbrauchszahlen – Wasserverbrauchs-zahlen .....	49
4.3.2 AutoCAD – ArcGIS (Leitungskataster) – WaterGEMS.....	52
4.3.3 Import in WaterGEMS .....	53
4.3.4 Anpassen des hydraulischen Modells .....	54
4.4 Analyse der Grunddaten .....	56
4.4.1 Einwohneranalyse – Hallstatt .....	56
4.4.2 Analyse der Tourismusentwicklung.....	62
4.4.3 Verbrauchsanalyse – Hallstatt.....	64
4.4.4 Großverbraucher .....	77
4.4.5 Spitzenfaktoren und Tagesganglinien .....	79

4.5	Festlegung der Szenarien.....	82
4.6	Hydraulische Modellierung.....	87
4.6.1	Wasserverluste.....	87
4.6.2	Szenario 0 – Einspeisung aus dem Hochbehälter .....	88
4.6.3	Szenario 1a – Einspeisung aus dem Hochbehälter .....	89
4.6.4	Szenario 1b – Einspeisung aus dem Hochbehälter .....	90
4.6.5	Szenario 2a – Einspeisung aus dem Hochbehälter .....	91
4.6.6	Szenario 2b – Einspeisung aus dem Hochbehälter .....	92
4.6.7	Szenario 0 – Einspeisung aus dem Brunnen .....	93
4.6.8	Szenario 1a – Einspeisung aus dem Brunnen .....	94
4.6.9	Szenario 1b – Einspeisung aus dem Brunnen .....	95
4.6.10	Szenario 2a – Einspeisung aus dem Brunnen .....	96
4.6.11	Szenario 2b – Einspeisung aus dem Brunnen .....	97
4.6.12	Szenario 2024-1 – Zukünftig steigender Tourismus.....	98
4.6.13	Szenario 2024-2 – Gleichbleibender Tourismus, steigende Bevölkerung .....	99
4.6.14	Szenario Brandfall .....	100
4.7	Optimierung der Platzierung von Sensoren .....	102
4.8	Diskussion der Ergebnisse .....	104
4.8.1	Kennzahlen.....	104
4.8.2	Leitungsnetz .....	104
4.8.3	Sensoren .....	105
4.9	Schlussfolgerungen für die Fallstudie Hallstatt.....	105
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>106</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>109</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>112</b>
7.1	ArcGIS .....	112
7.2	EPANET.....	116
7.2.1	Kurzbeschreibung:.....	116
7.2.2	Physische Komponenten.....	117
<b>8.</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>119</b>
<b>9.</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>121</b>

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Tagesganglinie .....	11
Abbildung 2: Schemadarstellung des Verlaufs einer Verbrauchsrechnung .....	11
Abbildung 3: Layerstruktur in einem Geoinformationssystem .....	15
Abbildung 4: Objekte eines Leitungsinformationssystems .....	17
Abbildung 5: Komponenten eines Wasserversorgungssystems .....	19
Abbildung 6: Beispiel eines Verästelungsnetzes.....	19
Abbildung 7: Beispiel eines Ringnetzes .....	19
Abbildung 8: Unterschiedliche hydraulische Modelltypen .....	20
Abbildung 9: Einfaches Modell einer Wasserversorgung.....	22
Abbildung 10: Funktionsweise der Zuweisung mittels nächster Knoten .....	22
Abbildung 11: Funktionsweise der Zuweisung mittels Service Polygon.....	22
Abbildung 12: Reduktion des GIS-Modells zum hydraulischen Modell .....	25
Abbildung 13: Datenbeschaffung vom GIS zum Modell.....	26
Abbildung 14: Bestandteile Trinkwasserversorgung .....	27
Abbildung 15: Spectro::lyser – Sensor der Firma s:can .....	30
Abbildung 16: Memosens – Sensor der Firma Endress+Hauser .....	30
Abbildung 17: Funktionsprinzip mobiler Sensoren .....	31
Abbildung 18: Untersuchtes Versorgungsnetz im Zuge des BWSN .....	32
Abbildung 19: Schema eines rule-based decision support systems – RBDSS.....	33
Abbildung 20: Veranschaulichung der compexity rule .....	34
Abbildung 21: Datenfluss inkl. Hauptkomponenten der TEVA-Spot-Software.....	35
Abbildung 22: Erforderliche Datengrundlage, um TEVA-Spot verwenden zu können .....	36
Abbildung 23: Auswertung des ersten Kriteriums .....	37
Abbildung 24: Übersicht der Schleifenberechnung .....	39
Abbildung 25: Übersichtsdarstellung Hallstatt .....	41
Abbildung 26: Blick über die Altstadt von Hallstatt.....	41
Abbildung 27: Quellfassung Klausbrunnenquelle.....	42
Abbildung 28: Bau des Hochbehälters .....	42
Abbildung 29: Oberfläche Leitsystem Trinkwasserversorgung Hallstatt .....	43
Abbildung 30: Ausschnitt der Meldeliste 2004 .....	44
Abbildung 31: Darstellung der bearbeiteten Meldeliste.....	45
Abbildung 32: Verbrauchszahlen als txt-file .....	45
Abbildung 33: Bearbeitete Darstellung der Verbrauchszahlen.....	46
Abbildung 34: Punktwolke des Shapefiles Adressen .....	47
Abbildung 35: Ausschnitt des Rohrleitungsplans der Gemeinde Hallstatt .....	48
Abbildung 36: Importfähiger Leitungsplan Ausschnitt .....	48
Abbildung 37: Übersichtsdarstellung der Entwicklungsanalyse .....	49
Abbildung 38: Leitungskataster mit ArcMAP digitalisiert.....	52
Abbildung 39: Geländemodell Marktgemeinde Hallstatt .....	52
Abbildung 40: Auszug aus dem WaterGEMS ModelBuilder .....	53
Abbildung 41: Modellierung eines Brunnens im EPANET.....	54
Abbildung 42: Angenommene Pumpenkurve zur Versorgung aus den Brunnen.....	55
Abbildung 43: Bevölkerungsentwicklung aus der Grundlagenerhebung 2012.....	56
Abbildung 44: Darstellung der Haushalte 2004.....	57
Abbildung 45: Darstellung der Haushalte 2014.....	57
Abbildung 46: Entwicklung der Wohnsitze, absolut.....	58
Abbildung 47: Entwicklung der Wohnsitze, relativ.....	58
Abbildung 48: Altersentwicklung, absolut (nur Hauptwohnsitze).....	59
Abbildung 49: Altersentwicklung, relativ (nur Hauptwohnsitze).....	59
Abbildung 50: Vergleich Einwohnerzahlen 2004 und 2014 (nur Hauptwohnsitze).....	59
Abbildung 51: Haushaltsgrößenentwicklung, absolut.....	60
Abbildung 52: Haushaltsgrößenentwicklung, relativ.....	61
Abbildung 53: Touristenankünfte und Übernachtungen sowie der Übernachtungsdauer .....	62
Abbildung 54: Summierter Verbrauch der vorliegenden Verbrauchsdaten, absolut .....	64

Abbildung 55: Schematische Grundstücksdarstellung – Gartenzuschlag.....	65
Abbildung 56: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW .....	66
Abbildung 57: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW .....	66
Abbildung 58: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW .....	66
Abbildung 59: Jahresmittelung des Pro-Kopf-Verbrauchs nach Wohnsitzart.....	67
Abbildung 60: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 15-39.....	68
Abbildung 61: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 40-64.....	68
Abbildung 62: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 65+.....	68
Abbildung 63: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 15-39.....	68
Abbildung 64: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 40-64.....	68
Abbildung 65: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 65+.....	68
Abbildung 66: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 15-39 .....	69
Abbildung 67: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 40-64 .....	69
Abbildung 68: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 65+ .....	69
Abbildung 69: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 15-39 für alle Wohnsitzarten .	70
Abbildung 70: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 40-64 für alle Wohnsitzarten .	70
Abbildung 71: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 65+ für alle Wohnsitzarten ....	70
Abbildung 72: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der HW alle Altersklassen.....	70
Abbildung 73: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der NW alle Altersklassen.....	70
Abbildung 74: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der MW alle Altersklassen .....	70
Abbildung 75: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der HW.....	71
Abbildung 76: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der NW.....	71
Abbildung 77: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der MW .....	71
Abbildung 78: Histogramm - der Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Hauptwohnsitze 2013 (n=69).	73
Abbildung 79: Histogramm - der Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Nebenwohnsitze 2013 (n=16)	73
Abbildung 80: Histogramm - Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Mischwohnsitze 2013 (n=35) .....	74
Abbildung 81: Histogramm Verbrauchsdaten 2013.....	74
Abbildung 82: Einfaktorielle Varianzanalyse HW nach Haushaltsgröße .....	75
Abbildung 83: Einfaktorielle Varianzanalyse NW nach Haushaltsgröße .....	75
Abbildung 84: Einfaktorielle Varianzanalyse HW nach Altersklassen .....	76
Abbildung 85: Einfaktorielle Varianzanalyse NW nach Altersklassen .....	76
Abbildung 86: Darstellung eines QQ-Plots für HW.....	76
Abbildung 87: Darstellung eines QQ-Plots für HW.....	76
Abbildung 88: Übersicht Verteilung Großverbraucher in Hallstatt.....	77
Abbildung 89: Jahresverbrauch der Großverbraucher .....	78
Abbildung 90: Touristenspezifischer Verbrauch in I/Nächtigung .....	79
Abbildung 91: Verwendete Tagesganglinie mit Verbrauchsspitzen .....	80
Abbildung 92: Auswertung des Leitsystems Hallstatt.....	80
Abbildung 93: Verteilung der Wasserverluste .....	87
Abbildung 94: Versorgungsprobleme im Brandfall; 2 Zonen.....	101
Abbildung 95: Eingangsdaten toxische Belastung .....	102
Abbildung 96: Mögliche Sensoren-Standorte aller Simulationen zusammengefasst.....	103
Abbildung 97: Schema zur Ermittlung des maximalen Stundenbedarfs .....	106
Abbildung 98: Darstellungsunterschiede Shapefile – Datenbank .....	113
Abbildung 99: Layerdarstellung in ArcMap.....	113
Abbildung 100: Links: Auswahl nach Attributen; Rechts: Lagebezogene Auswahl.....	115
Abbildung 101: EPANET-Komponenten .....	116

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mindestwerte für den derzeitigen Wasserbedarf in Liter (ÖNORM B 2538, 2002)....	10
Tabelle 2: Verteilung Jahreswasserbedarf (PERFLER, 2008) .....	11
Tabelle 3: Einwohnerspezifischer Trinkwasserbedarf (DVGW, 2008) .....	12
Tabelle 4: Richtwerte für den Verbrauch von Großverbrauchern (DVGW, 2008) .....	14
Tabelle 5: Zusammenfassung der Versorgungsnetz-Berechnungsmöglichkeiten .....	14
Tabelle 6: Auszugsweise Auflistung der GIS-Softwareanbieter und -Programme .....	16
Tabelle 7: Hauptkomponenten eines hydraulischen Modells (ROSSMAN, 2000) .....	21
Tabelle 8: Möglichkeiten der Verbrauchszuweisung .....	22
Tabelle 9: Struktur der Datenbank im Geoinformationssystem .....	24
Tabelle 10: Häufige Fehler beim Exportieren vom GIS zu einem hydraulischen Modell .....	25
Tabelle 11: Mikrobiologische Parameter für desinfiziertes Wasser .....	28
Tabelle 12: Chemische Parameter .....	28
Tabelle 13: Mikrobiologische Parameter mit Indikatorfunktion .....	29
Tabelle 14: Einteilung von Verbesserungsmaßnahmen betreffend Redundanz und Resilienz .	40
Tabelle 15: Messungen bzw. Reinigungsverfahren der Trinkwasserversorgung Hallstatt .....	42
Tabelle 16: Berücksichtigte Personen der Verbrauchsdaten Jahr 2004 .....	46
Tabelle 17: Berücksichtigte Personen der Verbrauchsdaten Jahr 2013 .....	47
Tabelle 18: Verwendete Altersklassen in der Entwicklungsanalyse .....	50
Tabelle 19: Verwendete Haushaltsgrößen in der Entwicklungsanalyse .....	50
Tabelle 20: Verwendete Wohnsitzarten in der Entwicklungsanalyse .....	51
Tabelle 21: Personenzuwachs bzw. -abgang nach Ortszonen .....	57
Tabelle 22: Einwohner in Altersklassen eingeteilt .....	61
Tabelle 23: Besucherankünfte in Hallstatt .....	63
Tabelle 24: Prozentuale Aufteilung zwischen Großverbraucher und Kleinverbraucher .....	64
Tabelle 25: Mittelwerte der Pro-Kopf-Verbrauchszahlen aller Altersklassen .....	69
Tabelle 26: Mittelwerte Wasserverbrauch für HW nach HHG in l/Kopf und Tag .....	72
Tabelle 27: Mittelwerte Wasserverbrauch für NW nach HHG in l/Kopf und Tag .....	72
Tabelle 28: Mittelwerte Wasserverbrauch für MW nach HHG in l/Kopf und Tag .....	72
Tabelle 29: Übersicht über die Altersgruppen .....	76
Tabelle 30: Prozentuale Aufteilung der Großverbraucher .....	78
Tabelle 31: Anzahl der Adressen GV und KV .....	78
Tabelle 32: Touristenankünfte Jahr 2013 .....	81
Tabelle 33: Zusammenfassung Bedarf – Sz0 in l/s .....	82
Tabelle 34: Zusammenfassung Bedarf – Sz1a in l/s .....	83
Tabelle 35: Verbrauchszahlen nach Haushaltsgröße .....	83
Tabelle 36: Zusammenfassung Bedarf – Sz1b in l/s .....	83
Tabelle 37: Zusammenfassung Bedarf – Sz2a in l/s .....	84
Tabelle 38: Zusammenfassung Bedarf – Sz2b in l/s .....	84
Tabelle 39: Pro-Kopf-Verbrauchszahlen nach Altersklassen für Hauptwohnsitze .....	85
Tabelle 40: Zusammenfassung Bedarf – Sz2024-1 in l/s .....	85
Tabelle 41: Zusammenfassung Bedarf – Sz2024-2 in l/s .....	85
Tabelle 42: Zusammenfassung Bedarf – Sz Brandfall in l/s .....	86
Tabelle 43: Faktorentabelle zur Definition einer Tagesganglinie mit EPAnet .....	118
Tabelle 44: Beispielhafte Tagesganglinie EPAnet .....	118

### Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
EPA	Environmental Protection Agency
EW	Einwohner
FWP	Flächenwidmungsplan
GIS	Geoinformationssystem
GV	Großverbraucher
HH	Haushalt
HHG	Haushaltsgröße
HW	Hauptwohnsitz
KV	Kleinverbraucher
LIS	Leitungsinformationssystem
MW	Mischwohnsitz
NW	Nebenwohnsitz
OEK	Örtliches Entwicklungskonzept
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
TDI	Tolerierbare Tagesdosis
TEVA-SPOT	Threat Ensemble Vulnerability Assessment and Sensor Placement Optimization Tool
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WTC	World Trade Center

# 1. Einleitung

Eine zuverlässige und funktionsfähige Trinkwasserversorgung ist lebensnotwendig, um die Gesundheit und den Lebensstandard in der Gesellschaft aufrechtzuerhalten bzw. zu verbessern. Eine voll funktionsfähige Errichtung des Netzes vorausgesetzt, ist der sichere und störungsfreie Betrieb einer Anlage maßgeblich für die Qualität des Trinkwassers an den Übergabestellen zu den Verbrauchern.

Bereits in der Planung von Trinkwassernetzen kann durch optimiertes Auslegen der Grundstein für einen sicheren und optimalen Betrieb gelegt werden. Durch den Fortschritt der Technik und die daraus resultierenden immer größer werdenden Computerleistungen ist es heute möglich, komplexe Modellierungsaufgaben durchzuführen. Neben der Rechnerleistung erhöht sich auch die Anzahl der generierten Daten. Persönliche Informationen werden heute meist digital gespeichert und können dadurch in die hydraulische Modellierung einfließen. In der Bedarfsermittlung könnten sich dadurch weitere Möglichkeiten gegenüber der konventionellen Berechnung ergeben.

In der Vergangenheit wurden die Planung eines Trinkwassernetzes sowie deren Berechnung und Auslegen häufig isoliert betrachtet. Aktuelle Literatur als auch Berichte aus der Praxis zeigen, dass der Trend weg von dieser Isolierung geht. Die Aktualisierung eines hydraulischen Modells erfolgt zwar in unterschiedlichen Intervallen, beispielsweise einmal jährlich, jedoch ist dies im Vergleich zu einem GIS selten. Eine zentrierte Behandlung eines GIS sowie eines hydraulischen Modells würde die Zeit zwischen den Aktualisierungen verkürzen.

Durch die Integration ergeben sich neue Möglichkeiten für die Berechnung eines Trinkwassernetzes. In der konventionellen Berechnungsmethode werden Richtwerte für Wasserverbrauchsdaten herangezogen (beispielsweise aus Normen). Durch eine zentrale Speicherung von Daten wie Leitungen, geografisch zugewiesene Verbrauchsdaten und Meldedaten (Alter, Haushaltsgröße etc.) in einem GIS ergeben sich neue Möglichkeiten der Bedarfsermittlung. Es können für ein Versorgungsgebiet spezifische geografisch zugewiesene Pro-Kopf-Verbrauchszahlen ermittelt werden, welche zur Verbesserung des Betriebs eines Trinkwassernetzes beitragen können. Häufig sind die Kosten eines solchen Systems der limitierende Faktor für Gemeinden.

Wird ein Trinkwassernetz betrieben, gilt es, die Bedürfnisse der Bedarfsträger zu erfüllen. Es soll stets Trinkwasser in ausreichender Menge sowie auch mit genügend Druck vorhanden sein. Treten während des Betriebs Probleme auf, kann es sein, dass Qualität und Quantität beeinträchtigt werden. Eine Überwachung des Netzes mithilfe von Sensoren ist, ebenfalls bedingt durch den Fortschritt der Technik, heute einfach und rasch möglich. Es kann gezielt in das Netz eingegriffen werden, um eventuell auftretende Störungen zu beheben.

Die vorliegende Arbeit wurde in einem Bearbeitungszeitraum von 1 Jahr (Jänner 2014 bis Jänner 2015) verfasst und behandelt folgende Kernfragen:

- Ist eine alternative Verbrauchsrechnung gegenüber dem Stand der Technik sinnvoll?
- Welchen Einfluss hat diese Art der Bedarfsermittlung in Bezug auf Druck und Fließgeschwindigkeit?
- Ist ein Sensornetzwerk für die Gemeinde Hallstatt sinnvoll? Wenn ja, wo wären optimale Standorte?

Im Endeffekt führen sämtliche Fragen, die in dieser Arbeit behandelt werden, wieder zurück an die Hauptfrage: Wie kann der Betrieb eines Netzes optimiert und sichergestellt werden, um die Verbraucher mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser zu versorgen?

## 2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

In dieser Arbeit sollen Möglichkeiten zur Optimierung der Infrastruktur sowie zum Betrieb von Trinkwasserversorgungsnetzen anhand des Trinkwassernetzes der Gemeinde Hallstatt untersucht werden. Es wird eine vertiefte Bedarfsrechnung durchgeführt. Als Grundlage für diesen Ansatz dienen Meldedaten (Adresse, Geburtsdatum der Personen, Haushaltsgröße und Haushaltstyp), welche mit dem vorhandenen Bedarf verknüpft werden. Im Speziellen heißt das, anstatt einen 3-Personen-Haushalt wie üblich mit 120l/Person anzunehmen, wird der Verbrauch aus vorliegenden Daten analysiert und beispielsweise anhand des Alters eine „neue“ Bedarfskennzahl generiert. Es wäre somit möglich, versorgungsgebietsspezifisch den Bedarf nach der vorhandenen Altersstruktur zu ermitteln. Nicht nur Alter, sondern auch Haushaltstyp (Haupt- oder Nebenwohnsitz) können durch diese Methode einfach berücksichtigt werden. Zusätzlich wird sämtlicher Verbrauch geografisch zugeordnet.

Der so ermittelte Bedarf wird zur Berechnung des Trinkwasserversorgungsnetzes der Marktgemeinde Hallstatt verwendet und mit der konventionellen Methode verglichen.

Neben der Optimierung der Bedarfsermittlung soll die Sicherheit des Versorgungsnetzes erhöht werden. Im speziellen Fall hat die Gemeinde Hallstatt bei Starkregen Probleme mit der Trübung sowie mit der mikrobiologischen Belastung des Trinkwassers. Das Risiko steigt, dass Trinkwasser in unzureichender Qualität in das Netz eingeleitet wird. Ein Netzwerk von Sensoren soll entworfen werden, um generell die Sicherheit und Stabilität des Netzes zu erhöhen.

Für die Literaturrecherche wurde verschiedene Literatur (siehe Verzeichnis am Beginn der Arbeit) verwendet, beginnend mit allgemeinen Fachbüchern, über Software Manuals bis zu Publikationen. Kapitel 3 fasst ausgewählte Literatur zusammen, um die wichtigsten Inhalte der Veröffentlichungen darzustellen.

In Kapitel 3.2 wird der Vorteil einer GIS-zentrierten Planung beschrieben. Dabei werden im Wesentlichen folgende Hauptfragen behandelt:

- Was ist ein Geoinformationssystem und was sind seine Hauptkomponenten?
- Kurzbeschreibung von ArcGIS, da diese Software im Rahmen der Arbeit verwendet wird.
- Grundlagen der hydraulischen Modellierung sowie der Modellkomponenten der hydraulischen Modellierungssoftware EPANET.
- Integration von GIS-Daten in die hydraulische Modellierung.

Nach diesem Kapitel wird in 3.5 auf die Anwendung von Messsensoren eingegangen. Ziel ist, den Stand der Technik darzustellen und Fragen zu klären, wie etwa jene, wie mit verschiedenen Risiken (mikrobiologisch, chemisch, physikalisch) umgegangen wird. Welche Möglichkeiten stehen dem Betreiber zur Verfügung, um diese zu identifizieren? Welche Maßnahmen sollten im Falle eines Vorfalles gesetzt werden, um die Verbrauch vor jeglicher Gefahr zu schützen?

Der letzte Punkt der Literaturrecherche behandelt die Problematik einer geringen Redundanz/Resilienz in Trinkwasserversorgungssystemen. Dabei wird auf folgende Kernfrage eingegangen:

- Lässt sich Redundanz und Resilienz mittels Maßzahlen quantifizieren?

In Kapitel 4 wird die Fallstudie dieser Arbeit beschrieben. Welche Daten wurden von der Gemeinde zur Verfügung gestellt und wie mussten diese aufbereitet werden? Des Weiteren werden Bedarfskennzahlen, welche sich durch Kombination bekannter Verbrauchsdaten und Meldedaten ergeben, erläutert. Mit diesen Kennzahlen soll geprüft werden, ob beispielsweise ein 1-Personen-Haushalt pro Kopf mehr Trinkwasser verbraucht als ein 4-Personen-Haushalt. Die definierten Pro-Kopf-Bedarfszahlen werden anschließend zur Bedarfsermittlung herangezogen.

Außerdem wird ein digitales Leitungsinformationssystem mittels ArcGIS erstellt, welches sämtliche Pro-Kopf-Verbrauchswerte sowie Bevölkerungsdaten in einer Datenbank beinhaltet. Die Leitungsdaten werden verwendet, um ein hydraulisches Modell zu generieren.

In Kapitel 4.4 werden die Ergebnisse aus der Analyse der vorhandenen Meldedaten (Einwohneranalyse) wie auch jene des Verbrauchs dargestellt. Wie hat sich die Bevölkerung in den letzten Jahren entwickelt? Gibt es Gemeindegebiete, in denen vermehrt Personen abgewandert sind? Welchen Pro-Kopf-Verbrauch haben verschiedene Altersgruppen bzw. Haushaltsgrößen?

Des Weiteren werden Fließgeschwindigkeit und Druck für definierte Szenarien (Sommer- und Wintertourismus, mögliche zukünftige Szenarien sowie Brandfall) präsentiert. Wie verhält sich das Netz, sollte der Tourismus weiter ansteigen? Gibt es Versorgungsprobleme im Brandfall?

Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Sensoroptimierungsberechnung. Zur Berechnung wird TEVA-SPOT (Threat ensemble vulnerability assessment – sensor placement optimization tool) verwendet, das EPA gratis zur Verfügung stellt.

Zusammengefasst sollen folgende Ergebnisse erzielt werden:

1. **Analyse der Bevölkerungsentwicklung:** Veränderung der Altersverteilung, der Haushaltsgröße sowie der Wohnsitzart. Kommt es zu einer Überalterung der Bevölkerung? Gehen 1-Personen-Haushalte zurück? Findet eine Abwanderung statt und betrifft diese vermehrt Haupt- oder Nebenwohnsitze?
2. **Analyse von Verbrauchsdaten:** Zuzufolge der vorliegenden Verbrauchsdaten werden Pro-Kopf-Verbrauchszahlen für unterschiedliche Kategorien (Haushaltsgröße, Alter und Wohnsitzart) errechnet.
3. **Hydraulische Berechnung:** Die Ergebnisse von 1 und 2 werden verwendet, um Szenarien zu definieren. Es soll die Funktionstüchtigkeit der Trinkwasserversorgung Hallstatt für unterschiedliche Verbrauchsdaten errechnet werden.  
Zusätzlich soll die Sinnhaftigkeit von Pro-Kopf-Verbrauchszahlen gegenüber der konventionellen hydraulischen Modellierung überprüft werden.
4. **Sensoren:** Für die Marktgemeinde soll ein Sensoren-Netzwerk entworfen werden. Grundlage für die Berechnung stellt ein definiertes Szenario dar.

### 3. Allgemeine Grundlagen

Dieses Kapitel soll dem Leser einen Überblick über die Themen, welche in dieser Arbeit behandelt werden, geben. Zum besseren Verständnis werden Grundlagen, Begriffsdefinitionen und der Stand der Technik erläutert. Schwerpunkte sind: Wasserbedarfsrechnung, die Integration von GIS-Daten in die Versorgungsnetzplanung, die optimale Platzierung von Sensoren innerhalb des Netzes sowie die Optimierung der Versorgungssicherheit.

#### 3.1 Wasserbedarfsrechnung

Im Folgenden werden die theoretische Ermittlung des Wasserbedarfs sowie einige Definitionen näher erläutert. Des Weiteren wird auf den Tagesgang des Personen-Wasserverbrauchs eingegangen und darauf, aus welchen Hauptkomponenten sich dieser zusammensetzt.

##### 3.1.1 Theoretische Bedarfsermittlung

Unter Wasserbedarf wird nach EN805 „die geschätzte Wassermenge je Zeiteinheit“ verstanden. Diese geschätzte Wassermenge setzt sich für jede Person über den Tag anders zusammen. Es ist schwer, diesen Wasserbedarf genau zu quantifizieren, deswegen sind Beobachtungen diesbezüglich unerlässlich. In der ÖNORM B2538 sind folgende Bedarfszahlen (Tabelle 1) gelistet. Diese sind als Mindestwerte anzusetzen, sollten keine genaueren vergangenen Daten vorliegen.

Tabelle 1: Mindestwerte für den derzeitigen Wasserbedarf in Liter (ÖNORM B 2538, 2002)

Verbrauchergruppe	Wasserbedarf in Liter			Bezug
	täglich	an Arbeitstagen	saison- bedingt	
Einwohner (ohne Industrie)	120		200	pro Einwohner und Tag
Fremdenbetten				pro Übernachtung
Großvieh	60			pro Stück und Tag
Kleinvieh	20			pro Stück und Tag
Fleischhauer, Friseure		100		pro Beschäftigtem und Tag
Bäcker		150		pro Beschäftigtem und Tag
Gasthäuser	15			pro Gast und Tag
Schulen		10		pro Person und Tag
Kasernen	100			pro Person und Tag

Um ein Versorgungsnetz bemessen zu können, müssen der maximal zukünftige Wasserverbrauch sowie der Wasserverbrauch an Tagen mittleren Verbrauchs bekannt sein. Die Ermittlung dieser Werte erfolgt ausgehend vom derzeitigen Jahreswasserbedarf.

Zu Beginn der Bemessung nach ÖNORM B2538 sind die in Tabelle 1 enthaltenen Mindestwerte sowie der Versorgungsstand bekannt. Da es im Laufe des Jahres (klimatisch bedingt, tourismusbedingt) zu starken Schwankungen im Wasserverbrauch kommt, ist der erste wesentliche Schritt die Aufstellung der Jahresverteilung. Es wird jedem Monat ein Verbrauch nahe dem Einheitsverbrauch zugewiesen, beispielsweise für Jänner 80l/Person und Tag (Erfahrungswert), da im Winter weniger Wasser als im Sommer benötigt wird. Zur Verdeutlichung ist in folgender Tabelle eine solche Verteilung dargestellt.

Ist der Jahresverlauf festgelegt, kann der verbrauchsreichste Monat ermittelt werden. Dabei wird der zuvor festgelegte Einheitsverbrauch mit der Anzahl der Bedarfsträger multipliziert. Durch das Aufsummieren ergibt sich der maßgebende Monat, welcher zur weiteren Berechnung benötigt wird.

Tabelle 2: Verteilung Jahreswasserbedarf (PERFLER, 2008)

Pos.	Art	Einheit	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1	Personen	l/Pers.*d	80	80	80	80	100	120	120	120	100	80	80	80
2	Großvieh	l/GV*d	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	Kleinvieh	l/KV*d	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	Sommergäste	l/Gast*d	0	0	0	0	200	200	200	200	200	0	0	0
5	Schulkinder	l/Schulkind*d	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10
6	div. Gewerbe	l/Gewerbe*d	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500	34500
7	Hausgärten	l/d	0	0	0	24000	24000	24000	24000	24000	24000	0	0	0
8	Brauerei	hl/d	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
9	Hotel	l/Bett*d	200	200	0	0	200	200	200	200	200	0	0	200

Der nächste Schritt ist die Ermittlung des Bedarfs an einem Tag mit mittlerem sowie an einem Tag mit großem Verbrauch. Dazu wird der Wert des durchschnittlichen Tagesbedarfs des verbrauchsreichsten Monats mit einem Faktor gemäß ÖNORM B2538 multipliziert. Dieser Faktor ist abhängig von der Einwohnerzahl. Umso größer die Anzahl der zu versorgenden Personen, umso kleiner wird dieser Faktor, da sich Spitzen nicht mehr so auswirken wie in Versorgungsgebieten mit einer geringen Anzahl an Verbrauchern.

Schlussendlich errechnet sich der maximale Stundenbedarf zufolge der Tagesganglinie (Abbildung 1), welche auf Erfahrungen beruhen kann, oder abermals durch einen Faktor (Spitzenfaktor), welcher von der Anzahl der Versorger abhängt.

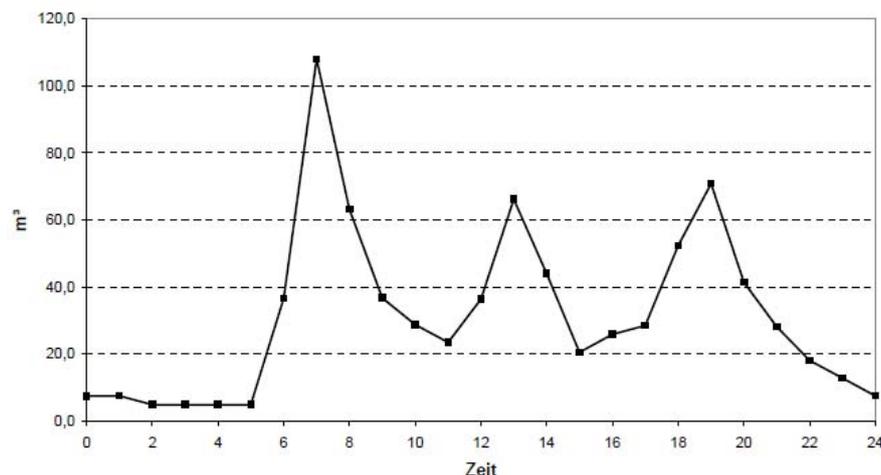


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Tagesganglinie (PERFLER, 2008)

Um den Bevölkerungswachstum bzw. -rückgang zu berücksichtigen, kann der errechnete Stundenbedarf lt. ÖNORM B2538 Faktor 1,3 erhöht oder reduziert werden. Sollten keine Angaben bzgl. Entwicklung vorhanden sein, wird jener der Norm herangezogen.

Zusammenfassend ist in Abbildung 2 ein Fließschema (stark vereinfacht) des oben beschriebenen Vorganges dargestellt. Es soll dargestellt werden, dass vom „Großem ins Kleine“ (Jahr zu Stunde) gerechnet werden muss.



Abbildung 2: Schemadarstellung des Verlaufs einer Verbrauchsrechnung

### 3.1.2 Aufteilung Personenbedarf

Der Verbrauch an Trinkwasser einer Person variiert je nach Tageszeit sehr stark. Zu Beginn des Tages ist der Verbrauch durch Duschen, WC usw. sehr hoch. Danach folgt ein Abfall des Verbrauchs, bis zu Mittag die nächste Spitze erreicht wird, diesmal bedingt durch Wasser, welches beispielsweise benötigt wird, um das Mittagessen zuzubereiten. Gegen Abend, sprich, nachdem der Arbeitstag vorbei ist, kommt es abermals zu einer Erhöhung des Verbrauchs. In Abbildung 1 sind die angesprochenen Verbrauchsspitzen erkennbar.

Der Tageswasserbedarf setzt sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen (NEUNTEUFEL, et al., 2010):

- Duschen 28%
- WC 22%
- Waschmaschine 18%
- Wasserhahn Küche 15%

Die restlichen Anteile sind kleiner 10% und setzen sich aus Badewanne, Geschirrspüler, Wasserhahn Bad, Verlusten und sonstigem nichtzuordenbarem Verbrauch zusammen. Diese Werte sind ein Durchschnitt aus Australien, Europa und den USA. Von Haushalt zu Haushalt gibt es hier große Schwankungen und es ist schwer, eine allgemeingültige Angabe zu geben. Absolut gesehen ergibt sich ein durchschnittlicher Pro-Kopf-Verbrauch für Europa von 118l/Person und Tag (NEUNTEUFEL, et al., 2010).

Zum Vergleich der oben zitierten Untersuchung nach NEUNTEUFEL et al. (2010) sind in Tabelle 3 einwohnerspezifische Verbrauchsdaten der DVGW W 410 angeführt.

Tabelle 3: Einwohnerspezifischer Trinkwasserbedarf (DVGW, 2008)

	<b>Bereich</b>	<b>Nach DVGW 410 in l/EW Tag</b>	<b>Nach DVGW W 410 in %</b>
Baden, Duschen, Körperpflege	20 bis 45	43	36
Toilettenspülung	20 bis 40	32	27
Wäschewaschen	10 bis 20	15	12
Geschirrspülen	3 bis 15	7	6
Raumreinigung, Autopflege, Garten	5 bis 10	7	6
Trinken und Essen	4 bis 10	5	4
Kleingewerbe	5 bis 20	11	9
	67 bis 160	120	

Trotz Unterschieden von bis zu 9% ist sowohl nach DVGW W 410 (2008) als auch nach NEUNTEUFEL et al. (2010) dieselbe Abstufung erkennbar.

Abgesehen von den persönlichen Präferenzen wird der tägliche Konsum an Trinkwasser durch folgende Einflussfaktoren beeinflusst (NEUNTEUFEL, et al., 2010):

- Demografische Entwicklung
- Politische Entscheidung
- Wirtschaftliche Entwicklung
- Technische Entwicklung
- Anschlussgrad und Eigenversorgung

- Wohnform, Bevölkerungsdichte und Urbanität
- Größe des Versorgungsgebietes / Spitzenfaktoren
- Verbraucherverhalten
- Bildung
- Wasserpreis und Einkommen
- Ausstattung und Lebensstandard
- Berufstätigkeit und Freizeitverhalten
- Temperatur und Sonneneinstrahlung
- Niederschläge und Trockenperioden
- Wettervorhersage
- Haushaltsgröße und Altersstruktur

Da ein wesentlicher Teil der Arbeit die vertiefte Analyse von Wasserverbrauchsdaten ist, wird der Punkt „Haushaltsgröße und Altersstruktur“ genauer erläutert.

Bezüglich Alter gibt es in der Literatur keine einheitliche Meinung. Die meisten Untersuchungen deuten darauf hin, dass mit zunehmendem Alter der Wasserverbrauch steigt (NEUNTEUFEL, et al., 2010).

Im Gegenteil zur Altersstruktur lässt sich bei der Haushaltsgröße eine Aussage treffen. Der Pro-Kopf-Verbrauch wird umso kleiner, je mehr Personen in einem Haushalt leben. In Hessen ergibt sich für einen 1-Personen-HH ein Pro-Kopf-Verbrauch von 150l/Person und Tag, während in einem 5-Personen-HH pro Kopf nur noch 100l benötigt werden (NEUNTEUFEL, et al., 2010).

### 3.1.3 Metermengenzahl

Zur Unterscheidung von Groß- und Kleinverbrauchern kann die Metermengenzahl herangezogen werden. Dabei wird unter einem Kleinverbraucher jener Verbraucher verstanden, welcher flächendeckend über das Netz angenommen wird, während es bei den Großverbrauchern zu einer punktuellen Entnahme kommt. Diese Kennzahl errechnet sich wie folgt (PERFLER, 2008):

$$m = \frac{Q_{KV}}{\text{Rohrlänge}} \text{ in m}^3/\text{m}$$

Die Metermengenzahl wird dann verwendet, wenn von einem Versorgungsgebiet keine geografische Verteilung der Verbraucher vorhanden ist. Es ist also nur die Gesamteinwohneranzahl bekannt. Sind Daten über die geografische Einwohnerverteilung vorhanden, ist ein Anwenden der Metermengenzahl nicht notwendig.

### 3.1.4 Großverbraucher

Großverbraucher, beispielsweise Gewerbe, Industrie sowie Tourismus, zeichnen sich durch die punktuelle Entnahme aus. In den letzten Jahren ist der Verbrauch durch die steigenden Ver- sowie Entsorgungspreise sowie die Umstellung der Produktion (Kreislaufführung) stetig gesunken (NEUNTEUFEL, et al., 2010).

Grundsätzlich ist es aufgrund der zeitweise erheblichen Schwankungen im Verbrauch sehr schwer, allgemeingültige Aussagen über die Größe des Verbrauchs zu nennen (DVGW, 2008). Ein kleiner Auszug an Werten ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Richtwerte für den Verbrauch von Großverbrauchern (DVGW, 2008)

Verwendung	Bedarf in l
Verwaltungsgebäude und Bürohäuser je Beschäftigtem und Tag	20 bis 50 (70)
Friseure je Beschäftigtem und Tag	250 bis 380
Friseur je Kunde und Tag	20 bis 52
Hotels je Bett und Tag	100 bis 400
Gaststätten je Mahlzeit und Tag	15 bis 20
Bäcker je kg Mehl und Tag	0,55 bis 0,75

Neben der wirtschaftlichen Entwicklung, welche den Verbrauch von Industrie, Gewerbe und Tourismus maßgebend beeinflusst, sind folgende Faktoren für die Menge an benötigtem Wasser ausschlaggebend (NEUNTEUFEL, et al., 2010):

- Demografische Entwicklung
- Politische Entscheidungen
- Technische Entwicklung
- Anschlussgrad / Eigenversorgung
- Industriedichte / Art
- Verbraucherverhalten
- Wasserpreis
- Temperatur und Sonneneinstrahlung
- Niederschläge / Trockenperioden
- Wettervorhersage

### 3.1.5 Zusammenfassung

Tabelle 5 fasst Berechnungsmethoden für Versorgungsnetze zusammen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Versorgungsnetz-Berechnungsmöglichkeiten

	(1) Übliche Vorgangsweise	(2) Erweiterte Vorgangsweise
<b>Allgemein</b>	siehe Kapitel 3.1.1 - historisch oft händisch durchgeführt, vor allem für kleine Netze	in der Arbeit verwendet - PC-basiert - hydraulische Modellierung und GIS-kombiniert eingesetzt
<b>Bemessungswert</b>	Zukunftsbedarf wird ermittelt - i.d.R. 120l/Kopf und Tag angenommen - Tagesganglinie zufolge Messdaten oder Erfahrungen	- vertiefte Verbrauchsanalyse vergangener Jahre und mit Meldedaten verknüpft - Pro-Kopf-Verbrauch nach Alter, Haushaltsgröße und Haushaltstyp
<b>Verbrauchs-Zuweisung</b>	- erfolgt mittels Meternmengenanzahl; Aufteilung der KV über das Netz; - Großverbraucher werden punktuell berücksichtigt	- geografische Verteilung berücksichtigt durch die Anwendung von GIS zur Verbrauchszuweisung (siehe Kapitel 3.3.3)

In der Arbeit werden beide Wege angewandt und die Ergebnisse (Druck und Fließgeschwindigkeit) miteinander verglichen.

### 3.2 Geoinformationssysteme

#### 3.2.1 Historische Entwicklung

Erstmals wurden Geoinformationssysteme in den 1960er-Jahren in Kanada (Canada Geographic Information System) von Tomlin entwickelt, welche zur Bearbeitung der Landaufnahme Kanadas dienten (DE LANGE, 2013). Vor knapp 50 Jahren war es nicht wirtschaftlich, Landinformation aufzunehmen und mittels Computersystemen zu bearbeiten oder darzustellen, der Kostenaufwand stand in keiner Relation zum Ergebnis, welches mittels GIS erzielt wurde. Erst mit fortschreitender Technologie des Computer-Sektors wurde in den 1980er-Jahren die Verwendung von Geoinformationssystemen rentabel, und heute ist es aufgrund der Computerleistungen (Arbeitsspeicher) und der vorhandenen Ein- und Ausgabegeräte (Scanner, Plotter) kein Problem mehr, ein Geoinformationssystem auf dem privaten Computer zu verwenden (GOODCHILD & PALLADINO, 1995).

#### 3.2.2 Was ist GIS?

Die Abkürzung GIS steht für **G**eoinformationssystem, was neben den Bezeichnungen „Geografisches Informationssystem“ und „Geographic bzw. Geographical Information System“ die gängigste Bezeichnung ist (DE LANGE, 2013). Unter einem GIS wird ein rechnergestütztes System bestehend aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen (HSDA-Modell) verstanden, welches zum Ziel hat, digitale Daten mit Raumbezug zu erfassen, welche danach gespeichert, reorganisiert, modernisiert, analysiert sowie alphanumerisch und grafisch dargestellt werden (SCHNEIDER, 2010). Des Weiteren wird ein GIS neben dem HSDA-Modell durch ein EVAP-Modell definiert. EVAP bedeutet: **E**rfassung von Geodaten (z.B. Vektor- oder Rastermodell), **V**erwaltung von Topologie-, Geometrie- sowie Sachdaten (Zuweisen von Koordinatensystemen, Bearbeiten von Grundstücken etc.), **A**nalyse von Daten (Abfragen erstellen, Verschneidungswerkzeuge etc.) und **P**räsentation von Geoobjekten am Monitor sowie auf dem Papier (DE LANGE, 2013). Die erfassten Geodaten werden in Form von Layern im Geoinformationssystem abgelegt. In Abbildung 3 ist ein Schema dargestellt, welches die Struktur innerhalb des GIS näher erläutern soll. Einzelne Layer können dabei angezeigt oder ausgeblendet werden, somit kann der Bearbeiter je nach Bedarf eine optimale Darstellung erreichen.

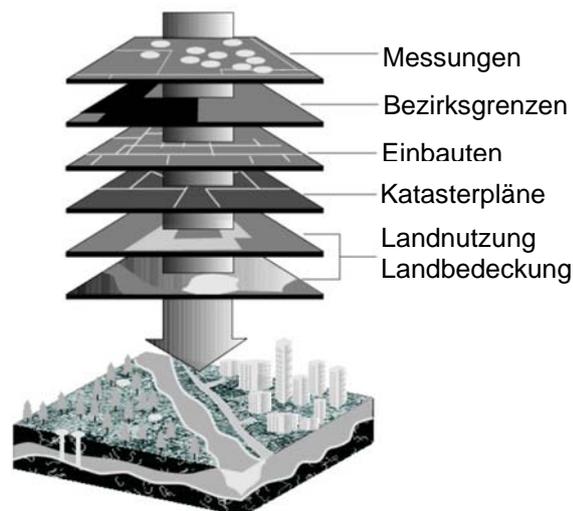


Abbildung 3: Layerstruktur in einem Geoinformationssystem (WALSKI, et al., 2003)

In Geoinformationssystemen werden Raumdaten aus der Wirklichkeit abgebildet. Zur besseren Vorstellung über die Anwendungsmöglichkeiten eines GIS sind nachfolgend Schlüsselfragen, welche mittels GIS beantwortet werden können, aufgelistet (GOODCHILD & PALLADINO, 1995):

- Wo befindet sich Österreich?
- Was ist der Name dieser Stadt?
- Was ist die schnellste Route von A nach B?
- Sollte in diesem Fluss der HQ 100 überschritten werden, welche Gebiete sind dann von der Überschwemmung betroffen?
- Wo und in welcher Tiefe sind Leitungen verlegt?
- ....

Anhand der Fragen wird klar, dass es eine Vielzahl von Anwendungsschwerpunkten gibt. Geoinformation wird nicht nur in der Raumplanung bzw. Landaufnahme verwendet, sie findet unter anderem Anwendung in Themengebieten wie: Umwelt und Naturschutz, Ver- und Entsorgung, Telekommunikation, Auskunftssystemen, Marketing, Logistik, Photogrammetrie u.v.m. (HARZER, 2012).

### 3.2.3 Softwareanbieter und Programme

Nach eigenen Angaben ist der GIS-Report der führende Bericht im deutschsprachigen Raum, welcher eine detaillierte Übersicht sowohl über Softwareanbieter als auch über Programme listet (HARZER, 2012). In Tabelle 6 sind auszugsweise Softwareanbieter sowie Programme (meist handelt es sich dabei um ganze Programmpakete) gelistet, welche für verschiedene Anwendungen optimiert sind. Nähere Informationen werden im Zuge dieser Arbeit nicht angeführt, diese sind beim jeweiligen Anbieter zu erhalten bzw. dem GIS-Report 2012/13 zu entnehmen.

Tabelle 6: Auszugsweise Auflistung der GIS-Softwareanbieter und -Programme

<b>Softwareanbieter</b>	<b>Programmpaket</b>
ESRI Geoinformatik GmbH	ArcGIS-Paket
Barthauer Software GmbH	BaSYS-Paket
GEOBYTE Software GmbH	Metropoly-Paket
Widemann Systeme GmbH	Mosklto-Paket
IAC GmbH	POLYGIS
GTA Geoinformatik GmbH	TrIdlcon-Paket

### 3.2.4 Anwendungsbeispiel

#### Leitungsinformationssystem (LIS)

Um ein Anwendungsbeispiel eines Geoinformationssystems in der Siedlungswasserwirtschaft zu geben, wird folgend kurz auf das ÖWAV RB 40 / ÖVGW RL W 104, welches Leitungsinformationssysteme regelt, eingegangen.

Bei Leitungsinformationssystemen handelt es sich um die „Erfassung, Abbildung und Dokumentation der Anlagenteile der Wasserversorgung ... [Sie] sind deshalb für den Betreiber bzw. Eigentümer der Anlage als auch für den Planer, insbesondere bei Erneuerungen bzw. Erweiterungen, ... von vordringlicher Bedeutung“ (persönliche Mitteilung HOHENAUER, 2013).

Des Weiteren erwähnt HOHENAUER (2013) in dieser Präsentation, das LIS dient den Betreibern für Planung, Bau und Instandhaltung sowie organisatorische Aufgaben wie:

- Lagenachweis der Leitungen, Einbauten und Anlagen
- Bestandsnachweis
- Nachweis der Netzzusammenhänge
- Koordination mit anderen Leitungsbetreibern
- Analyse und Ausgabe der Netz- und Anlagendaten
- Visualisierung der Indirekteinleiter
- Visualisierung des Zustands der Leitungen und Einbauten
- Datenexport für technische Prozesse und betriebswirtschaftliche Auswertungen

Entschließt sich ein Betreiber, ein Leitungsinformationssystem in die Versorgung zu integrieren, hilft es nicht, nur die oben gelisteten Aufgaben zu erledigen. Durch die Anwendung erhält man einen einheitlichen und zentralorganisierten Datenbestand. Es können Kosten eingespart werden unter anderem durch einen wirtschaftlicheren und zielgerichteten Mitteleinsatz. Und zuletzt wird das Image des Betreibers verbessert.

Abbildung 4 zeigt Objekte, welche in einem LIS dargestellt werden sollten. Details sind dabei mit den jeweiligen Softwarefirmen in Form eines Pflichtenheftes zu klären.

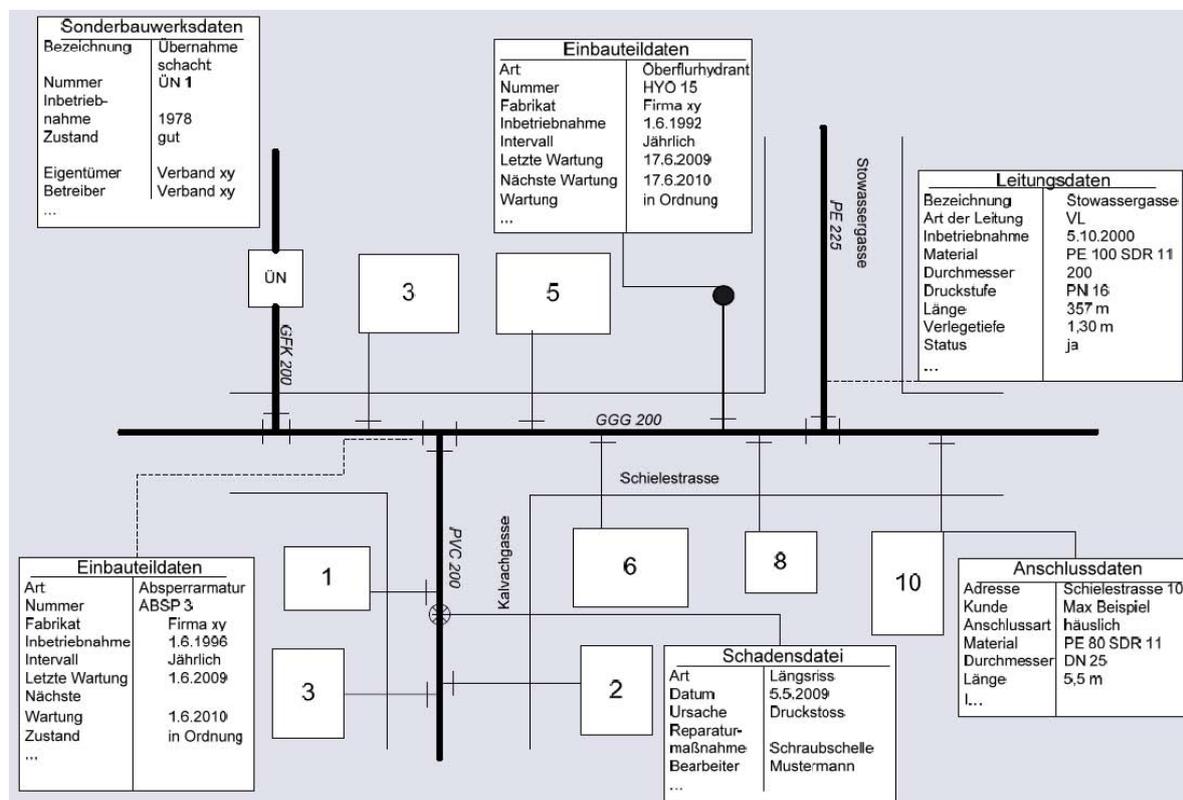


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung der Objekte mit Stammdaten für die Wasserversorgung (ÖWAV RB 40 / ÖVGW RL W 104, 2010)

### 3.3 Hydraulische Modellierung von Wasserversorgungsleitungen

#### 3.3.1 Wasserversorgung

Die Geschichte von Trinkwasserversorgungsnetzen geht mehrere tausend Jahre zurück. Folgend sind auszugsweise wichtige Meilensteine gelistet (WALSKI, et al., 2003):

- Erstmals wurde eine Trinkwasserleitung im Jahre 1500 v. C. auf Kreta verwendet, davor kamen nur offene Kanäle zum Einsatz.
- 1455 wurde in Deutschland die erste Gusseisenleitung verlegt.
- Die erste amerikanische Trinkwasserleitung wurde 1652 in Boston errichtet.
- Bernoulli publizierte sein Buch „Hydrodynamica“ im Jahre 1738, seine Gesetzmäßigkeiten sind bis heute ein wichtiger Bestandteil der Rohrleitungsdimensionierung.
- Amerikas erstes Rohrnetz wurde 1754 in Pennsylvania gebaut.
- Im 18. und 19. Jh. wurden bis heute gültige Dimensionierungsformeln publiziert (Hagen-Poiseuille; St. Venant; Darcy-Weisbach...).
- Osborne Reynolds fand eine Möglichkeit, um den Unterschied zwischen laminarer und turbulenter Strömung zu quantifizieren.
- 1921 wurden die ersten U.S.-Trinkwasser-Richtlinien veröffentlicht.
- Bereits 1950 gab es den ersten Netzwerk-Analyser, der statt Wasser elektrischen Strom zur Simulation von Wasserversorgungsnetzen verwendete.
- Danach erfolgt eine rasante Entwicklung von Kunststoffrohren sowie von Personal Computern. Durch den hohen Standard, was Rechnerleistung betrifft, ist es möglich, auch große Netze zu modellieren.

#### Komponenten:

Spricht man von einer Wasserversorgung, sind nicht nur Rohrleitungen gemeint, welche das Wasser mit möglichst geringen Verlusten zum Verbraucher transportieren. Vielmehr besteht ein Wasserversorgungssystem aus einer **Wassergewinnung** (z.B. Quelfassungen, Seewasserentnahme, Brunnen etc.), oftmals einer **Wasseraufbereitung** (z.B. Oxidation, Filtration, Desinfektion etc.), der **Wasserförderung** (z.B. Pumpen), einem Behälter zur **Wasserspeicherung** (z.B. Hochbehälter, Wasserturm) und der **Wasserverteilung** (z.B. Zubringerleitungen, Fernleitung, Rohrnetz) (MUTSCHMANN & STIMMELMAYR, 2011).

In Abbildung 5 sind die oben genannten Komponenten einer Wasserversorgungsanlage dargestellt, wobei es sich nicht um ein allgemeingültiges System handelt. Es soll lediglich als Schema dienen, um zu zeigen, wie sich ein Versorgungsnetz zusammensetzen kann.

Ohne näher auf die einzelnen Ausführungsmöglichkeiten einzugehen, wird nachfolgend auf das „Rohrnetz“ (siehe Abbildung 5 Nr. 1), das aus Hauptleitungen und Versorgungsleitungen besteht, eingegangen. Die Kenntnis der Netztypen ist von wesentlicher Bedeutung, wenn zur Dimensionierung eines Versorgungsnetzes keine Software vorhanden ist und diese händisch durchgeführt werden muss.

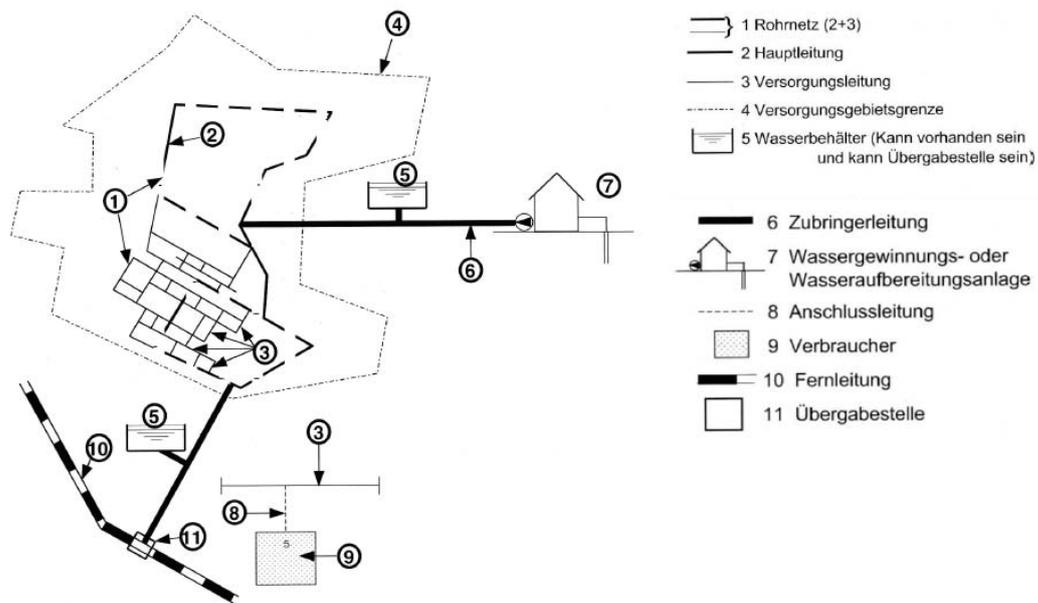


Abbildung 5: Komponenten eines Wasserversorgungssystems (DVGW, 2004)

Netztypen:

Es wird zwischen zwei verschiedenen Netztypen, je nach Rohranordnung und somit Fließmöglichkeit des Trinkwassers, unterschieden. Das Versorgungsnetz kann als Verästelungsnetz (Abbildung 6) oder Ringnetz (Abbildung 7) ausgeführt werden (Abbildungen nach KAINZ & KAUCH, (abgerufen 2014)).

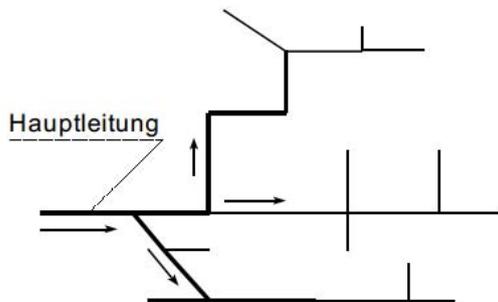


Abbildung 6: Beispiel eines Verästelungsnetzes

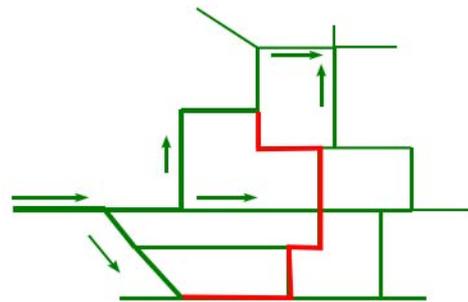


Abbildung 7: Beispiel eines Ringnetzes

Folgend sind Eigenschaften der Netztypen dargestellt (KLINGEL, abgerufen 2014). Dem Mehraufwand an Bau- bzw. Materialkosten steht der klare Vorteil der Versorgungssicherheit gegenüber. Das ist der Grund, warum versucht wird, Trinkwassernetze als Ringnetze auszuführen.

### Verästelungsnetz

- Jeder Verbraucher aus einer Richtung versorgt
- Transparenz
- Einfache Bemessung
- Einfache Mengenermittlung
- Vulnerabilität hoch

### Ringnetz

- Jeder Verbraucher aus mind. 2 Richtungen versorgt
- Versorgungssicherheit
- Guter Druckausgleich
- Geringere Rohrdurchmesser
- Bemessung aufwendig
- Fließrichtung nicht klar
- Mengenermittlung aufwendig

### 3.3.2 Hydraulische Modelle

Unter einem hydraulischen Modell wird die mathematische Annäherung der Eigenschaften des realen Trinkwassernetzes verstanden (WALSKI, et al., 2003). Vereinfacht ausgedrückt ist also ein Modell immer eine Abbildung der Wirklichkeit. Dabei ist es wichtig, dass die Eigenschaften des realen Systems bestmöglich in das Modell übernommen werden, um plausible Ergebnisse zu bekommen. Unter Eigenschaften wird dabei nicht nur Materialbezogenes verstanden wie der Rauigkeitswert in den Rohrleitungen, sondern auch Systemkomponenten (Knoten und Rohre).

Bevor auf die Komponenten eingegangen wird, ist es wichtig zu wissen, dass es verschiedene Modelltypen gibt (Abbildung 8) (ROBINSON, et al., 2012):

1. All-Pipes-Modell: Das Modell wird nicht vereinfacht, es hat dieselbe Genauigkeit wie das GIS-Modell.
2. Reduziertes All-Pipes-Modell: Knoten auf Rohren gleichen Durchmessers werden entfernt.
3. Selektion: Löschen oder Ausschließen von kleinen Rohrdurchmessern.
4. Reduktion und Selektion: Hydraulisch nicht signifikante Knoten entlang identer Rohre (gleicher Durchmesser, gleiches Material...) werden entfernt.

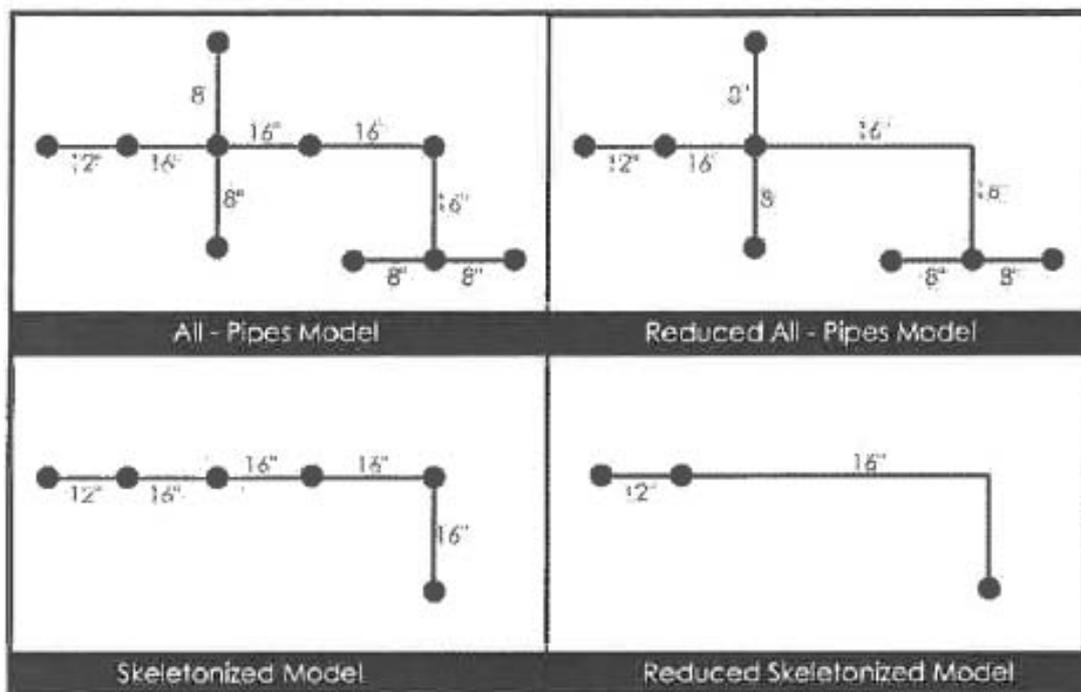


Abbildung 8: Unterschiedliche hydraulische Modelltypen

In Abbildung 8 lassen sich bereits sämtliche Modellkomponenten erkennen. Zur Beschreibung der Netzgegebenheiten werden somit nur Knoten und Verbindungen (Links) benötigt. In Tabelle 7 sind alle Komponenten, die ein hydraulisches Modell beinhalten kann, dargestellt. Weitere Informationen zu den Komponenten sind im Anhang 1 beschrieben.

Tabelle 7: Hauptkomponenten eines hydraulischen Modells (ROSSMAN, 2000)

Element	Typ	Verwendungszweck
Reservoir	Knoten	Stellt dem System Wasser zur Verfügung
Behälter	Knoten	Speichert Wasser für Verbrauchsspitzen
Knoten	Knoten	Entnahme oder Einspeisung von Wasser
Leitung	Verbindung	Transportiert Wasser im System
Pumpe	Knoten oder Verbindung	Erhöht die Energie des Wassers, um z.B. geodätische Höhenunterschiede zu überwinden
Steuerungs- armatur	Knoten oder Verbindung	Steuert Systemdruck oder Durchfluss

Um bei der Modellierung eines Netzes keine wesentlichen Punkte außer Acht zu lassen, sind in der Literatur 4 wesentliche Arbeitsschritte zur Modellierung definiert (KLINGEL, abgerufen 2014):

(1) Aufgabendefinition:

Im ersten Schritt der Modellerstellung muss festgelegt werden mit welchem Detailgrad und welcher Genauigkeit das hydraulische Modell erstellt werden soll. Dabei haben die Datengrundlage, die Datengüte sowie der Aufwand/Kosten einen wesentlichen Einfluss.

(2) Datenerhebung und Datenaufbereitung:

Geografische Daten spielen in der hydraulischen Modellierung eine wichtige Rolle. Neben der besseren Erkennbarkeit für Personen, welche mit der Modellierung nichts zu tun haben (z.B. Bürgermeister), ist vor allem der geografische Bezug wichtig.

Des Weiteren werden Systemdaten (Eigenschaften des Systems), Betriebsdaten (Steuerung) sowie Wasserverbrauchsdaten benötigt, um ein Modell aufbauen zu können.

(3) Modellerstellung:

Komponenten des realen Systems werden in Modellkomponenten übergeführt (siehe Tabelle 7). Neben den Komponenten werden wichtige Eigenschaften, Attribute genannt, hinzugefügt.

(4) Kalibrierung:

Es werden nicht messbare Parameter ermittelt und die Berechnungsergebnisse verifiziert sowie evaluiert. Gegebenenfalls muss das Modell überarbeitet werden.

Die Wichtigkeit der Modellierung im Planungsprozess ist unumstritten und wird durch folgende Punkte noch klarer (BOULOS, et al., 2006):

- Die Nutzung der vorhandenen Geräte (z.B. Pumpen) optimieren
- Reduktion der Betriebskosten
- Betriebsoptimierung sowie Verbesserung der Wasserqualität
- Optimierung des Kapitalaufwandes

Aus den oben genannten Punkten erkennt man, dass die Anwendung eines gewissenhaften Modells positive Auswirkungen sowohl auf die Wirtschaftlichkeit als auch auf die technische Ausführung eines Trinkwasserversorgungssystems hat.

Abschließend ist in Abbildung 9 ein Modell eines einfachen Trinkwasserversorgungsnetzes dargestellt, welches die Komponenten nochmals übersichtlich zeigt.

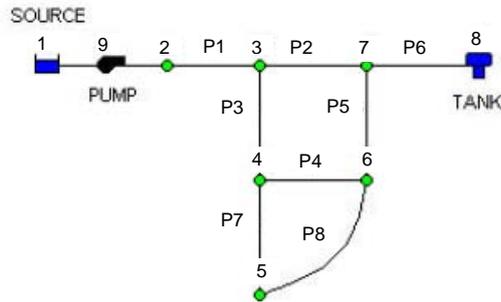


Abbildung 9: Einfaches Modell einer Wasserversorgung (ROSSMAN, 2000)

### 3.3.3 Verbrauchszuweisung

Sind für ein Versorgungsgebiet Wasserzählerdaten vorhanden, müssen diese dem Leitungsnetz bzw. dessen Knoten zugewiesen werden, da sich Wasserzähler nicht direkt am modellierten Versorgungsnetz befinden. Diese Verbrauchszuweisung kann mittels folgender Methoden erfolgen (WALSKI, et al., 2003):

Tabelle 8: Möglichkeiten der Verbrauchszuweisung

<p>● = CUSTOMER METER ○ = DEMAND NODE</p>	<p>● = CUSTOMER METER ○ = DEMAND NODE - - - = SERVICE POLYGON</p>
<p>Abbildung 10: Funktionsweise der Zuweisung mittels nächster Knoten</p>	<p>Abbildung 11: Funktionsweise der Zuweisung mittels Service Polygon</p>

#### (1) Nächster Knoten:

Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen, spielt dabei nur die Entfernung zwischen dem angenommenen Knotenpunkt (Wasserzähler) und dem Modellknoten eine Rolle. Unabhängig von der Leitungsführung wird der Verbrauch dem naheliegendsten Modellknoten zugewiesen. Diese Methode liefert zwar nicht so genaue Ergebnisse wie die anderen beiden, jedoch ist sie in der Anwendung einfach.

#### (2) Service Polygon:

Dabei handelt es sich um eine Polygon-zu-Punkt-Zuweisung. Sämtliche Verbrauchsdaten, welche innerhalb eines Service Polygons liegen, werden einem Modellknoten zugewiesen. Um eine eindeutige Zuweisung zu ermöglichen, hat jeder Modellknoten ein Service Polygon.

### 3.4 Verknüpfung von Geoinformationssystemen und hydraulischen Modellen

#### 3.4.1 Einleitung

In den Kapiteln 3.2 und 3.3 wurden die Grundlagen von Geoinformationssystemen und Rohrnetzmodellierungen beschrieben. Im nächsten und wohl auch wichtigsten Schritt sollen die Möglichkeiten, Vorteile und Problematiken einer Verbindung beider Themen dargestellt werden.

Erst durch den Fortschritt der Technik können Geoinformationssysteme in die hydraulische Modellierung integriert werden. Seit dem Jahr 2000 entwickelten sich Geoinformationssysteme als wichtiger Bestandteil der hydraulischen Modellierung. Davor wurden CAD-Datensätze als Visualisierung für die hydraulische Modellierung eingesetzt (MURRAY, 2009).

Doch gerade zu Beginn war es schwer, GIS in die Modellierung zu integrieren, zu unterschiedlich waren die Ziele. Zu Beginn wurden Geoinformationssysteme vor allem dazu verwendet, „Papierkarten“ zu ersetzen und zu digitalisieren, somit war es sehr wichtig, GIS-Datensätze zu finden, welche die nötige Information enthielten, um eine hydraulische Modellierung eines Trinkwasserversorgungsnetzes durchführen zu können (ROBINSON, et al., 2012). Des Weiteren halten ROBINSON et al. (2012) fest, dass es erst nach mehrstündiger Adaption der GIS-Daten möglich war, diese für die Modellierung zu verwenden. Um diesen Mehraufwand in Grenzen zu halten, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen GIS-Verwaltern und Modellierern erforderlich.

Vor der Idee, GIS direkt in die Planung und Modellierung von Wasserversorgungsnetzen einzubeziehen, wurde beides getrennt voneinander betrachtet. Dies führte zu nicht vernachlässigbaren Auswirkungen auf das Modell. GIS-Daten wurden typischerweise fortlaufend auf dem neuesten Stand gehalten, während sich das Aktualisieren des hydraulischen Modells in Grenzen hielt und oft nur alle paar Jahre durchgeführt wurde (ARMSTRONG, 2012). Im Falle einer GIS-Integration ergeben sich folgende Vorteile (WALSKI, et al., 2003):

- Zeiteinsparung bei der Modell-Konstruktion
- Möglichkeit zur Berücksichtigung von Landnutzungs-, demographischen und Überwachungsdaten zur besseren zukünftigen Verbrauchsbestimmung
- Visuelle, kartenbasierte Qualitätskontrolle der Modellinputs
- Kartenbasierte Darstellung der Modellergebnisse und Überlagerung mit anderen GIS-Layern

Folgend wird der Vorgang einer Integration eines Geoinformationssystems beschrieben, wobei sich im Zuge der Recherche ergeben hat, dass die Ausführungen nach WALSKI et al. (2003) und ARMSTRONG (2012) den Vorgang einer Integration am besten beschreiben. In Publikationen wird auf definierte Fallbeispiele aus der Praxis eingegangen. Das nächste Beispiel soll sowohl die theoretische als auch die praktische Integration eines Geoinformationssystems in die hydraulische Modellierung darstellen.

### 3.4.2 Vorteile einer GIS-integrierten Planung

Um eine erfolgreiche Integration eines GIS zu gewährleisten, ist der erste Schritt, eine gut strukturierte Datenbank zu erarbeiten, welche alle notwendigen Informationen für die Modellierung enthält. Nach ARMSTRONG (2012) sind 3 wesentliche Datengruppen für die Modellierung eines Trinkwasserversorgungsnetzes erforderlich:

1. Physische Daten: Diese Art der Daten spezifizieren die Hydraulik des Systems, beispielsweise Schächte, Pumpen und Rohre.
2. Verbrauch und Zufluss: Verbrauchsdaten mit geografischem Bezug und Wasserbereitstellung, in welcher Form auch immer (Brunnen, Behälters etc.).
3. Betriebsdaten: Wann schalten Pumpen ein bzw. aus, wie verhalten sich Einbauten? Sind Schieber offen oder geschlossen?

Wie eingangs erwähnt, sind diese Daten in einer Datenbank gespeichert, wobei in dieser Datenbank alle Informationen bzgl. des späteren Modells enthalten sein müssen. In folgender Tabelle ist eine Hilfestellung, wie die Datenbank im Geoinformationssystem aufgebaut sein kann, dargestellt. Des Weiteren sind die Modellkomponenten des Modells ersichtlich. In der Spalte rechts außen sind die Attribute der jeweiligen Feature-Klasse gelistet.

Tabelle 9: Struktur der Datenbank im Geoinformationssystem

GIS		Hydraulic model		Recommended GIS attributes
Feature class	Type	Feature class	Type	
Fittings, hydrants, and noncontrol valves	Point	Junctions	Point	ASSET_ID, INSTALL_DATE, RETIRE_DATE, ZONE, ELEVATION, FITTING_TYPE (SUBTYPE), EDIT_DATE, IN_GIS, IN_MODEL, OPERATIONAL (Y/N)
Control and boundary valves	Point	Valves	Point or line	ASSET_ID, INSTALL_DATE, RETIRE_DATE, FROM_ZONE, TO_ZONE, ELEVATION, DIAMETER, VALVE_FUNCTIONAL_TYPE (SUBTYPE), BODY_TYPE, EDIT_DATE, IN_GIS, IN_MODEL, OPERATIONAL (Y/N)
Pumps	Point	Pumps	Point or line	ASSET_ID, INSTALL_DATE, RETIRE_DATE, ZONE, ELEVATION, DIAMETER, EDIT_DATE, IN_GIS, IN_MODEL
Pipes	Line	Pipes	Line	ASSET_ID, INSTALL_DATE, RETIRE_DATE, ZONE, DIAMETER, MATERIAL, RELINING_DATE, RELINING_TYPE, FROM_NODE, TO_NODE, LENGTH, ROUGHNESS, EDIT_DATE, IN_GIS, IN_MODEL
Tanks and reservoirs	Point	Tanks and reservoirs	Point	ASSET_ID, NAME, INSTALL_DATE, RETIRE_DATE, ZONE, BOTTOM_ELEVATION, OVERFLOW ELEVATION, DIAMETER, VOLUME, EDIT_DATE, IN_GIS, IN_MODEL

Zusätzlich ist in Tabelle 9 erkennbar, dass es trotz Integration eines Geoinformationssystems in der Modellierung grundsätzlich 2 Modelle gibt: GIS (Modell 1) und hydraulisches Modell (Modell 2).

Modell 1, GIS, beinhaltet sämtliche Informationen wie Ventile, Schächte, Hydranten, service-shutoff etc., es können in einem Modell somit weit über tausend Knoten vorhanden sein. Diese Genauigkeit ist für den „hydraulischen Modellierer“ nicht notwendig und kann sogar problematisch sein (WALSKI, et al., 2003).

Um eine dem hydraulischen Modell (Modell 2) geeignete Genauigkeit zu erreichen, ist es notwendig, das im GIS dargestellte System zu reduzieren. Diese Reduktion kann auf verschiedenste Weise durchgeführt werden, es können beispielsweise Stichleitungen zu Hydranten entfernt werden oder auch Knoten, welche sich in einer Leitung mit gleichen Eigenschaften befinden. In Abbildung 12 ist diese Reduktion schematisch dargestellt.

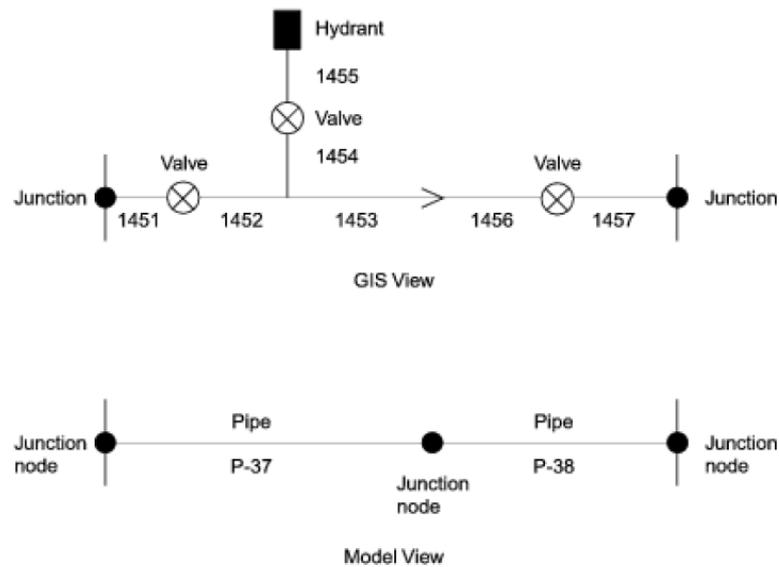


Abbildung 12: Reduktion des GIS-Modells zum hydraulischen Modell (WALSKI, et al., 2003)

Einen Sonderfall stellt das sogenannte „All-Pipe-Modell“ dar (siehe Abbildung 8). Dabei werden sämtliche GIS-Komponenten in die Modellierung übernommen. Durch den Fortschritt der Technik und die immer leistungsfähiger werdenden PCs ist dieser Modelltyp ebenfalls möglich.

Beim Export von GIS-Daten in das Modell können sich vor allem bei unsauber ausgeführten Aufnahmen Probleme ergeben. ARMSTRONG (2012) stellt häufig auftretende Fehler dar (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Häufige Fehler beim Exportieren vom GIS zu einem hydraulischen Modell

Beschreibung	Darstellung
Keine „freien“ Knoten	
Keine doppelten Knoten	
Kein Überlappen zweier Rohre	
Keine Selbstüberlappung eines Rohres	
Kein Selbstüberschneiden eines Rohres	
Bei Kreuzung müssen Rohre getrennt werden	
An Rohrenden müssen sich Knoten befinden	

Neben den oben beschriebenen Punkten ergibt sich nach ARMSTRONG (2012) folgendes Schema, um ein Geoinformationssystem praktisch zu integrieren:

1. Die Ziele der zusammenarbeitenden Personen sind sehr unterschiedlich. Es muss zu Beginn festgelegt werden, welche Inhalte für das GIS wichtig sind und wie diese in das Modell übernommen werden, um spätere Konflikte zu vermeiden. Tabelle 12 verdeutlicht diesen Prozess:

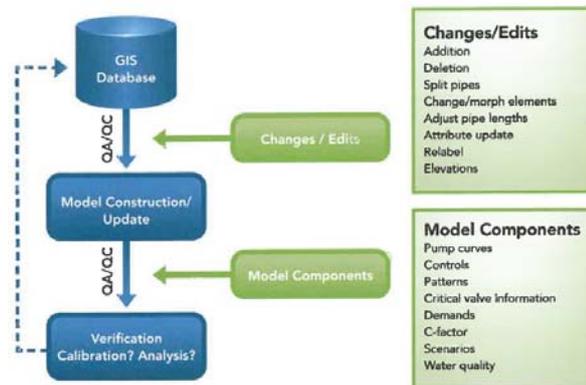


Abbildung 13: Datenbeschaffung vom GIS zum Modell

2. Jedes Modellelement im GIS, welches in das Modell übernommen wird, muss eine eindeutige ID besitzen. Diese darf nicht doppelt oder neu vergeben werden. Sollte dieses Element gelöscht werden (Rückbau einer Leitung), ist diese ID „verloren“, eine Wiedervergabe ist auf alle Fälle zu vermeiden.
3. Eine der wohl schwierigsten Aufgaben ist, zu entscheiden, welche GIS-Daten in das Modell übernommen werden und welche nicht. Dies lässt sich nicht verallgemeinern und ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Ein entsprechendes Attributfeld in der GIS-Datenbank, z.B. IN\_GIS mit Ja oder Nein als Antwort, bzw. IN\_MODEL, ist eine einfache Möglichkeit, um dieses Problem zu lösen.
4. Für die Berechnung von wesentlicher Bedeutung ist die Höhenlage des Systems. Um Unstimmigkeiten zwischen Modell und realem System zu vermeiden, muss beim Importieren der Höhen vor allem auf die Auflösung geachtet werden. Werden mehrere Quellen verwendet, muss auf unterschiedliche Koordinatensysteme geachtet werden.
5. Die Konnektivität des Systems muss gewährleistet sein. Deshalb sind die in Tabelle 10 dargestellten Fehler unbedingt zu vermeiden. Sollten Fehler in der Digitalisierung vorliegen, kann dies zu enormen Problemen in der Modellierung führen.
6. Es gibt Einrichtungen im Geoinformationssystem, welche zu wenig Information besitzen. Beispielsweise werden Pumpstationen, Wasserbehälter und div. Ventile nur als Punkt im GIS dargestellt. Weiterführende Information, welche für die Modellierung benötigt wird, ist im Vorfeld unbedingt festzulegen.
7. Abschließend noch einige wichtige Punkte, die zu berücksichtigen sind (auf eine Erläuterung wird aufgrund des selbstsprechenden Titels verzichtet):
  - a. Um das System aktuell zu halten, sind neue Daten so schnell wie möglich hinzuzufügen
  - b. Diverse Einrichtungen sind abhängig vom Szenario aktiv oder inaktiv
  - c. Der Wasserverbrauch soll so genau wie möglich berücksichtigt werden etc.

Eine erfolgreiche Integration kann nur stattfinden, wenn alle Beteiligten eng zusammenarbeiten. Modellierer und GIS-Bearbeiter müssen in engem Kontakt stehen und sich mit den Betreibern des Netzes absprechen, um deren Bedürfnisse zu erfüllen. Die Dokumentation einer erfolgreichen GIS-Integration in Quito (Ecuador) erläutert die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von Sachbearbeitern, Versorgern sowie Auftraggebern (FLORES, 2000).

### 3.5 Betriebsüberwachung – optimale Sensorplatzierung im System

#### 3.5.1 Einleitung

Anfang des Jahres 2014 betrug die Weltbevölkerung ca. 7,2 Mrd. Personen, davon haben noch immer knapp 770 Mio. kein sauberes Trinkwasser. Die schlechte Wasserqualität bzw. Wasserversorgung sowie mangelnde Hygiene sind schuld daran, dass täglich mehrere tausend Menschen erkranken, wenn nicht sogar sterben (UNICEF, abgerufen 2014). Eine sichere Trinkwasserversorgung in quantitativer sowie in qualitativer Hinsicht ist lebensnotwendig.

Aus diesem Grund ist es wichtig, bestehende Systeme zu überwachen, um vor allem die Qualität des Trinkwassers sicherzustellen. Dies kann mit einem Monitoring erreicht werden, wo Sensoren verschiedenste Arten von Kontaminationen erkennen und diese dem Betreiber melden, welcher die entsprechenden Maßnahmen einleiten kann.

Dieses Kapitel beschreibt die Belastungen, welche in einem Versorgungsnetz auftreten können, sowie deren Gründe. Des Weiteren wird kurz auf die Möglichkeiten der Erkennung eingegangen, also welche Sensoren in der Trinkwasserversorgung üblicherweise verwendet werden.

#### 3.5.2 Versorgungsnetze und Kontaminationsarten

Ein Trinkwasserversorgungsnetz besteht aus mehreren Komponenten (siehe Kapitel 3.3). In Abbildung 14 ist eine Übersicht dargestellt, um zu verdeutlichen, dass eine Kontamination an verschiedenen Stellen in das System eingebracht werden kann.

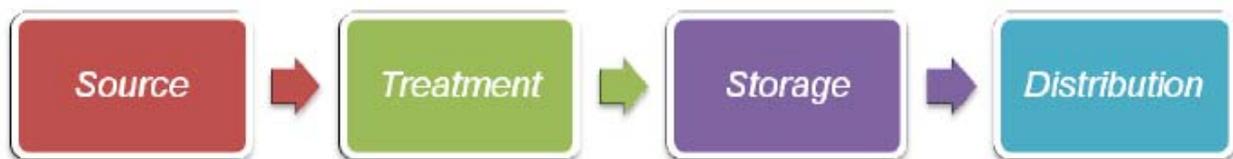


Abbildung 14: Bestandteile Trinkwasserversorgung (CLARK, et al., 2011)

Eine umfangreiche Betriebsüberwachung kann also nur gewährleistet sein, wenn jede dieser Komponenten ausreichend überwacht wird. Jedes dieser Elemente stellt eine Herausforderung in der Sicherheitsplanung von Versorgungsnetzen dar, wie beispielsweise den Abnehmern das Wasser mit ausreichend Druck zur Verfügung zu stellen, die biologischen und chemischen Qualitätsanforderungen zu erfüllen und somit das Vertrauen der Verbraucher zu behalten (WALSKI, et al., 2003).

Im Weiteren wird nicht auf ein Monitoring der Wasserressource, des Speichers oder der Aufbereitung eingegangen, da es sich meist um eine punktuelle Überwachung handelt. Auch halten MURRAY et al. (2010) fest, dass einer Umfrage zufolge für 75% der befragten Wasser-Spezialisten das Versorgungsnetz am anfälligsten ist.

Ein Trinkwasserversorgungsnetz kann auf verschiedenste Arten verunreinigt werden, sei es chemisch, biologisch, physikalisch oder als Folge von Naturkatastrophen, terroristischen Anschlägen oder durch fahrlässiges Handeln von Personen.

Zu Beginn sind Grenzwerte (Parameter), welche ein Trinkwasser nicht über- bzw. unterschritten soll, dargestellt. Geregelt werden diese Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung. In folgenden Tabellen sind auszugsweise einige Stoffe, sowohl chemische als auch biologische, dargestellt. Wesentlich ist dabei, dass sich Trinkwasser innerhalb dieser definierten Grenzwerte befinden muss. Ist dies nicht der Fall, müssen die Verbraucher sofort gewarnt werden. Der Betreiber hat notwendige Maßnahmen zu ergreifen, um die ursprüngliche, der Norm entsprechende Qualität wiederherzustellen. Zusätzliche Bestimmungen sind im Österreichischen Lebensmittelbuch, III. Auflage, Kapitel B 1 „Trinkwasser“ angeführt.

## Allgemeine Grundlagen

Die Grenzwerte lassen sich aufteilen in mikrobiologische und chemische Parameter (Tabelle 11 und Tabelle 12). Des Weiteren legt der Gesetzgeber fest, ob es sich um Parameterwerte handelt oder Indikatorparameter (Tabelle 13). Letztere dienen lediglich der Überwachung, wobei das Wasser bei Überschreitung der Werte die Bezeichnung „Trinkwasser“ im Sinne der Trinkwasserverordnung nicht verliert. Es zeigt lediglich, dass ein Handlungsbedarf besteht. Werden jedoch Parameterwerte nicht eingehalten, ist der zuständigen Behörde in jedem Fall Bericht zu erstatten.

Tabelle 11: Mikrobiologische Parameter für desinfiziertes Wasser (Trinkwasserverordnung TWV, abgerufen 2014)

<i>Parameter</i>	<i>Parameterwert (Anzahl/100 ml)</i>
<i>Escherichia coli</i>	0
<i>Enterokokken</i>	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0

Tabelle 12: Chemische Parameter (Trinkwasserverordnung TWV, abgerufen 2014)

<i>Parameter</i>	<i>Parameterwert</i>	<i>Einheit</i>
<i>Acrylamid</i>	0,10	µg/l
<i>Antimon</i>	5,0	µg/l
<i>Arsen</i>	10	µg/l
<i>Benzol</i>	1,0	µg/l
<i>Benzo-(a)-pyren</i>	0,010	µg/l
<i>Blei</i>	10	µg/l
<i>Bor</i>	1,0	Mg/l
<i>Bromat</i>	10	µg/l
<i>Cadmium</i>	5,0	µg/l
<i>Chrom</i>	50	µg/l
<i>Cyanid</i>	50	µg/l
<i>1,2-Dichlorethan</i>	3,0	µg/l
<i>Epichlorhydrin</i>	0,10	µg/l
<i>Fluorid</i>	1,5	Mg/l
<i>Kupfer</i>	2,0	Mg/l
<i>Nickel</i>	20	µg/l
<i>Nitrat</i>	50	Mg/l
<i>Nitrit</i>	0,1	Mg/l
<i>Pestizide</i>	0,10	µg/l
<i>Pestizide insgesamt</i>	0,50	µg/l
<i>Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	0,10	µg/l
<i>Quecksilber</i>	1,0	µg/l
<i>Selen</i>	10	µg/l
<i>Tetra- und Trichlorethen</i>	10	µg/l
<i>Trihalomethane insgesamt</i>	30	µg/l
<i>Vinylchlorid</i>	0,50	µg/l

Tabelle 13: Mikrobiologische Parameter mit Indikatorfunktion für desinfiziertes Wasser (Trinkwasserverordnung TWV, abgerufen 2014)

Indikatorparameter	Wert (Anzahl/ml)
KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22°C Bebrütungstemperatur)	100
KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37°C Bebrütungstemperatur)	20
Indikatorparameter	Wert (Anzahl/100 ml)
Coliforme Bakterien	0
<i>Clostridium perfringens</i> (einschließlich Sporen) (Anmerkung 1)	0

Ein Überschreiten dieser Grenzwerte hat nicht zwingend einen Krankheitsfall oder sogar letale Auswirkungen auf die Verbraucher.

Der Gesetzgeber erstellte die Grenzwerte nach dem Vorsorgeprinzip, sprich die Werte sollen so klein wie möglich sein – Minimierungsgebot. Die Grenzwerte beruhen im Prinzip auf dem technisch Machbaren, also in welcher Genauigkeit können Stoffe gemessen werden, und ist dieser Aufwand (Kosten) sozial akzeptabel? Um eine Aussage über das Risiko zu erhalten, veröffentlicht die WHO risikobezogene Grenzwerte. Dabei gibt die WHO unter anderem den TDI an, was der tolerierbaren täglichen Einnahme entspricht (FÜRHACKER, 2013).

Durch den Einsatz von Sensoren soll die Wasserqualität für den Verbraucher sichergestellt werden. Unzureichende Wasserqualität, beispielsweise klimatisch bedingt, durch menschliches Versagen oder Netzbrechen im Betriebsfall lässt sich durch optimierte Platzierung von Sensoren rasch beheben. Die tägliche Sicherstellung der Wasserqualität ist der wichtigste Grund für den Einsatz von Sensoren.

Ein weiterer Grund, welcher zur Kontamination von Trinkwasserversorgungsleitungen führen kann, sind Naturkatastrophen. Sensoren spielen bei Ereignissen wie beispielsweise Hurrikan Katrina, welcher große Teile von New Orleans vernichtete, eine untergeordnete Rolle. Es soll nur kurz erwähnt sein, dass in solchen Fällen ein Sicherheitsplan, welcher die Vorgehensweise bei einem solchen Ereignis regelt, vorteilhaft ist. Aus diesem Grund wurde von der EPA (2011) ein Dokument veröffentlicht, welches die Erstellung eines Notfallplans in Bezug auf die Bereitstellung von Trinkwasser beschreibt (CLARK, et al., 2011).

Zuletzt sind jene Vorfälle zu nennen, welche auf Unfälle und menschliches Versagen zurückzuführen sind. Auch diese haben in der Vergangenheit zu Krankheiten und sogar Todesfällen geführt. WALSKI et al. listen dabei folgende Beispiele:

- E.coli-Kontamination in Walkertown, Ontario (Kanada)
- Cholera-Kontamination in Peru
- Cryptosporidium-Kontamination in Milwaukee, Wisconsin (USA)
- Salmonellen-Kontamination in Gideo, Missouri (USA)

Ein weiterer Vorfall aus dem Jahr 2012 in Korneuburg, Niederösterreich, wo es durch ein Pharmaunternehmen zu einer Grundwasserverunreinigung kam, zeigt nochmals die Wichtigkeit von Trinkwasserüberwachungen. In diesem konkreten Fall wurde das Grundwasser durch folgende Pflanzenschutzmittel belastet: Clopyralid, Thiamethoxam, Abbauprodukte von Thiamethoxam sowie Florasulam und Flumetsulam (WRUSS & ATANASOFF-KARDJALIEFF, 2014).

Seit dem Anschlag im Jahr 2001 auf das WTC ist die Befürchtung eines terroristischen Aktes auf ein Trinkwasserversorgungssystem drastisch gestiegen (OSTFELD, et al., 2008). Angriffe auf Trinkwasserversorgungsleitungen gibt es nicht erst seit einigen Jahren. Es gibt einige Dokumentationen über längst vergangene Kontaminationen wie: Cyanid-Angriffe aus dem antiken Rom, Tierkadaver, welche während des Bürgerkriegs in Brunnen geworfen wurden, sowie Anthrax-, Cholera- und Abwasser-Verunreinigungen in Europa und Asien während des Zweiten Weltkriegs (WALSKI, et al., 2003). Natürlich ist klar, dass es sich bei solch extremen

Ereignissen nicht um eine ständig auftretende Problematik handelt, jedoch müssen terroristische Angriffe berücksichtigt werden, da eine extrem hohe Gefährdung von Personen und Umwelt vorliegt (MURRAY, et al., 2010). Wichtig ist jedoch, dass Sensornetzwerke nicht zufolge von Terrorismus geplant werden, da die oben genannten Gründe viel wahrscheinlicher sind. Der wohl beste Schutz vor einer solchen Bedrohung ist, das Trinkwasserversorgungsnetz hoch redundant, sprich mit mehreren Versorgungswegen pro Verbraucher auszuführen, sowie die Versorgung nicht von einem Speicher abhängig zu machen (DEININGER & MEIER, 2000).

Abschließend ist festzuhalten, dass sich Sensoren am meisten bei Vorfällen bewähren, welche durch menschliches Versagen verursacht werden. Welche speziellen Stoffe im Wesentlichen in dem betrachteten Einzugsgebiet zur Kontamination führen könnten, ist von Fall zu Fall unterschiedlich. Deshalb ist es wichtig, bereits in der Planung festzustellen, welche Typen von Sensoren am besten geeignet sind.

### 3.5.3 Sensortypen

Die in Tabelle 11 bis Tabelle 13 gelisteten Grenzwerte sind bei Analysen nach der Trinkwasserverordnung in festgelegten Intervallen zu überprüfen. Für ein Monitoring eines Trinkwassernetzes werden nach Auskunft eines Sensorherstellers folgende Sensoren mit abnehmender Nachfrage eingesetzt:

- pH-Wert
- Leitfähigkeitsmessung
- Gelöster Sauerstoff
- Chlor
- Redox-Potential
- Chemischer Sauerstoffbedarf
- Ammonium

Diese Sensortypen decken sich auch mit Angaben der EPA (2011), welche unter anderem listet: Chlor, gesamter organischer Kohlenstoff (TOC), pH-Wert, Leitfähigkeit, Redox-Potential und Trübung. In der Regel werden nicht alle Parameter mit einem Sensor gemessen, Endress+Hauser hat nach telefonischer Auskunft, aufgrund zu geringer Verkaufszahlen, Multiparametersonden bereits aus dem Programm genommen. Jedoch finden sich auf anderen Hersteller-Seiten, z.B. S-can, sehr wohl Multiparametersonden. Welche Sensoren im Einzelfall eingesetzt werden, ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich, eine exakte Aussage ist nicht möglich.

In folgenden Abbildungen sind 2 Sensoren verschiedener Anbieter dargestellt.

	
Abbildung 15: Spectro::lyser – Sensor der Firma s:can	Abbildung 16: Memosens – Sensor der Firma Endress+Hauser

Die oben abgebildeten Sensoren sind statische Sensoren, diese werden also mittels Einbauarmaturen in Rohre, Behälter usw. verbaut. Untersuchungen nach PERELMAN et al. (2013) haben gezeigt, dass mittels des Einsatzes von mobilen Sensoren (beispielsweise

„SmartBall“ der Firma pureTechnologies) die Leistungsfähigkeit eines Sensornetzwerkes gesteigert wird. Werden Kontaminationen erkannt, wird ein Signal an einen Receiver gesendet, welcher ein weiteres Signal an einen Betriebscomputer sendet. Mobile Sensoren eignen sich aufgrund der teilweise unvorhersehbaren, und je nach Betrieb sich ändernden Fließwege nicht für den alleinigen Einsatz, als Ergänzung eines stationären Netzes aber sehr wohl. In Abbildung 17 ist das Funktionsprinzip solch mobiler Sensoren dargestellt.

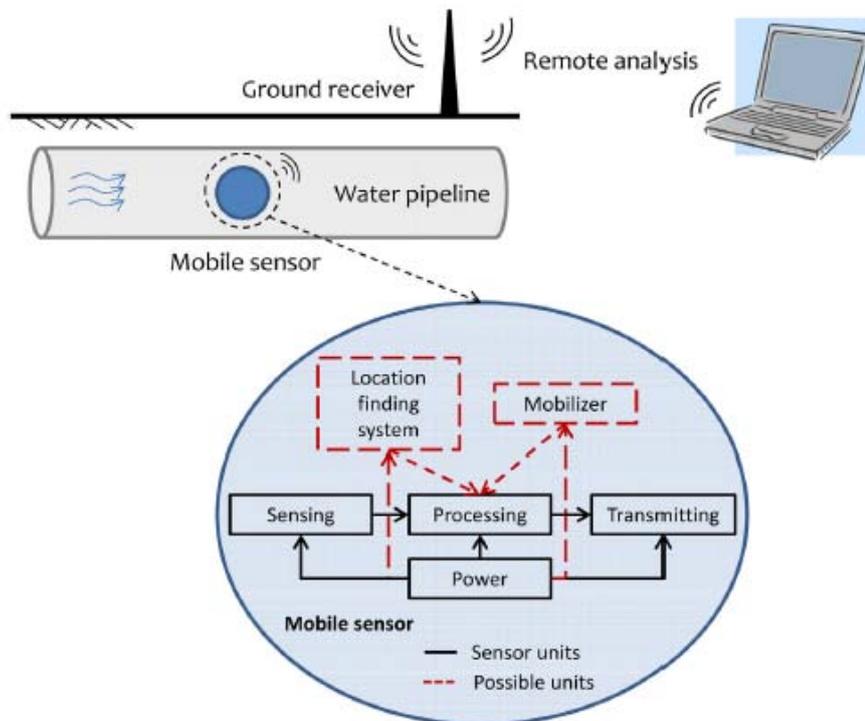


Abbildung 17: Funktionsprinzip mobiler Sensoren (PERELMAN & OSTFELD, 2013)

### 3.5.4 Grundlagen von Sensornetzwerken

Im weiteren Verlauf soll nun auf grundlegende Überlegungen bei der Auslegung bzw. Planung eines Sensor-Netzwerkes eingegangen werden. Beginnt man mit der Auslegung, müssen zuerst Ziele, welche mit dem Sensor-Netzwerk erfüllt werden sollen, definiert werden. Da es in erster Linie um den Schutz und die Sicherheit der Verbraucher geht, sind die zu erfüllenden Ziele auch auf diese ausgerichtet (OSTFELD, et al., 2008).

1. Die Zeit, bis eine Kontamination erkannt wird, muss minimiert werden.
2. Die Bevölkerung, welche kontaminiertes Wasser trinkt, soll minimiert werden.
3. Eine möglichst geringe Wassermenge soll kontaminiert werden.
4. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kontamination nicht erkannt wird, muss so gering wie möglich sein.

Die oben stehenden Ziele werden nicht nur von OSTFELD (2008) als Ausgangssituation zur Erstellung des Netzwerkes verwendet, es ist allerdings eindeutig erkennbar, dass dieser mit seinem Bericht des „battle of the water sensor networks“ (BWSN) einen Meilenstein in der Untersuchung von Sensor-Platzierungsmethoden erstellt hat. Wie sich im weiteren Verlauf noch zeigen wird, wird diese Publikation mit Abstand am häufigsten zitiert.

Im Zuge des BWSN wurden 15 Teilnehmer gebeten, für 2 Leitungsnetze ein Sensoren-Netzwerk zu entwerfen. Die dabei angewandte Methode wurde jedem Team selbst überlassen, wichtig war dabei nur die Anwendung der oben definierten Ziele. In Abbildung 18 ist eines der beiden Netzwerke dargestellt, inkl. den Ergebnissen aller Teams.

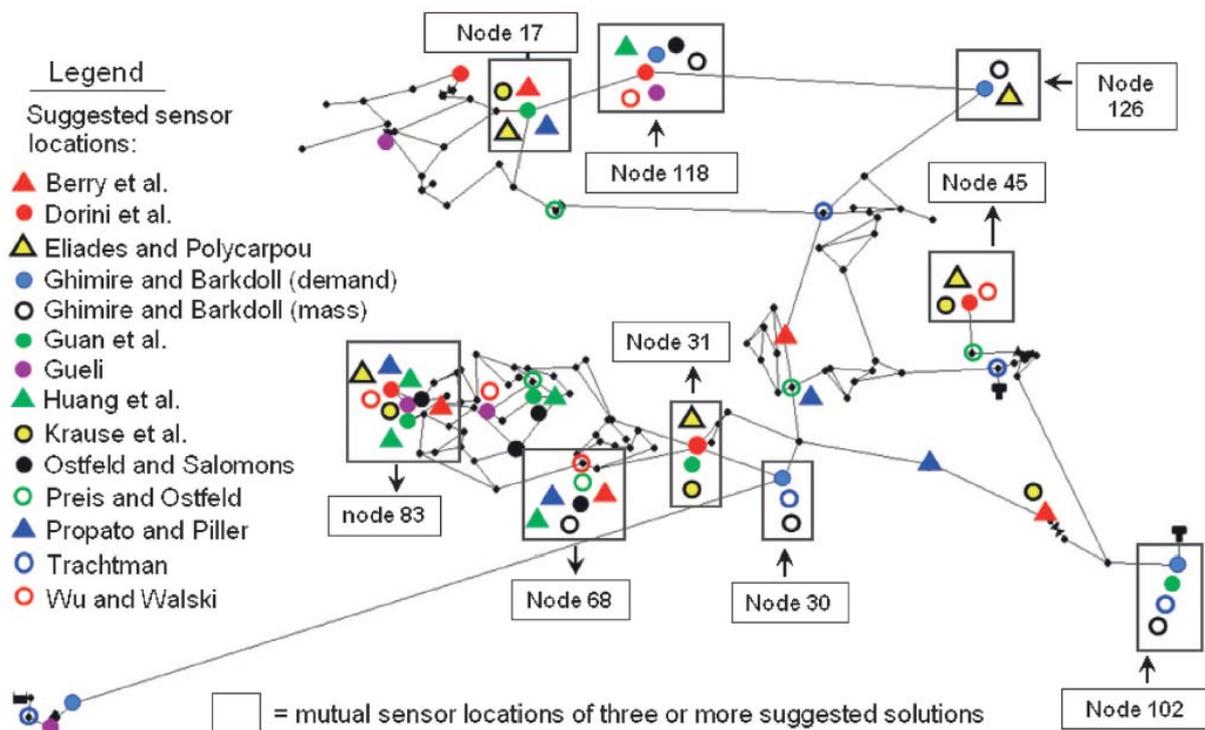


Abbildung 18: Untersuchtes Versorgungsnetz im Zuge des BWSN (OSTFELD, et al., 2008)

Auf die Untersuchungsmethoden soll hier nicht weiter eingegangen werden, da es sich meist um komplexe Algorithmen handelt, welche von Computern mit enormen Rechnerleistungen berechnet werden.

Aus obiger Abbildung lässt sich erkennen, dass es einige Knoten gibt, welche sich für einen Sensor besonders eignen, da diese von mehreren Spezialisten gewählt wurden. Neben den Übereinstimmungen ist aber auch eine große Streuung erkennbar, was OSTFELD (2008) zu dem Entschluss führte, dass es nicht sinnvoll ist, Sensoren-Platzierungsstrategien in Normen zu regeln, zu unterschiedlich wären die Ergebnisse.

Neben den oben erwähnten Algorithmen gibt es andere Möglichkeiten, wie Sensoren in einem Netz verteilt werden können, zu diesen zählen beispielsweise (HART & MURRAY, 2010):

1. Expertenmeinung: Beruht auf menschlichen Urteilen, kein PC-Einsatz notwendig. Verlässt sich nur auf Expertenmeinungen, welche Knoten definieren.
2. Rangmethoden: Experteninfo wird genutzt, um Rangordnung zu erstellen. Dabei werden kritische Anlagen berücksichtigt. Diese Strategie kann GIS-unterstützt ablaufen.
3. Optimierung: Eine Optimierung läuft computerunterstützt ab. Dabei werden Ziele definiert und in Gleichungen ausgedrückt, welche der PC durch Risikominimierung in seiner Entscheidung berücksichtigt.

Methode 1 und 2 sind dabei selbsterklärend und in der Regel führen diese nicht zum gewünschten Ziel (OSTFELD, et al., 2008).

Bei Methode 3 handelt es sich, wie eingangs erwähnt, um Algorithmen, welche einen hohen Computereinsatz erfordern. Für kleine Trinkwassernetze gibt es bereits vielversprechende Ergebnisse, wie mit möglichst wenigen Sensoren eine gute Netzüberwachung erreicht werden kann (CHANG et al., 2013).

Ein „rule-based decision support system“ besteht aus folgenden Schritten:

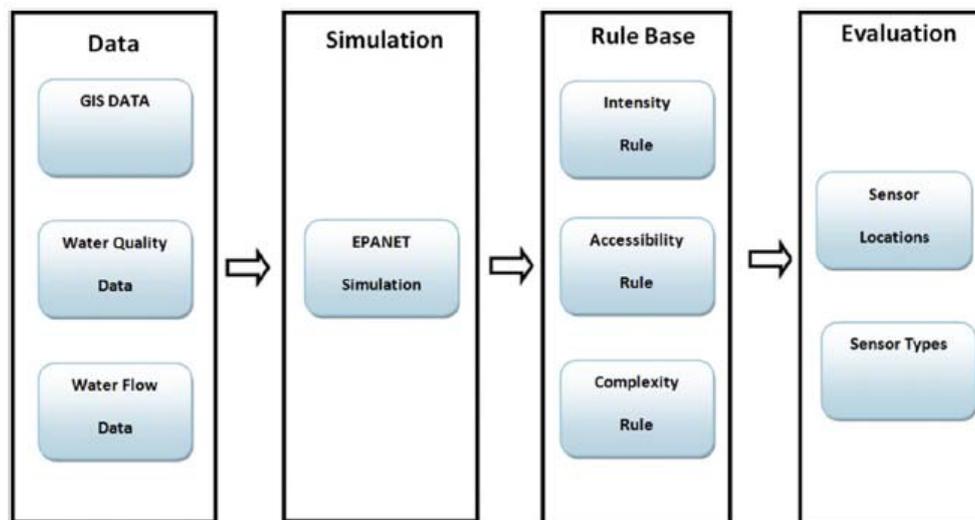


Abbildung 19: Schema eines rule-based decision support systems – RBDSS (CHANG, et al., 2013)

Erwähnenswert sind hier die Regeln der Spalte „Rule Base“, da diese Positionen für Sensoren festlegen.

Intensity rule: Diese Regel hat gegenüber den anderen Priorität. Es wird dabei analysiert, welche Knoten den höchsten Wert der Kontamination aufweisen. Die Simulation wird dabei mit EPANET durchgeführt, wobei eine Kontamination an verschiedenen Knoten in das Netz eingeleitet wird. Das Ergebnis ist eine Reihung der Knoten, abhängig von deren Belastungswerten.

Accessibility rule: Abhängig von der Wassermenge, welche nach einem bestimmten Knoten benötigt wird, kann auf die Bevölkerung, welche sich nach einem Knoten befindet, geschlossen werden. Kombiniert somit Ziel 2 und Ziel 4 nach OSTFELD et al. (2008).

Complexity rule: Diese Regel beschreibt die Knotenverteilung eines Netzwerkes. Dabei wird, wie in Abbildung 20 zu sehen, eine Kennzahl errechnet. Ausgehend von einem sogenannten Path-node (roter Kreis), werden innere Knoten mit Abständen zu diesem Knoten berechnet. Dieses Aufsummieren von Abständen wird bis zum nächsten Path-node durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, welche Knoten die größte Reichweite haben. Eine Kontamination an Knoten mit hohem Ergebnis würde viele andere Knoten kontaminieren.

Die Regeln können dabei getrennt voneinander oder in Kombination betrachtet werden.

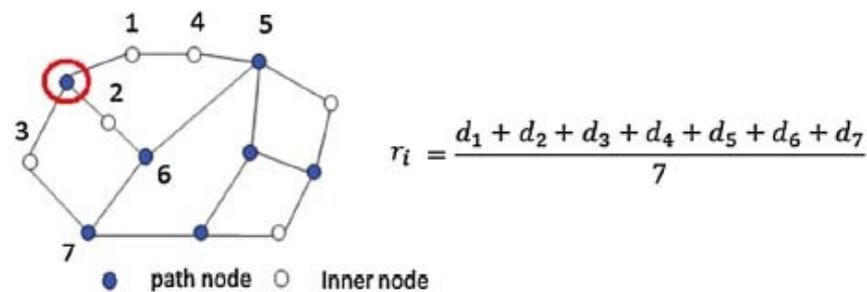


Abbildung 20: Veranschaulichung der complexity rule (CHANG, et al., 2013)

Dieses System funktioniert vor allem bei kleinen Trinkwassernetzen. Sollen Netze mit mehreren tausend Knoten berechnet werden, steigen die erforderlichen Computerleistungen ins Unermessliche. Um die erforderliche Leistung in Grenzen zu halten, gibt es Möglichkeiten, Knoten in die engere Auswahl zu nehmen, also ein Vorauswahlssystem zu entwerfen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass Entscheidungsvariablen um bis zu 40% gesenkt werden können (DIAO & RAUCH, 2013). In diesem Fall werden entsprechend dem Wasserverbrauch und der Lage der Knoten driver nodes gewählt, welche überhaupt für einen Sensor in Frage kommen. Bei dem Ansatz, den DIAO et al. (2013) verwendeten, ist das Hauptziel, dass jede Kontamination erkannt wird.

Ein weiterer Ansatz, um die Auswahl einzugrenzen, ist die sogenannte „roulette wheel method“, wo Knoten nur nach ihrem Verbrauch geordnet werden. Knoten mit einem höheren Verbrauch werden eher für Sensoren verwendet als Knoten mit geringem Verbrauch (ARAL, et al., 2013).

Untersuchungen an „real world“-Systemen sind derzeit leider rar. Das zuvor beschriebene RBDSS lässt sich mit nur zwei Regeln, der accessibility rule sowie der complexity rule, jedoch an großen Systemen anwenden. Ein Vergleich zwischen div. Algorithmen-Methoden und dem RBDSS zeigte sehr gute Ergebnisse (CHANG, et al., 2012). Der große Vorteil dabei ist die benötigte Computerleistung bzw. die Modellierungslaufzeit, welche deutlich geringer ist.

Eine praktische Anwendung in der Stadt Barcelona sei an dieser Stelle erwähnt. Zur Gewährleistung des Betriebsfalles, was bei weitem der wichtigste Punkt in der Sensoren-Anwendung ist, verwendet man Drucksensoren. Anhand dieser Sensoren kann festgestellt werden, wenn es im Leitungsnetz zu Undichtheiten (z.B. Rohrbruch) kommt. Durch eine Optimierungsrechnung werden Sensoren im Netz platziert. Kommt es zu einem Rohrbruch, wird an einem oder mehreren Sensoren ein Druckabfall registriert. Abhängig von der Entfernung des Bruches ist dieser Druckabfall entsprechend groß (Rohrbruch in unmittelbarer Nähe), oder klein (Rohrbruch weiter entfernt) (PÉREZ, et al., 2009).

Zusammenfassend gilt zu sagen, dass seit 2000 die Forschung zur Betriebsüberwachung stark zugenommen hat. Trotz dem jetzigen Wissensstand gibt es wichtige Punkte, welche in Zukunft noch gelöst werden müssen (DIAO & RAUCH, 2013):

1. Lösen von großen Trinkwasserversorgungsnetzen
2. Qualität der Input-Daten erhöhen
3. Verschiedene Sensoren-Lösungsmethoden vergleichbar machen, um Effizienz-Aussage treffen zu können
4. Entscheidungsunterstützung, dabei sind nicht zwingend schnellere Löser gemeint, sondern auch Strategien, wie sich Datenfehler erkennen lassen usw.

### 3.5.5 TEVA-Spot

In diesem Kapitel soll eine Software, welche Sensoren-Netzwerke berechnen kann, beschrieben werden. Des Weiteren wird vor allem auf die Daten, welche zur Modellierung benötigt werden, eingegangen. Wenn nicht anders erwähnt, stammt sämtliche Information aus MURRAY et al. (2010). Zusätzliche Informationen den TEVA-Spot betreffend sind dem genannten Dokument zu entnehmen, da eine detaillierte Beschreibung der Software den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Dem Leser soll an dieser Stelle ein Verständnis über die erforderlichen Daten vermittelt werden, um eine Sensoren-Platzierungsoptimierung durchführen zu können.

Das von der US Environmental Protection Agency (EPA) entwickelte Programm „Threat Ensemble Vulnerability Assessment“ (TEVA) ist ein Programm, welches Sensor-Netzwerke erstellt, bewertet und optimiert. TEVA besteht aus 3 Hauptkomponenten, welche in Abbildung 21 dargestellt sind.

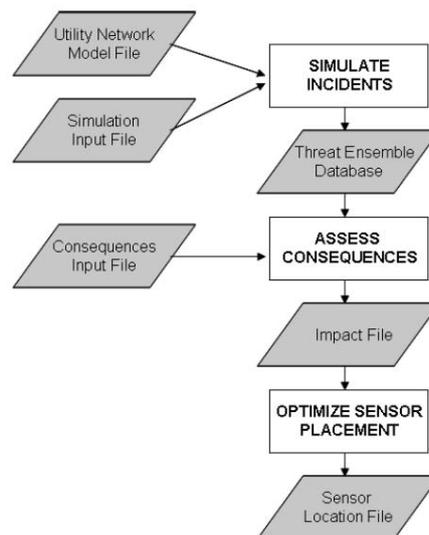


Abbildung 21: Datenfluss inkl. Hauptkomponenten der TEVA-Spot-Software

#### 1. Netzwerkmodell

Zuerst muss ein Modell des Trinkwasserversorgungsnetzes vorhanden sein. Wichtig ist hierbei, vor allem auf die Länge der Simulation zu achten, um keine verfälschten Ergebnisse zu bekommen. Solche Simulationen können beispielsweise mit EPANET durchgeführt werden. Beim Modell ist weiters auf saisonale Schwankungen Rücksicht zu nehmen, um evtl. für verschiedene Lastfälle unterschiedliche Sensoren-Netzwerke zu erhalten.

#### 2. Sensoren-Charakteristika

Man muss sich im Klaren sein, welche Sensoren für ein bestimmtes Netzwerk eingesetzt werden sollen. Dazu sind Angaben notwendig wie:

- Sensortyp: Jedes Trinkwassernetz ist unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, parallel mit der Festlegung des Sensortyps muss festgelegt werden, welche Kontaminationsfälle überhaupt möglich sind
- Schwellenwert der Erkennung
- und Genauigkeit

Des Weiteren werden zur Positionsfindung häufig optimale Sensoren eingesetzt, welche jede Kontamination erkennen, dies spiegelt jedoch die Realität nicht wieder. Sinnvoller ist es, ein gewisses Niveau festzulegen, ab welchem der Sensor zu 100% Kontaminationen anzeigt.

### 3. Basis-Bedrohung

Hierbei gilt es zu überlegen, welche Bedrohungen durch das Kontaminationswarnsystem erkannt werden sollen. Es besteht die Möglichkeit, hohe Werte zu definieren, des Weiteren kann es durchaus sinnvoll sein, niedrige Werte als Schwelle zu nehmen, um beispielsweise unerwünschte Rückflüsse zu erkennen. Kontaminationsvorfälle lassen sich spezifizieren durch:

- Art des Stoffes
- Menge, welche in das System eintritt
- Stelle, an welcher es zur Kontamination kommt
- Tageszeit, zu welcher die Kontamination auftritt

Natürlich ist es nicht möglich, vor einer Kontamination all diese Fragen zu beantworten, es ist jedoch wichtig, eben diese Ungewissheit in der Modellierung zu berücksichtigen. Das Programm lässt einen hier die Szenarien festlegen. Welcher Stoff soll in das Netz eingeleitet werden?

### 4. Performance-Maßnahmen

Hierbei geht es wieder um Ziele, welche mit dem Sensor-Netzwerk erreicht werden sollen. Neben den in Kapitel 3.5.4 erwähnten Punkten sind auch Kosten und Umweltauswirkungen im Falle einer Kontamination in der Auslegung zu berücksichtigen.

### 5. Zeit, bis Nutzer von der Kontamination erfahren

Der Schlüssel ist die Minimierung der Zeit zwischen dem Erkennen der Kontamination und dem Reagieren / dem Lösen dieser, um weitere schädliche Auswirkungen zu verhindern.

### 6. Potentielle Sensor-Plätze

Es gibt neben den 4 Hauptzielen sehr viele Faktoren, welche bestimmen, ob sich eine Position für einen Sensor eignet. Beispielsweise:

- Wie viel Platz ist vorhanden, um Wartungen an der Sensorstation durchführen zu können?
- Ist an diesem Standort genügend Strom vorhanden, um einen Sensor einzusetzen?
- Der Sensor muss sicher gegenüber Naturereignissen sein.

Auch hier bietet TEVA-SPOT die Möglichkeit, eine Vorauswahl zu treffen und Knotenpunkte des hydraulischen Modells von vornherein aus der Optimierungsrechnung auszuschließen.

Abschließend sind die wichtigsten Informationen nochmals tabellarisch zusammengefasst.

Information and Data Needed for Sensor Placement	Description
Utility Network Model	The model (e.g., EPANET input file) should be up-to-date, capable of simulating operations for a 3-10 day period, and calibrated with field data
Sensor Characteristics	Type of sensors or sampling program, detection limits, and (if applicable) event detection system
Design Basis Threat	Data describing type of event that the utility would like to be able to detect: specific contaminants, behavior of adversary (quantity of contaminant, injection locations and durations), and customer behavior (temporal pattern of water consumption)
Performance Measures	Utility specific critical performance criteria, such as time to detection, number of illnesses, etc.
Utility Response	Plan for response to a positive sensor reading, including total time required for the utility to limit further public exposure
Potential Sensor Locations	List of all feasible locations for placing sensors, including associated model node/ junction

Abbildung 22: Erforderliche Datengrundlage, um TEVA-Spot verwenden zu können

### 3.5.6 Redundanz und Resilienz von Trinkwassersystemen

In engem Zusammenhang mit Sensoren, welche, wie oben beschrieben, Versorgungsnetze überwachen, stehen die Redundanz bzw. Resilienz eines Systems. Eine klare Trennung zwischen Redundanz und Resilienz ist nicht möglich, da eine Erhöhung der Redundanz automatisch zu einer Verbesserung der Resilienz führt.

Unter Redundanz wird das Vorhandensein von alternativen Versorgungswegen von der Quelle zum Verbraucher verstanden, welche benutzt werden, wenn der primäre Versorgungsweg nicht verfügbar ist (ABBOTT, 2012).

Während Resilienz die Fähigkeit eines Systems, vor, während und nach einer Beeinträchtigung, diese Beeinträchtigung zu überstehen. Das System erholt sich bis zu einem gewissen Grad und hält diesen Level über einen gewissen Zeitraum (ROCHAS, et al., 2014).

Somit kann nach Erkennen einer Störung (beispielsweise Leitungsbruch) der betroffene Leitungsabschnitt abgeschottet werden, und die Wasserversorgung wird trotzdem für den Großteil der Bevölkerung sichergestellt (Redundanz).

Probleme betreffend Redundanz sind vor allem in Verästelungsnetzen (Abbildung 6) gegeben, da bei Ausfall der Hauptleitung die Versorgung aller nachfolgenden Versorger nicht gewährleistet werden kann. Forschungen auf diesem Gebiet gibt es viele, nachfolgend soll eine Arbeit von ABBOTT (2012) kurz erläutert werden, welche die Problematik von Verästelungsnetzen anspricht. Heute sind diese Netztypen häufig noch in Entwicklungsländern anzutreffen.

Grundsätzlich zeigt ABBOTT (2012) eine Möglichkeit, wie die Redundanz von Wasserversorgungssystemen mit geringem Materialeinsatz (Material, Kosten sowie Personal) erhöht werden kann. Mit Hilfe der Modellierungssoftware EPANET werden Verbindungsrohre zwischen zwei Ästen geplant. Diese Verbindung erzeugt einen neuen Ring im Verteilnetz. Im zweiten Schritt wird ein Rohrbruch an der Hauptleitung simuliert. Die Auswirkungen werden anhand der unten beschriebenen Kriterien bewertet. In Abbildung 23 ist die Bewertung der einzelnen Ringe angeführt. Anhand der Rohrleitungslänge und des Durchmessers werden die Kosten ermittelt. In der letzten Spalte („Users/USD“) ist der Nutzen pro Person aufgelistet.

**Bewertungskriterium A:** Es werden sämtliche Personen gezählt, die durch den Neubau einer Verbindungsleitung profitieren. Wird die Leitung in der Nähe der Quelle gelegt, ergibt sich logischerweise aufgrund aller nachfolgenden Verbraucher ein höherer Wert, als wenn man die Leitung am Ende der Versorgungsäste positioniert. Angegeben wird dieser Kennwert in der Einheit „Personenanzahl“.

**Bewertungskriterium B:** Hier wird die Tatsache berücksichtigt, dass Kinder unter 5 Jahren durch bereits geringe Nachteile in der Wasserversorgung schlimmer betroffen sind als Erwachsene. Sie sind anfälliger für Trinkwasserverunreinigungen.

Rank	Loop Number	Users Benefiting	Cost (USD)	Users/USD
1	11	127	\$41.88	3.03
2	9	100	\$73.75	1.36
3	1	58	\$61.88	0.94
4	5	50	\$68.75	0.73
5	8	63	\$96.25	0.65
6	3	47	\$89.38	0.53
7	2	58	\$125.38	0.46
8	7	31	\$82.50	0.38
9	6	24	\$110.00	0.22
10	10	0	\$48.35	0.00
11	4	0	\$151.25	0.00

Abbildung 23: Auswertung des ersten Kriteriums (ABBOTT, 2012)

Ziel dieser Arbeit war es, eine einfache (Zählen von Personen, welche durch den Neubau profitieren) und kostengünstige (wenig PC-Einsatz, Rohrlänge und Durchmesser optimal gewählt) Methode zu entwickeln, welche sich zur Redundanz-Steigerung in Städten von Entwicklungsländern eignet.

Es ist klar, dass sich diese Methode in Mitteleuropa nicht anwenden lässt, jedoch ist diese im Gegensatz zu Monitoring mittels Sensoren wesentlich kostengünstiger, was für diese Vorgehensweise spricht.

Dass eine einfache Methode wie jene von ABBOTT (2012) ihr Berechtigung hat, zeigt die Arbeit von YAZDANI et al. (2011), welche ebenfalls für Entwicklungsländer versucht, die Redundanz eines Trinkwasserversorgungsnetzes quantitativ anzugeben. Es werden 4 Erweiterungsmöglichkeiten eines Trinkwassernetzes untersucht:

- Verästelungsnetz
- Verästelungsnetz wobei die Äste am Ende mit Rohren verbunden werden
- Ringnetzerweiterung
- Erweiterung als voll-vermaschtes Netz

Jede Netzerweiterung wird mit 10 Kennzahlen bewertet, diese Kennzahlen lassen sich in 4 Hauptgruppen einteilen:

- (1) Struktur des Netztes: Rohrdichte, Knotenverteilung
- (2) Effizienz des Netztes: Maximlaer Abstand zwischen 2 Knoten
- (3) Redundanz: Anzahl der Maschen, Anteile der Knoten an denen 3 Rohre zusammenkommen
- (4) Robustheit: Verteilung von Knoten und Rohren deren Ausfall ein Abschneiden von ganzen Gebieten mit sich bringt

Mittels dieser Kennzahlen wird ein Netz beschrieben, für die Berechnung werden keine high-end-Computer benötigt. Im Endeffekt soll es möglich sein, für jede angenommene Netzveränderung eine Qualitätsaussage zu treffen, und da der rasante Wachstum in Entwicklungsländern ohnehin stetig Netzzubauten mit sich bringt, lässt sich die Redundanz eines solchen Netzes im Zuge der Bauarbeiten verbessern (YAZDANI, et al., 2011).

Sowohl ABBOTT (2012) als auch YAZDANI et al. (2011) versuchen, die Redundanz durch optimale konstruktive Baumaßnahmen zu erhöhen. Einen gänzlich anderen Ansatz beschreiben TANG et al. (2013), welche versuchen, Störfälle eines Netzes zu analysieren und in entsprechende Gruppen einzuteilen. Vorrangig werden „Fehler“, welche von Menschen begangen werden, untersucht, und es wird eingeschätzt, ob es sich um vermeidbare oder unvermeidbare Fehler handelt. Es wird festgestellt, dass 88% von 75.000 industriellen Unfällen auf menschliches Versagen zurückzuführen sind. Somit steht fest, dass ein Ansatz, welcher die menschlichen Fehler reduziert, zu einer erhöhten Netzsicherheit führt. Diese Fehler haben unterschiedlichste Ursprünge wie Planungsfehler, Instandhaltungsfehler oder fehlende Kommunikation (TANG, et al., 2013). Als Ergebnis werden Punkte, welche das Management zu beschließen hat, gelistet, die zu einem Vermeiden von Störfällen führen sollen. Beispielsweise die Einführung von Standardbetriebsverfahren, um die menschliche Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Neben Vermeidungsstrategien existieren Ansätze, um ein gesamtes Versorgungsnetz mittels Mehrfachziele zu planen. Anhand einer Schleife (, bestehend aus 4 Algorithmen (A1 bis A4) wird ein Versorgungsnetz entworfen, welches die Optimierung zwischen Kosten und Resilienz aufweist (CREACO & FRANCHINI, 2013).

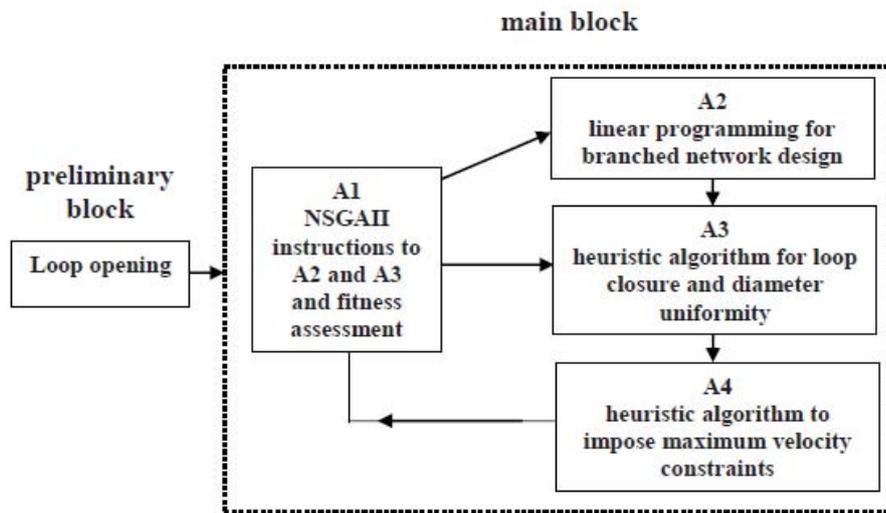


Abbildung 24: Übersicht der Schleifenberechnung (CREACO & FRANCHINI, 2013)

Obwohl sich ein Großteil der Störfälle vorab durch geeignete Vermeidungsstrategien verhindern lässt, kommt es in Folge von Naturkatastrophen, schlechter Wartung oder Materialverschleiß auch während des Betriebs zu Problemen. Kommt es während des Betriebsfalls zu einem Gebrechen, ist es wichtig, ehestmöglich den funktionstüchtigen Zustand wiederherzustellen. ROCHAS et al. (2014) beschreiben einen Multi-Kriterien-Algorithmus, um dieses Problem zu lösen. Im ersten Schritt werden Kenngrößen (z.B. Zahl der betroffenen Personen) und Rohrbruch-Szenarien definiert, entsprechend dieser Kenngrößen wird der Optimierungsalgorithmus durchgeführt. Als Ergebnis stellt das Programm die optimale Sanierungsreihenfolge der beschädigten Rohre zusammen.

Eine weitere Möglichkeit, die Resilienz zu erhöhen, ist mittels Speicher, welche folgende Vorteile bringen (ABUNADA, et al., 2013):

- Trinkwasserbereitstellung während Netzgebrechen
- Reservewasser im Notfall (z.B. Brandfall)

Durch die optimale Platzierung des Behälters im System können die Leistungsfähigkeit des Systems erhöht und die Gesamtkosten gesenkt werden. ABUNADA et al. (2013) stellen ein Programm, genannt NORAT (**N**etworks **O**ptimization and **R**eliability **A**ssessment **T**ool), vor, welches den besten Platzierungsort, das benötigte Volumen, die Seehöhe des Behälters sowie auch Anpassungen der Rohrdurchmesser berechnet. Abschließend werden die Gesamtkosten dargestellt.

Als weitere wichtige Netzkennzahl wurde schon öfters Zuverlässigkeit erwähnt, darunter wird der Umfang, in welchem das Netz Verbraucher mit angemessenem Druck unter normalen bzw. abnormalen Bedingungen versorgen kann, verstanden (KALUNGI & TANYIMBOH, 2003). Ferner definiert KALUNGI & TANYIMBOH (2003) Redundanz wie folgt: „Unter Redundanz wird die Leistung des Systems unter potentiellen Systemausfällen verstanden“. Die Zuverlässigkeit eines Systems kann indirekt beschrieben werden durch (CREACO, FORTUNATO, FRANCHINI, & MAZZOLA, 2013):

- den Resilienz-Index (TODINI, 2000)

Gibt Auskunft über die Höhe des vorhandenen Drucküberschusses an einem Knoten während des Betriebsfalls. Im Schadensfall muss dieser Überdruck ausreichen, um die Versorgung der Verbraucher sicherzustellen.

- den modifizierten Resilienz-Index (PRASAD, et al., 2003)  
Diese Kennzahl ist eine modifizierte Version des Resilienz-Index, welcher neben dem Drucküberschuss auch die Gleichmäßigkeit der Rohre zu den Knoten berücksichtigt.
- eine Entropiefunktion nach (TANYIMBOH & TEMPLEMAN, 2000)  
Beschreibt die Unsicherheit, mit der das Wasser zu den Knoten fließt. Eine hohe Entropie bedeutet, dass viele gleichwertige Versorgungswege zu diesem Knoten bestehen. Auch im Schadensfall kann dieser versorgt werden.

Den Ergebnissen zufolge liefert die Entropie die schlechtere Beschreibung der Zuverlässigkeit. Im Gegensatz zur Untersuchung von CREACO et al. (2013) beschreiben TANYIMBOH et al. (2011), dass die Entropie bei weitem die beste Beschreibung der Zuverlässigkeit eines Trinkwassernetzes ist. Eine ebenfalls positive Korrelation zur Fehlertoleranz ist erkennbar (TANYIMBOH, et al., 2011). Eines haben sämtliche Forschungen gemein, es gilt die größtmögliche Resilienz zu erreichen bei minimalem Kostenaufwand. In der Praxis jedoch wird vor allem zuerst auf die Minimierung der Kosten geachtet, erst danach folgt die Betrachtung der Netzzuverlässigkeit (PÉREZ, et al., 2009).

Redundanz und Resilienz können auf einfache Weise quantifiziert und verbessert werden, entweder durch Anwendung von einfachen Bewertungsmethoden (z.B. ABBOTT (2012)) oder durch komplexe Algorithmen, welche das Trinkwassernetz bereits in der Planung optimal berechnen. Auch für bestehende Trinkwasserversorgungsnetze kann, beispielsweise während Bauarbeiten, die Resilienz erhöht werden.

Zusammenfassend wurden 3 Hauptvorgehensweisen (Vorsorge, Planung und Anpassung) beschrieben, welche zur Verbesserung bzw. Optimierung der Redundanz als auch der Resilienz bei minimalem Kostenaufwand führen. Es ist schwer zu sagen ob eine Methode die Redundanz oder die Resilienz erhöht. Schließlich bringt einer Verbesserung der Redundanz auch eine Verbesserung der Resilienz. Folgende Tabelle fasst die die Methoden zusammen.

Tabelle 14: Einteilung von Verbesserungsmaßnahmen betreffend Redundanz und Resilienz

Maßnahme	Redundanz	Resilienz
Bau von Ringleitungen	+++	+
Bau eines Speicherbehälters	++	++
Bewusstseinsbildung beim Verbraucher		+++
Sanierungsplan im Falle eines Gebrechen		+++

## 4. Fallstudie Hallstatt

### 4.1 Beschreibung der Trinkwasserversorgung Hallstatt

Hallstatt ist eine kleine Marktgemeinde im Salzkammergut im Bundesland Oberösterreich mit knapp 800 Einwohnern (Stand 2014). Hallstatt liegt auf einer Seehöhe von 532 m.ü.NN und befindet sich westlich des Hallstätter Sees. Nachbargemeinden sind Bad Goisern, Obertraun und Gosau. In Abbildung 25 ist eine Übersichtskarte des Gebietes rund um Hallstatt dargestellt. Hallstatt selbst besteht aus 3 Ortsgebieten: Echerntal im Westen, östlich davon Lahn und im Norden der Gemeinde die Markt (Altstadt).

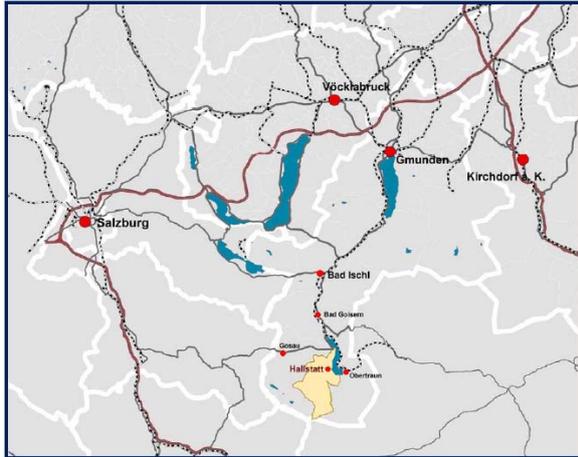


Abbildung 25: Übersichtsdarstellung Hallstatt (SCHÖNEGGER, 2012)



Abbildung 26: Blick über die Altstadt von Hallstatt

Nach der Raumtypisierung im Landesraumordnungsprogramm des Landes OÖ (1998) zählt Hallstatt zum Raumtyp 6 – „Ländlicher Raum mit Verdichtungsgebieten und Tourismusfunktion“. Die Touristenzahlen steigen seit einigen Jahren kontinuierlich an, wobei die Gründe für das große Interesse nationaler als auch internationaler Touristen vielfältig sind. Ausschlaggebend dürfte jedoch der 1997 getroffene Entschluss der UNESCO sein, welcher Hallstatt zu einem Teil des Weltkulturerbes „Hallstatt-Dachstein-Salzkammergut“ machte. Gründe dafür waren die erhaltene Architektur der Gotik sowie des Barock, welche noch heute die Innenstadt der Gemeinde prägt, das Naturerbe, sprich die Naturlandschaft Dachstein, mit den für Hallstatt typischen Höhlensystemen, sowie das kulturhistorische Erbe, welches sich vor allem aufgrund der Bewirtschaftung des Waldes zufolge der Salzindustrie ergibt (KRAUß & KRAFT, 1999 - 2014).

## Fallstudie Hallstatt

Die Marktgemeinde Hallstatt entnimmt ihr Trinkwasser vorwiegend aus den Klausbrunnenquellen (Abbildung 27 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), welche sich westlich der Gemeinde befinden. Von der Quelle wird das Wasser in den Hochbehälter (Fassungsvermögen 250m<sup>3</sup>) (Abbildung 28 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) befördert. Von diesem Hochbehälter fließt das Wasser durch Gravitation zu den Verbrauchern.



Abbildung 27: Quellfassung Klausbrunnenquelle



Abbildung 28: Bau des Hochbehälters (GEMEINDE HALLSTATT, 2012)

Um die Wasserqualität sicherzustellen, werden bis zur Einspeisung in das Versorgungssystem an verschiedenen Stellen Wasserparameter gemessen (Tabelle 15 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Sollten gemessene Werte Grenzwerte nach der TWVo überschreiten, wird das Trinkwasser nicht mehr aus der Klausbrunnenquelle entnommen, sondern aus zwei Brunnen. Dies ist vor allem bei starken Regenfällen der Fall, wodurch die Verweildauer des Karstgrundwassers noch weiter verkürzt wird. Diese Brunnen befinden sich in der Nähe der Volksschule und haben eine Tiefe von 54m.

Tabelle 15: Messungen bzw. Reinigungsverfahren der Trinkwasserversorgung Hallstatt

Standort	Messung / Aufbereitung
Quelle	pH, Leitfähigkeit, Trübung, Temperatur
Hochbehälter	Filter-, UV-Anlage
Brunnen	pH-Leitfähigkeit, Trübung

Ein automatisches Umschalten auf Brunnenbetrieb ist möglich, wenn die Trübungsmessung an der Quelle einen Grenzwert überschreitet. Somit ist eine ausreichende Trinkwasserqualität auch dann sichergestellt, sollten atmosphärische Einflüsse das Karstgrundwasser beeinträchtigen.

Im Zuge der Umbauarbeiten wurde neben dem Hochbehälter und zwei Brunnen auch ein modernes Steuerungsprogramm implementiert. In Abbildung 29 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Oberfläche des Steuerungsprogrammes dargestellt.

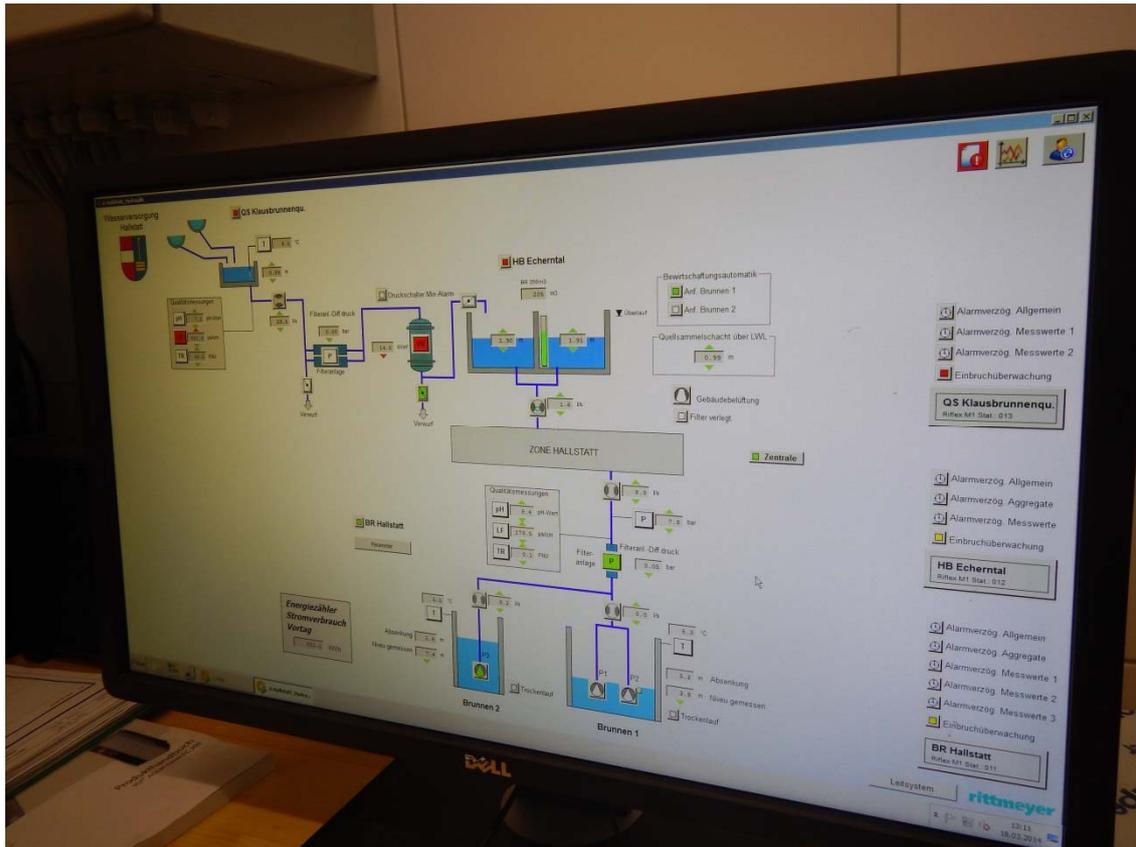


Abbildung 29: Oberfläche Leitsystem Trinkwasserversorgung Hallstatt

Es war möglich, Daten des Programmes zu exportieren. Vor allem die Wassermenge, welche in das Netz eingespeist wird, konnte gut mit den Ergebnissen der Modellierung verglichen werden. Für August wurde nach den Daten des Steuerungsprogramms eine maximal eingespeiste Wassermenge von 15 l/s gemessen. Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ersichtlich, stimmt dieser Wert mit der errechneten maximalen Einspeisemenge zufolge der Kennzahlen sehr gut überein. Die Stichprobe, welche aus dem Programm exportiert wurde, ließ keine charakteristische Tagesganglinie erkennen (Abbildung 92). Nach Auskunft des Wassermeisters der Gemeinde ist jedoch eindeutig eine „3-Spitzen-Tagesganglinie“ vorhanden (Abbildung 91).

Neben der oben beschriebenen Funktionsweise kennzeichnet das Netz folgende Eckdaten:

- Höhe Hochbehälter: 587m.ü.A.
- Höchster Punkt Leitungsnetz: ca. 571m.ü.A. (Ortszone Markt)
- Niedrigster Punkt Leitungsnetz: ca. 508m.ü.A. (Ortszone Lahn)
- Leitungslänge: ca. 10km
- Max. Durchmesser: 25mm
- Min. Durchmesser: 200mm

Um eine umfangreiche Verbrauchs- und Einwohneranalyse durchzuführen, war es notwendig, alle Daten für den Import in diverse Programme, wie z.B. ArcGIS und WaterGems, aufzuarbeiten. Um später für das hydraulische Modell Szenarien definieren zu können, müssen zwei wesentliche Ergebnisse vorliegen. Zuerst müssen die Einwohnerzahlen der letzten 10 Jahre verglichen werden, um zu wissen, wie sich die Bevölkerung verändert hat. Des Weiteren wird unabhängig von der Einwohneranalyse eine Verbrauchsanalyse durchgeführt, wobei das Hauptaugenmerk auf den verschiedenen Pro-Kopf-Verbräuchen liegt. Kombiniert ergeben beide Analysen die Grundlage für die hydraulische Bemessung des Systems.

### 4.2 Datengrundlage und Datenaufbereitung

Wenn nicht anders erwähnt, wurden sämtliche Daten von der Marktgemeinde Hallstatt zur Verfügung gestellt. In diesem Kapitel werden die Rohdaten und deren Aufbereitung zur weiteren Bearbeitung dargestellt.

#### 4.2.1 Meldelisten

In Abbildung 30 ist ein Auszug der Meldeliste des Jahres 2014 zu sehen. Für die spätere Berechnung des Trinkwasserversorgungsnetzes ist es wichtig zu wissen, wie viele Personen in Hallstatt leben, da die Verbrauchszahlen der Gemeinde aufgrund fehlender Wasserzähler nicht die gesamte Bevölkerung miteinschließen. Daten wurden für die Jahre von 2004 bis 2014 zur Verfügung gestellt.

Adressen: Sie dienen als Schnittstelle für den ArcGIS-Import, um die Einwohnerentwicklung grafisch darstellen zu können.

Wohnsitzart (WS): Es wird zwischen Haupt- und Nebenwohnsitz unterschieden. Es soll veranschaulicht werden, wie sich die Verteilung der Wohnsitzarten in den letzten Jahren verändert hat.

Geburtsdatum (Geb.Dat.): Dieses wird benötigt, um die Altersentwicklung darzustellen. Ist in den letzten Jahren eine Überalterung eingetreten?

Haushaltsgröße (Anz.Bew.): Wie haben sich die Haushaltsgrößen verändert? Geht die Tendenz Richtung Ein-Personen-Haushalt?

Wohnsitzliste					
Stichtag: 28.03.2004					
Adresse	WS	Gemeldet von	Bewohner	Geb.Dat.	Anz.Bew.
Ahnbergweg 7	H	03.01.1974		01.03.1955	2
	H	15.01.1952		15.01.1952	
Am Hof 109/1	H	01.10.1930		07.04.1929	1
Am Hof 109/2	H	14.07.1961		14.07.1961	1
Am Hof 110	H	29.11.2002		19.07.1955	1
Am Hof 110/1	H	04.12.1930		04.12.1930	2
	H	15.06.1961		20.08.1940	
Am Hof 110/2	H	06.03.2001		25.04.2000	2
	H	01.01.1992		04.09.1966	
Am Hof 112	H	03.02.1964		23.01.1964	4

Abbildung 30: Ausschnitt der Meldeliste 2004

Die Bearbeitung stellte sich aufgrund der eigenartigen Formatierung in den Excel-Files als relativ aufwändig dar. Zur weiteren Bearbeitung wurden nicht benötigte Daten gelöscht sowie sämtliche verbundenen Zeilen aufgelöst. Die Hauptaufgabe in diesem Arbeitsschritt war es, die alte Formatierung komplett zu überarbeiten. Aufgrund der Anzahl der Daten, 10 Jahre, war dies zeitintensiv. Im Endeffekt ergab sich ein MS-Excel-File, welches auszugsweise in Abbildung 31 dargestellt ist und in dieser Form für die Analyse der Einwohnerdaten verwendet werden konnte.

	Adresse	WS	Bewohner	Geb.Dat.	Alter	Anz.Bew.	Altersklasse
1	Ahnbergweg 7	H	Winterauer Gabriele Henriette	01.03.1955	49	2	3
2		H	Winterauer Urban Franz	15.01.1952	52		3
3	Am Hof 109/1	H	Pilz Maria Anna	07.04.1929	74	1	ALT
4	Am Hof 109/2	H	Pilz Sieglinde Franziska	14.07.1961	42	1	3
5	Am Hof 110	H	Strobl Gerhard	19.07.1955	48	1	3
6	Am Hof 110/1	H	Pilz Kurt Heinrich	04.12.1930	73	2	ALT
7		H	Pilz Gerhilde	20.08.1940	63		3
8	Am Hof 110/2	H	Strobl Leena	25.04.2000	3	2	1
9		H	Strobl-Pilz Birgit	04.09.1966	37		2
10	Am Hof 112	H	Janu Johannes Maria	23.01.1964	40	4	3

Abbildung 31: Darstellung der bearbeiteten Meldeliste

### 4.2.2 Verbrauchszahlen

Die Verbrauchszahlen der Gemeinde werden in einem txt-file abgespeichert. In Abbildung 32 ist der Aufbau zu erkennen. Eine umfangreiche Bearbeitung war notwendig, um die vorliegenden Daten analysieren zu können.

Zu Beginn wurde das txt-file in MS Excel importiert, das dafür bereitgestellte Tool von MS Excel funktionierte problemlos. Zwar befanden sich sämtliche Daten im Programm, jedoch ohne jegliche Ausrichtung, und auch der Verbrauch, im Idealfall für die letzten 10 Jahre, war nicht vollständig und pro Haushalt in einer Spalte gelistet.

WZ-Verbrauch 2004-2014.txt

Marktgemeinde Hallstatt 40709 DVR-Nr.: 0461891 / UID-Nr.: ATU23412901

Seestraße 158 Homepage: www.hallstatt.at  
 4820 Hallstatt E-Mail: gemeinde@hallstatt.ooe.gv.at  
 Telefon: 06134/8255-0 Fax: 06134/8255-33

ste Verbrauch (01.2004 - 01.2014)

St.-Nr.-Name	SZ Abg./Lfd	Rayon	Objekt	Zähler-Nr./Eichjahr	Abr.Zeitraum	Zählerstand	Verbrauch
00002	001/00		Echertalweg 114	A-2084369 /	11.2012 -	12,0	51,0
					11.2011 -		78,0
					11.2010 -		32,0
					11.2009 -		72,0
					11.2008 -		36,0
					11.2007 -		48,0
					11.2006 -		52,0
					11.2005 -		44,0
					11.2004 -		41,0
					11.2003 -		29,0
01612	001/00		Seestraße 4	A-2084370 /	11.2012 -	49,0	191,0
					11.2011 -		136,0
					11.2010 -		149,0
					11.2009 -		206,0
					11.2008 -		117,0
					11.2007 -		167,0
					11.2006 -		160,0
					11.2005 -		151,0
					11.2004 -		175,0
					11.2002 -		386,0

Abbildung 32: Verbrauchszahlen als txt-file

Neben der Formatierungsproblematik wurde schnell klar, dass die Adress- oder Objektangaben für einen Bearbeiter, welcher Hallstatt nicht kennt, problematisch sind. Oft ist nicht eindeutig erkennbar, zu welcher Adresse der Wasserverbrauch gehört. Beispielsweise sind Angaben wie „Wohnhaus“ oder „Nebengebäude“ sprechend, jedoch helfen sie dem Planer nur bedingt bei der Verbrauchsanalyse.

Sollte ein Wasserzähler z.B. bei WC-Anlagen keine eigene Adresse haben, würde es Sinn machen, die Adresse des Nebengebäudes auszuweisen, um den Verbrauch geografisch zuordenbar zu machen.

Auf eine genaue Aufzählung der einzelnen Arbeitsschritte wird verzichtet, da es sich fast ausschließlich um Formatierungsarbeiten handelt. In Abbildung 33 ist ein Ausschnitt aus dem fertig bearbeiteten File zu sehen, wobei für jedes Jahr eine eigene Registerkarte angelegt wurde. Des Weiteren wurden Spalten eingefügt, um Abfragen für die nachfolgende Verbrauchsanalyse durchführen zu können.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ID	Adress	H	N	Bewohner & Beschreibung bei GV	Durchschnittsalter im HH	Gesamt EW im HH	pro Jahr	Prüfung GV & KV	Prüfung HH
1	Am Hof 110			Hilfe zur Ausgewogenheit			140	GV5	
2	Am Hof 112	4	0	<b>Janu Johannes Maria</b>	60,00		4 137	KV	H
3	Am Hof 126			Schiffahrt			147	GV5	
4	Aufsatzplatz 127	4	0	<b>Wimmer Rainer Leopold</b>	39,75		4 250	KV	H
5	Aufsatzplatz 128	3	0	<b>Ditachmair Michael</b>	66,00		3 100	KV	H
6	Aufsatzplatz 131	5	1	<b>Seethaler Karl Alois</b>	56,17		6 95	KV	M
7	Aufsatzplatz 133	4	3	<b>Gebetsroither Michaela</b>	41,00		7 115	KV	M
8	Aufsatzweg 63	8	0	<b>Schendl Seraphine</b>	61,63		8 344	KV	H
9	Aufsatzweg 95	4	0	<b>Klausner Maria</b>	85,75		4 184	KV	H
10	Baderplatz 107			Handelsgewerbe			136	GV3	
11	Bedeckte Stiege 41a	3	0	<b>Törö Theresia</b>	72,33		3 79	KV	H

Abbildung 33: Bearbeitete Darstellung der Verbrauchszahlen

### 4.2.3 Berücksichtigte Bevölkerung

Da in Hallstatt nicht jeder Haushalt über einen Wasserzähler verfügt und einige Haushalte außerhalb der Ortszonen liegen und somit nicht an das Netz angeschlossen sind, werden einige Personen in der Berechnung nicht berücksichtigt. Neben der Auflistung der berücksichtigten Personen werden auch gleich die Personen gelistet, welche in Hallstatt vom Tourismus leben. Grund für diese Einteilung der Bevölkerung ist die Tatsache, dass Hallstatt eine Gemeinde ist, welche vom Tourismus geprägt ist.

Tabelle 16: Berücksichtigte Personen der Verbrauchsdaten Jahr 2004

Daten für 2004	Hauptwohnsitz	Nebenwohnsitz	Gesamt
Personen, welche vom Tourismus leben (GV1 & GV2)	98	71	169
Personen Handel (GV3)	83	10	93
Personen Gastronomie (GV4)	16	13	29
Personen Gewerbe und Industrie (GV5)	74	13	87
Personen Sonstige (GV6)	5	0	5
Personen mit Wasserzähler	600	191	791
Gesamtbevölkerung	912	287	1199

Tabelle 17: Berücksichtigte Personen der Verbrauchsdaten Jahr 2013

Daten für 2013	H	N	Gesamt
Personen, welche vom Tourismus leben (GV1 & GV2)	91	41	107
Personen Handel (GV3)	57	13	70
Personen Gastronomie (GV4)	17	5	22
Personen Gewerbe und Industrie (GV5)	76	11	87
Personen Sonstige (GV6)	3	1	4
Personen mit Wasserzähler	589	184	773
Gesamtbevölkerung	793	284	1077

Erkennbar ist, dass sowohl 2004 als auch 2013 knapp 300 Personen nicht in der Verbrauchsanalyse berücksichtigt sind.

### 4.2.4 Shapefiles

Die Gemeinde Hallstatt stellte hier ein File zur Verfügung, wo sämtliche Adressen einen geografischen Bezug aufwiesen. In Abbildung 34 ist die Punktwolke dargestellt, jeder Punkt entspricht dabei einer Adresse. Dieser Bezug ist wesentlich für die Analyse der Einwohnerverteilung. Blieb die Verteilung innerhalb der Gemeinde seit 2004 unverändert oder siedelten sich die Menschen eher am Gemeinderand an? Punkte, welche deutlich außerhalb der Gemeinde liegen, verfügen über keinen Anschluss an das Trinkwassernetz und wurden somit aus der Datenbank entfernt.

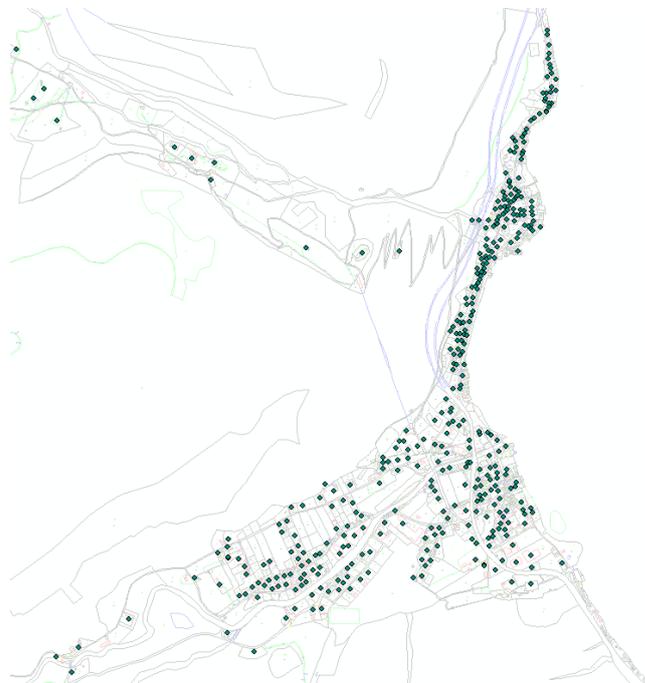


Abbildung 34: Punktwolke des Shapefiles Adressen

Um sich die Lage der Punkte besser vorstellen zu können, wurde ein Auszug der digitalen Kataster-Mappe als Hintergrund verwendet.

### 4.2.5 Leitungsplan

Die Gemeinde Hallstatt verfügt derzeit noch über keinen Leitungskataster (dieser ist jedoch in Arbeit, Stand 2014). Sämtliche Rohrleitungen sind in einem AutoCAD-Plan dokumentiert. Um das Leitungsnetz weiter bearbeiten zu können, musste der Plan (Abbildung 35) angepasst werden. Leider wurden viele Layer nicht richtig zugewiesen, so kam es beispielsweise vor, dass eine DN 150 Leitung mit dem Layer Wald gezeichnet wurde.

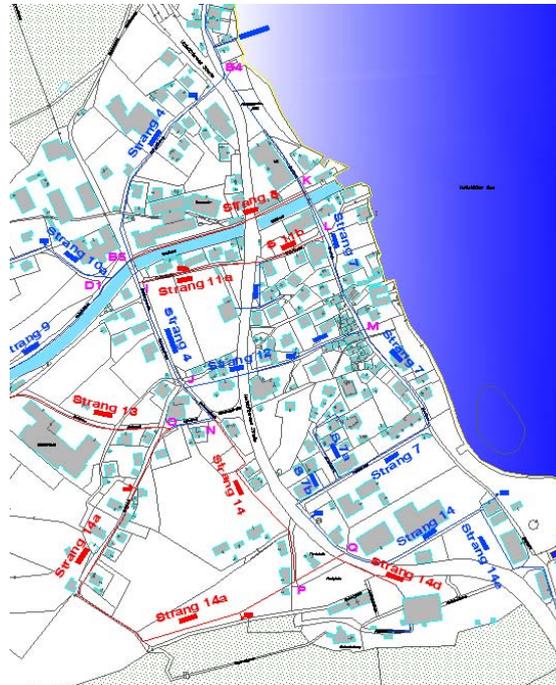


Abbildung 35: Ausschnitt des Rohrleitungsplans der Gemeinde Hallstatt

Der Plan wurde überarbeitet, dabei wurden die Zeichnungselemente auf die richtigen Layer gelegt und Daten, welche für das Modell nicht von Bedeutung sind, entfernt. In Abbildung 36 ist derselbe Ausschnitt wie in Abbildung 35 zu sehen, jedoch ließ sich dieser Plan einfach in ArcGIS importieren, sodass ein Leitungskataster ohne Probleme erstellt werden konnte. Wesentlich war dabei die Festlegung einer Layerordnung, dabei erhielt jedes Rohr mit einem anderen Durchmesser einen eigenen Layer.

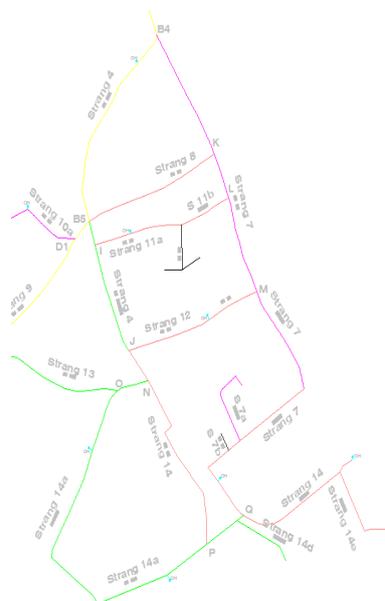


Abbildung 36: Importfähiger Leitungsplan Ausschnitt

### 4.3 Arbeitsschritte Modellierung

Im Folgenden werden die aufbereiteten Daten weiter bearbeitet bis hin zu den Endprogrammen, welche für die Ergebnis-Darstellung verwendet werden. Der Übersicht wegen werden Datenaufbereitung und durchgeführte Arbeiten in getrennten Kapiteln beschrieben.

#### 4.3.1 Meldedaten – Einwohneranalyse; Verbrauchszahlen – Wasserverbrauchszahlen

Folgend werden sämtliche Kennzahlen beschrieben und gelistet, welche im MS-Excel errechnet und zur Netzberechnung herangezogen werden. Auf Grundlage der Bevölkerungsentwicklung werden Szenarien definiert.

##### Kennzahlen

Folgende Kennzahlen wurden zu Beginn der Analyse definiert, um eine vertiefte Verbrauchsanalyse durchzuführen. Anhand dieser Kennzahlen soll später im Modell ein Verbrauch zugewiesen werden können. Somit wird es möglich sein, rein anhand der Einwohneranalyse Verbrauchsnetze zu bemessen oder zu erweitern.

Großverbraucher wurden bei den folgenden Kennzahlen nicht berücksichtigt. Alle Adressen wurden mittels Internetrecherche überprüft und in Großverbrauchergruppen eingeteilt (Abbildung 37).

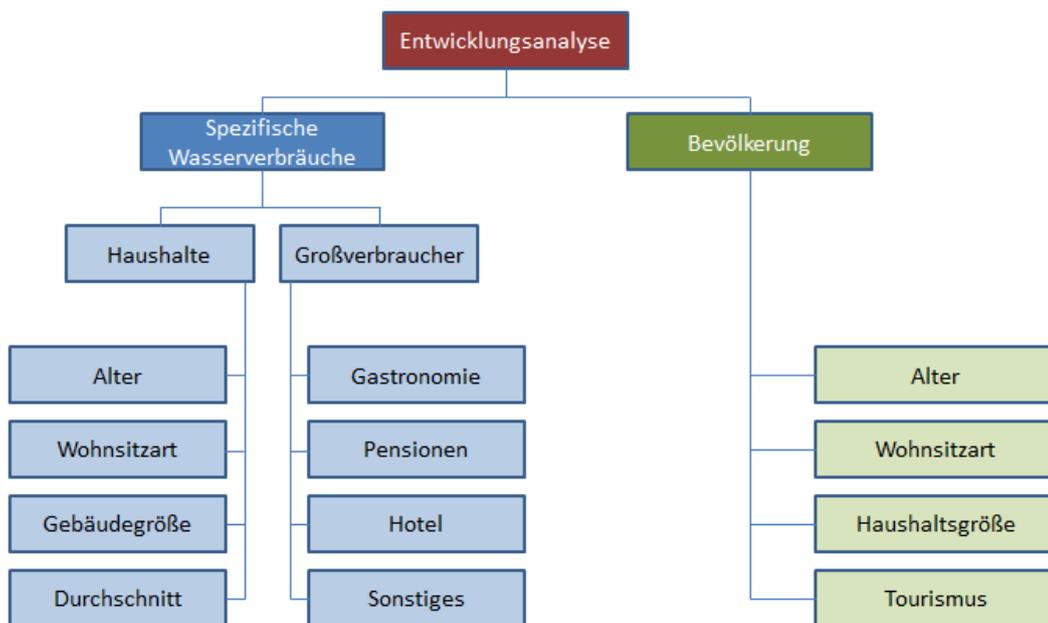


Abbildung 37: Übersichtsdarstellung der Entwicklungsanalyse

##### - Durchschnittlicher Pro-Kopf-Verbrauch

Diese Kennzahl errechnet sich aus dem Verbrauch, der an der jeweiligen Adresse gemessen wurde, geteilt durch die Anzahl der Bewohner in diesem Gebäude. Diese Kennzahl ist insofern wichtig, da sie ein Aussage über die Variabilität des Pro-Kopf-Verbrauches darstellt.

### - Pro-Kopf-Verbrauch nach Altersklassen

Die Bewohner wurden je nach Alter einer von drei Klassen zugewiesen. Die Klassenaufteilung ist in Tabelle 18 dargestellt.

Klasse	Alter
I	0 bis inkl. 14 Jahre
II	14 bis inkl. 39 Jahre
III	40 bis inkl. 64 Jahre
IV	Älter als 65 Jahre

Tabelle 18: Verwendete Altersklassen in der Entwicklungsanalyse

Grund für diese Einteilung war die Anzahl der darin befindlichen Werte. Würde man die erste Klasse nochmals unterteilen, um gleiche Klassenbreiten zu erhalten, wäre die Anzahl der Werte in der ersten Klasse zu gering.

Mit dieser Kennzahl soll der Einfluss des Alters auf den Verbrauch evaluiert werden. Ausschlaggebend ist somit nur das durchschnittliche Alter.

### - Pro-Kopf-Verbrauch nach Haushaltsgröße

Für diese Kennzahl wurden die Gebäude nach Einwohnergröße sortiert. Tabelle 19 zeigt die Gliederung. Sämtliche Wasserverbrauchszahlen sind wieder pro Kopf gerechnet.

Tabelle 19: Verwendete Haushaltsgrößen in der Entwicklungsanalyse

Klasse	Gebäudegröße
I	1 Person
II	2 Personen
III	3 Personen
IV	4 Personen
V	Größer 4 Personen

Mit dieser Kennzahl soll geprüft werden, ob ein 1-Personen-Haushalt mehr Pro-Kopf-Verbrauch aufweist als ein 4-Personen-Haushalt.

### - Pro-Kopf-Verbrauch nach Wohnsitzart

Für diese Kennzahl werden die Pro-Kopf-Verbrauchszahlen in 3 Klassen (Tabelle), je nach Wohnsitzart, die in diesem Gebäude vorherrschend ist, eingeteilt.

Tabelle 20: Verwendete Wohnsitzarten in der Entwicklungsanalyse

Klasse	Alter
I	Nur Hauptwohnsitz (HW)
II	Nur Nebenwohnsitz (NW)
III	Haupt- und Nebenwohnsitz (MW)

Mit dieser Kennzahl soll überprüft werden, ob eine Verbrauchsrechnung nur anhand des Wohnsitzes durchführbar ist.

### Zusammenführen der Daten

Um eine Bedarfsermittlung durchführen zu können, muss die gesamte Bevölkerung berücksichtigt werden. Sämtliche Bedarfskennzahlen müssen somit mit den Meldedaten, im Zuge dieser Arbeit mit denen des Jahres 2014, verknüpft werden.

Zum Zusammenführen der Meldelisten mit den Verbrauchszahlen wurde hauptsächlich die Adresse verwendet. Sollten Verbraucherzahlen keine Adresse haben, wurde der Name verwendet. Verbrauchszahlen, welche nicht zuweisbar waren, wurden gelistet und mit der Gemeinde Hallstatt abgeklärt.

In den Meldelisten wird ein Gebäude in Haushalte unterteilt. Beispielsweise ist die Adresse Am Hof 110/1 und Am Hof 110/2 gelistet. Diese wurden zur Verbrauchsanalyse zu einer Position zusammengefasst, da sich der Verbrauch auf das gesamte Gebäude bezieht.

### 4.3.2 AutoCAD – ArcGIS (Leitungskataster) – WaterGEMS

Nachdem sämtliche Netzkomponenten (Leitungen und Knoten) in ArcGIS importiert wurden, konnte mit dem Editieren begonnen werden. Für die Darstellung der Netzkomponenten wurden folgende Shapefiles erstellt: Leitungen, Knoten, Behälter, Hydranten. Die Verteilung der Knoten auf den Leitungen ist wichtig, um die Höhen korrekt zuweisen zu können. In Abbildung 38 ist der fertige Leitungskataster dargestellt.

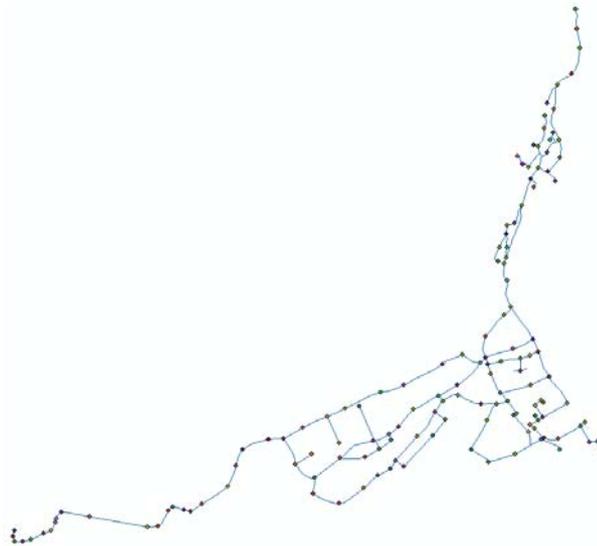


Abbildung 38: Leitungskataster mit ArcMAP digitalisiert

Der Vorgang des Importes eines dwg-files in ArcGIS ist im Anhang 7.1 genauer ausgeführt.

Im nächsten Arbeitsschritt mussten dem lagerichtigen Modell Höhenknoten hinzugefügt werden. Dazu wurde von der Gemeinde Hallstatt ein Raster mit einer Auflösung von 10m zur Verfügung gestellt, welcher als Grundlage für die Höheninterpolation der Leitungsstützpunkte diente.

Mithilfe der zur Verfügung gestellten Tools im ArcMap wurden die Tabellen-Daten mit dem Befehl „X,Y-Daten hinzufügen“ in Arcmap geladen.

Mit dem importierten Raster konnte im nächsten Schritt ein Höhenmodell erstellt werden. Das dementsprechende Tool nennt sich „pointtoraster“. Dabei wird die featureclass ausgewählt und in ein Höhenmodell umgewandelt (Abbildung 39).

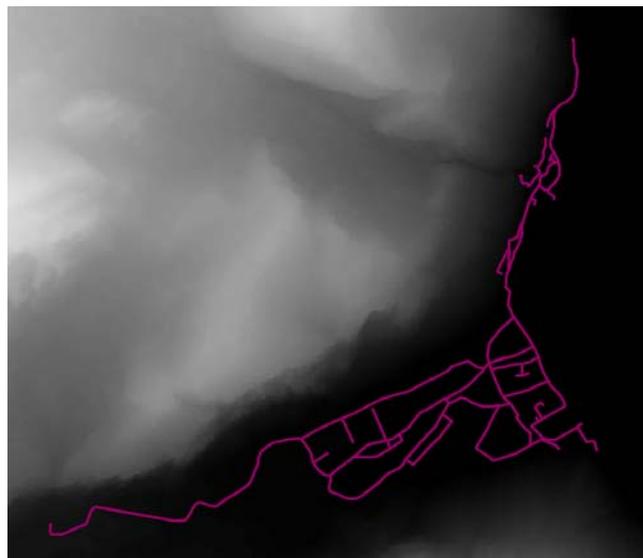


Abbildung 39: Geländemodell Marktgemeinde Hallstatt

Ist das Geländemodell fertig erstellt, wird mit „Extract values to point (spatial analyst)“ jedem Knoten, welcher mit dem Shapefile „Hoehe“ modelliert wurde, eine Höhe zugewiesen. ArcMap

errechnet die Höhe aus dem zuvor erstellten Höhenmodell und weist sie entsprechend der Lage des Knotens zu.

Da nun sowohl die Quelle als auch sämtliche Höhenpunkte sowie Leitungen modelliert wurden, konnte das Leitungsnetz in WaterGEMS importiert werden.

Im letzten Schritt wurde der Bedarf in die Datenbank eingefügt. Mithilfe des Tools „Feature“ lassen sich Datensätze, beispielsweise aus Excel-Files, vorhandenen Datenbanken zuweisen. Als Grundlage wurde das Shapefile „Adressen“ (Kapitel 4.2.4) verwendet. Sämtliche Bedarfszahlen der unterschiedlichen Szenarien wurden in einem eigenen Shapefile „Szenarien“ abgespeichert, das ist wichtig, um die Verbrauchszuweisung in WaterGEMS einfach und übersichtlich durchführen zu können.

### 4.3.3 Import in WaterGEMS

In diesem Arbeitsschritt wird der mit ArcMap erstellte Leitungskataster in die hydraulische Modellierungssoftware WaterGEMS importiert, um eine hydraulische Bemessung durchführen zu können.

Der Import von ESRI Shapefiles ist mittels ModelBuilder einfach möglich. Dabei werden Shapefiles in das Programm geladen und direkt für die hydraulische Berechnung verwendet. Der Import gestaltet sich sehr einfach und wird auch hier nicht näher erläutert, da in jedem Fenster ausreichend Hilfe von WaterGEMS zur Verfügung gestellt wird.

Einzig im letzten Fenster, bevor der Import abgeschlossen wird, gibt es einige wichtige Auswahlfelder zu beachten (Abbildung 40).

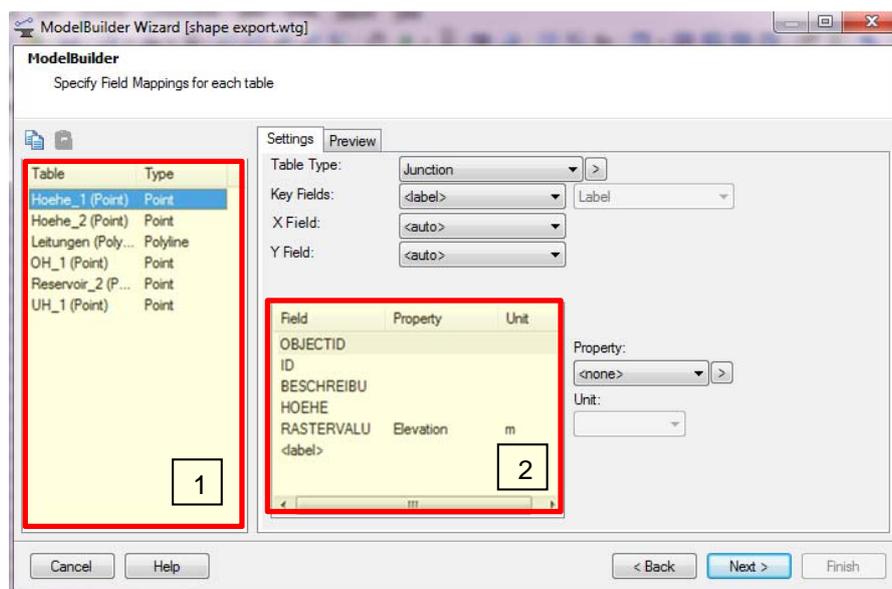


Abbildung 40: Auszug aus dem WaterGEMS ModelBuilder

In folgender Tabelle sind die Eigenschaften, welche aus dem Shapefile in das Modell übernommen werden sollen, gelistet. In Abbildung 40 soll WaterGEMS die Höheninformation des Shapefiles „Hoehe\_1“ übergeben werden. Dazu wählt man links (1) das entsprechende Shapefile aus, in Feld 2 wird das Attribut, in dem die Höhe des Shapefiles gespeichert ist, markiert (RASTERVALUE). Im letzten Arbeitsschritt kann im Drop-down-Menü „Property“ der Punkt „Elevation“ gewählt werden.

Dieser Vorgang ist für alle weiteren Shapefiles ident, egal, ob es sich um eine Höheninformation oder beispielsweise einen Durchmesser handelt.

Als erster Testlauf wird nicht der tatsächliche Verbrauch der Marktgemeinde Hallstatt eingesetzt, da lediglich das Modell getestet werden soll, um zu sehen, ob die Verbindungen der Rohre, Knoten und Hydranten übereinstimmen. Dazu wird ein globaler Knotenverbrauch

angesetzt, dessen Größe nicht weiter von Bedeutung ist. Nach dem ersten erfolgreichen Modelldurchlauf kann mit dem tatsächlichen Bedarf gearbeitet werden.

In Kapitel 3.3.3 sind die unterschiedlichen Möglichkeiten der Bedarfszuweisung beschrieben. Im Zuge dieser Arbeit wird die Zuweisung über die nächste Punkt-Methode durchgeführt.

Die Zuweisung erfolgt mittels eines Loadbuilders, welcher den Verbrauch aus einem Shapefile nach der ausgewählten Methode den Modellknoten zuweist.

### 4.3.4 Anpassen des hydraulischen Modells

Im August 2014 war es möglich, die Arbeit vor Ort in Hallstatt zu präsentieren. Im Zuge dieser Präsentation wurden der Hochbehälter, die Quelle, die Brunnen sowie generelle Gegebenheiten in Hallstatt besichtigt. Des Weiteren wurden wichtige Daten aus dem Steuerungsprogramm der Marktgemeinde in Form von MS-Excel-Files exportiert. Folgende Information konnte nun in das Modell integriert werden:

Tagesganglinie: Zufolge der Abgabemenge des Hochbehälters und der Information des Wassermeisters.

Brunnen: Es gibt zwei Brunnen, welche bei einer unzureichenden Wasserqualität der Quelle verwendet werden. Bei starken Regenfällen ist die Trübung, bedingt durch das Karstgebiet, zu hoch. Ein Sensor im Hochbehälter überprüft kontinuierlich die Trübung, wird ein voreingestellter Wert überschritten, erfolgt die Entnahme aus den beiden Brunnen. Die Modellierung eines Brunnens erfolgt mittels Reservoirs und Pumpe (Abbildung 41).

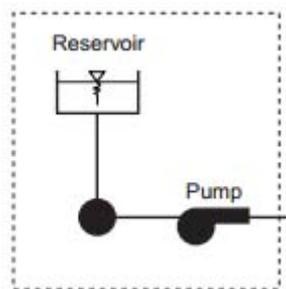


Abbildung 41: Modellierung eines Brunnens im EPANET

Da keine exakten Daten zum Betrieb sowie zum Typ der Pumpen bekannt sind, werden diese angenommen. Zur Modellierung der Pumpe wurden folgende Eckdaten benötigt:

Höhe des Reservoirs: 464m.ü.A.

Höhe der Pumpe: 465m.ü.A

Höchster Punkt im Versorgungsnetz: 580m.ü.A.

Förderhöhe ohne Verluste: 580m.ü.A.

Sämtliche Daten wurden aus dem im Zuge der Arbeit erstellten Leitungskataster entnommen. Des Weiteren wurde mittels EPANET eine Pumpenkurve (Abbildung 42) angenommen.

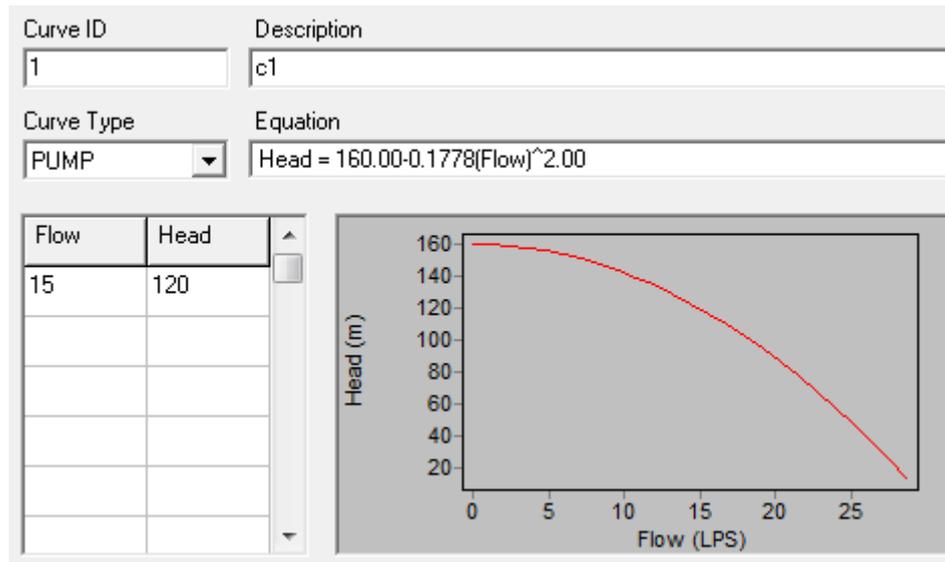


Abbildung 42: Angenommene Pumpenkurve zur Versorgung aus den Brunnen

Als weitere Besonderheit wird in der hydraulischen Modellierung nur ein Brunnen dargestellt. Da diese alternierend betrieben werden und nur immer eine Pumpe aktiv ist, macht es wenig Sinn, beide darzustellen. Zur Modellierung wird die letzte Leitung zum Hochbehälter als geschlossen modelliert, um sämtliches Trinkwasser direkt aus dem Brunnen zu entnehmen.

Wasserverluste: Vor allem die Bereiche Lahn und Echerntal haben, nach Auskunft des Wassermeisters, Verluste in der Höhe von 6-7l/s.

Wasserabgabe: Zu Spitzenzeiten werden mehr als 15 l/s (inkl. Verlusten) in das Netz eingespeist.

Rohrmaterialien: Da bei manchen Rohren das Material nicht bekannt ist, wurden sämtliche Rohre als PVC-Rohre modelliert. Nach Auskunft der Gemeinde findet in den Rohren absolut keine Korrosion statt, somit ist der Einfluss auf die Rohrrauigkeit zufolge Inkrustation vernachlässigbar.

Mit diesen Daten konnte das Modell den Gegebenheiten angepasst werden. Trotz der Vielzahl an Daten aus dem Leitsystem wurden im Zuge dieser Arbeit nur wenige verwendet, da es hauptsächlich um Daten die Wasserqualität betreffend geht, wie Trübungswerte, Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert.

Zuerst wurde mittels Loadbuilders, einem Tool in Watergems, welches verwendet wird, um Verbrauchsdaten aus Shapefiles zu importieren, der Verbrauch des Jahres 2013 importiert.

## 4.4 Analyse der Grunddaten

### 4.4.1 Einwohneranalyse – Hallstatt

In dieser Zusammenstellung soll das Ergebnis der Einwohneranalyse dargestellt werden. Eine Übersicht ist in Abbildung 37 dargestellt.

#### 4.4.1.1 Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerung in Hallstatt ist in den letzten Jahren stetig gefallen. Bereits in der Grundlagenerhebung im Jahre 2012, welche nach ÖEK 2 und FWP 4 2001 erstellt wurde, wird auf die Problematik des Bevölkerungsrückganges aufmerksam gemacht. Folgende Abbildung zeigt die Bevölkerungsentwicklung seit 1951:

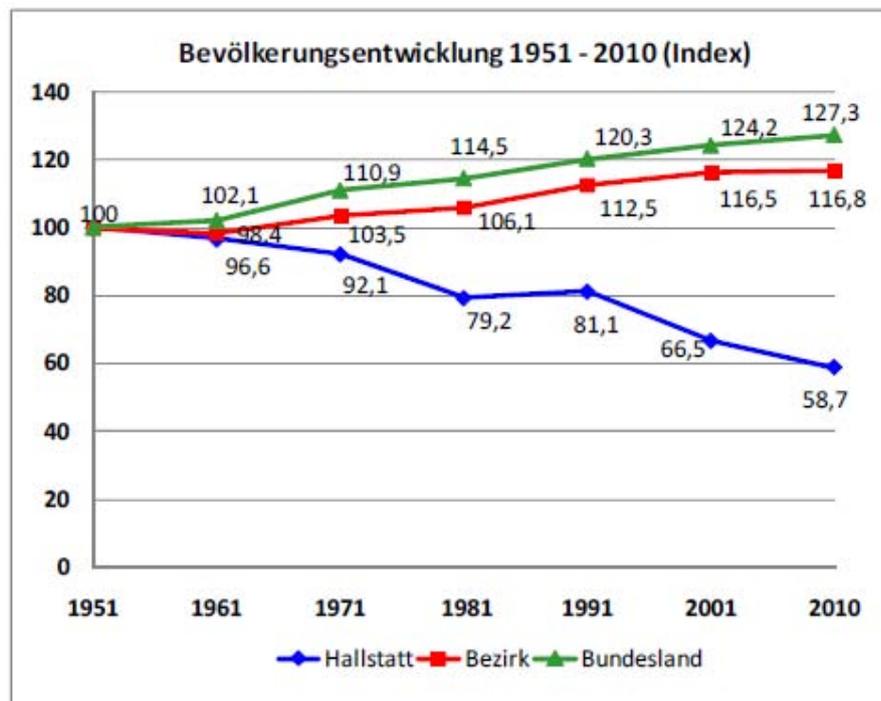


Abbildung 43: Bevölkerungsentwicklung aus der Grundlagenerhebung 2012

In Abbildung 43 erkennt man einen Bevölkerungsrückgang von 42,3%, wobei in dieser Analyse nur Hauptwohnsitze berücksichtigt sind. Die Anzahl der Einwohner bis 2014 ist weiterhin gefallen, wie in den Diagrammen der Altersentwicklung sowie der Wohnsatzentwicklung zu sehen ist. In folgenden Abbildungen sind die Haushalte dargestellt, wobei die Größe der Punkte den Personen entspricht (größerer Durchmesser bedeutet, dass mehr Personen in diesem Haushalt wohnen). Werden zu der Verteilung der Haushalte gemäß den Abbildungen noch die Absolut-Werte betrachtet, erkennt man, dass sowohl in der Ortszone Markt als auch Lahn vermehrt Absiedelung stattgefunden hat, während Echerntal in den letzten Jahren einen minimalen Bevölkerungszuwachs erfahren hat.

Die Ortsteile sind Echerntal (grün), Lahn (rosa) sowie Markt (braun).

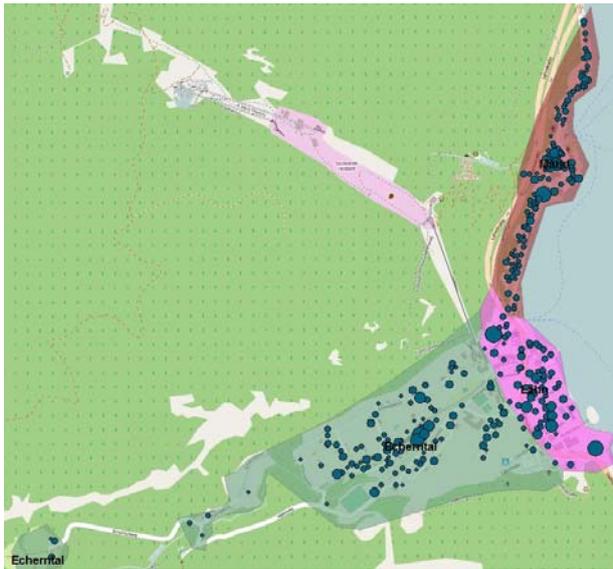


Abbildung 44: Darstellung der Haushalte 2004



Abbildung 45: Darstellung der Haushalte 2014

Tabelle 21: Personenzuwachs bzw. -abgang nach Ortszonen für Haupt- und Nebenwohnsitze

Ortszone	Personen 2004	Personen 2014	Differenz in Personen
<b>Markt</b>	398	362	- 36
<b>Echerntal</b>	400	410	+ 10
<b>Lahn</b>	344	285	- 59
<b>Summe</b>	1142	1057	- 85

Der Unterschied zwischen der Personenanzahl der obigen Tabelle sowie jener der Abbildung 46 ergibt sich durch die Verteilung der Haushalte. Es fallen nicht alle Haushalte in eine der drei berücksichtigten Ortszonen. Eine Unterteilung in HW und NW ist nicht notwendig, da die NW in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben sind (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47).

Dies spielt bei der Festlegung der Szenarien zur Optimierung der Trinkwasserversorgung eine wesentliche Rolle. Sollte sich dieser Trend die nächsten Jahre fortsetzen, was zu erwarten ist, wird es schwierig sein, ein Netz sowohl für starken Tourismusbesuch als auch für die in Hallstatt wohnende Bevölkerung wirtschaftlich zu betreiben.

#### 4.4.1.2 Wohnsitzentwicklung

In Abbildung 46 ist die Wohnsitzentwicklung von 2004 bis 2014 dargestellt. Die Anzahl der Nebenwohnsitze schwankte in den letzten 10 Jahren, in Summe ergibt sich jedoch nur ein Rückgang von 3 Personen.

Anders sieht es bei der Entwicklung der Hauptwohnsitze aus. Ein deutlicher Rückgang von 912 zu 793 Personen (-119 Personen) macht abermals die immer geringer werdende Bevölkerungszahl von Hallstatt deutlich.

Setzt sich der Verlauf der letzten Jahre fort, muss mit einem weiteren Rückgang an Hauptwohnsitzen gerechnet werden, selbst wenn im Jahr 2014 8 Personen mehr als im Jahr 2013 ihren Hauptwohnsitz in Hallstatt hatten. Die Nebenwohnsitze dagegen werden auf dem jetzigen Niveau bleiben bzw. eher noch zunehmen (+18 Personen in den letzten 3 Jahren). Da anzunehmen ist, dass Personen mit Nebenwohnsitz Hallstatt vermehrt zur Urlaubszeit besuchen, wirkt sich dies ebenfalls negativ auf den Betrieb des Netzes aus, da die ohnehin vorhandenen Tourismusspitzen im Verbrauch nochmals erhöht werden.

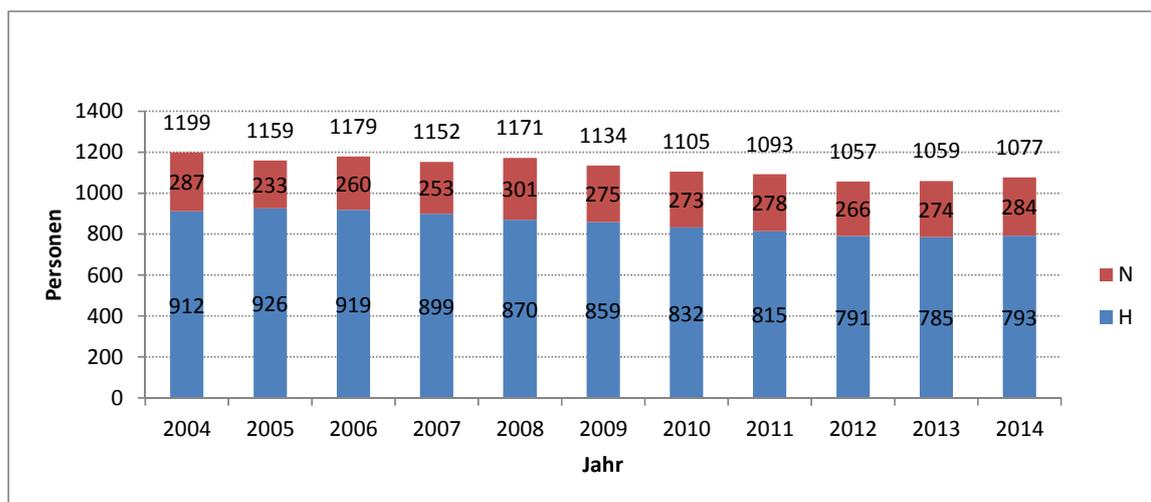


Abbildung 46: Entwicklung der Wohnsitze, absolut

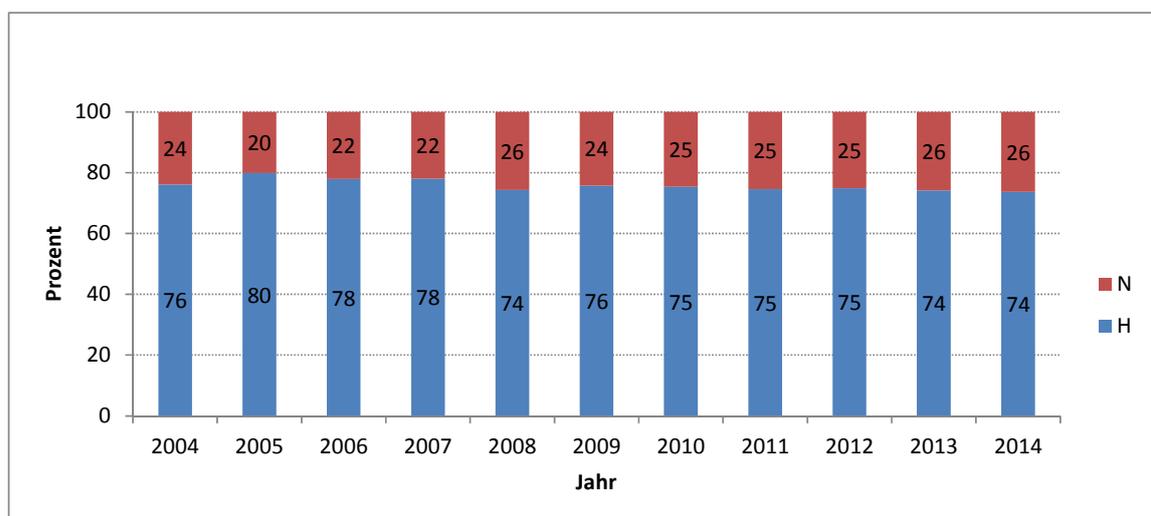


Abbildung 47: Entwicklung der Wohnsitze, relativ

### 4.4.1.3 Altersentwicklung

Abgesehen von der geringer werdenden Einwohneranzahl wird die Bevölkerung in Hallstatt immer älter. Junge Personen wandern aufgrund zu geringer Jobchancen und Ausbildungsmöglichkeiten aus der Marktgemeinde aus. Nach der Untersuchung von SCHÖNEGGER (2012) ergab sich im Zeitraum von 2002 bis 2009 eine Abwanderung von -140 Personen. In Abbildung 48 ist die Anzahl der Personen pro Altersklasse der letzten 10 Jahre dargestellt.

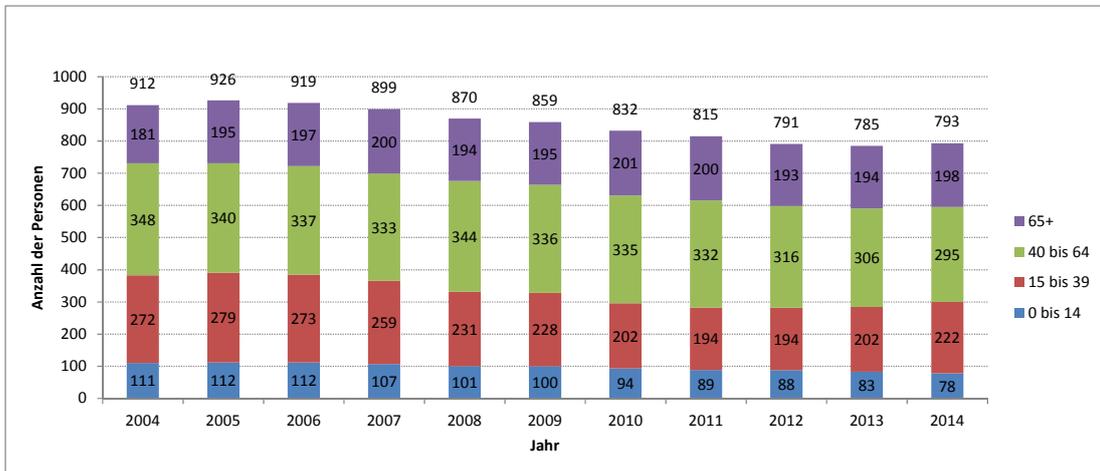


Abbildung 48: Altersentwicklung, absolut (nur Hauptwohnsitze)

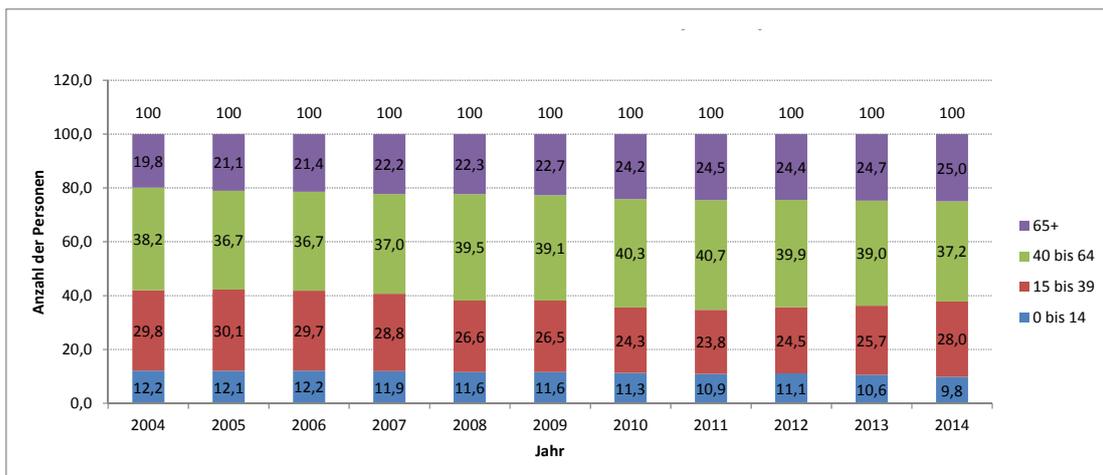


Abbildung 49: Altersentwicklung, relativ (nur Hauptwohnsitze)

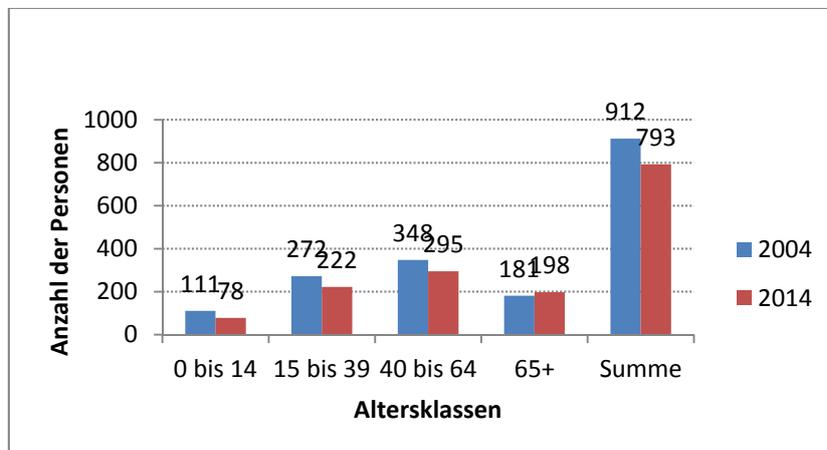


Abbildung 50: Vergleich Einwohnerzahlen 2004 und 2014 (nur Hauptwohnsitze)

In Abbildung 50 ist ein Vergleich der Jahre 2004 und 2014 zu sehen. Dabei ist der größte Rückgang in der Altersgruppe der 40- bis 64-Jährigen zu erkennen. Mit -53 Personen (-1%) liegt dieser Wert jedoch nur unwesentlich höher als der Verlust der 15- bis 39-Jährigen mit -50 Personen (-2%) sowie der 0- bis 14-Jährigen mit -33 Personen (2%). Lediglich die Gruppe der 65+-Jährigen stieg von 2004 bis 2014 um +17 Personen (+5%).

#### 4.4.1.4 Haushaltsgrößenentwicklung

Bereits im OEK (2001) wurde festgestellt, dass der Trend in Richtung Kleinfamilie geht. Damals betrug die durchschnittliche Haushaltsgröße 2,54 Personen pro Haushalt. In folgenden Darstellungen werden nur Hauptwohnsitze berücksichtigt, da Personen, die ihren Nebenwohnsitz in Hallstatt haben, nur von Zeit zu Zeit vor Ort sind und nicht dauernd dort leben.

Als Vergleichswert für die durchschnittliche Haushaltsgröße kann das Ergebnis aus dem OEK2, 2012 herangezogen werden. In dieser Untersuchung ergaben sich 1,86 EW/Haushalt. Dieser Wert ist knapp 0,2 EW niedriger als das Ergebnis im Zuge dieser Arbeit.

Die Auswertung der Meldelisten der Jahre 2004 bis 2014 ergab jedoch nur geringe Verschiebungen. Eine eindeutige Tendenz hin zum 1-Personen-Haushalt ist nicht erkennbar.

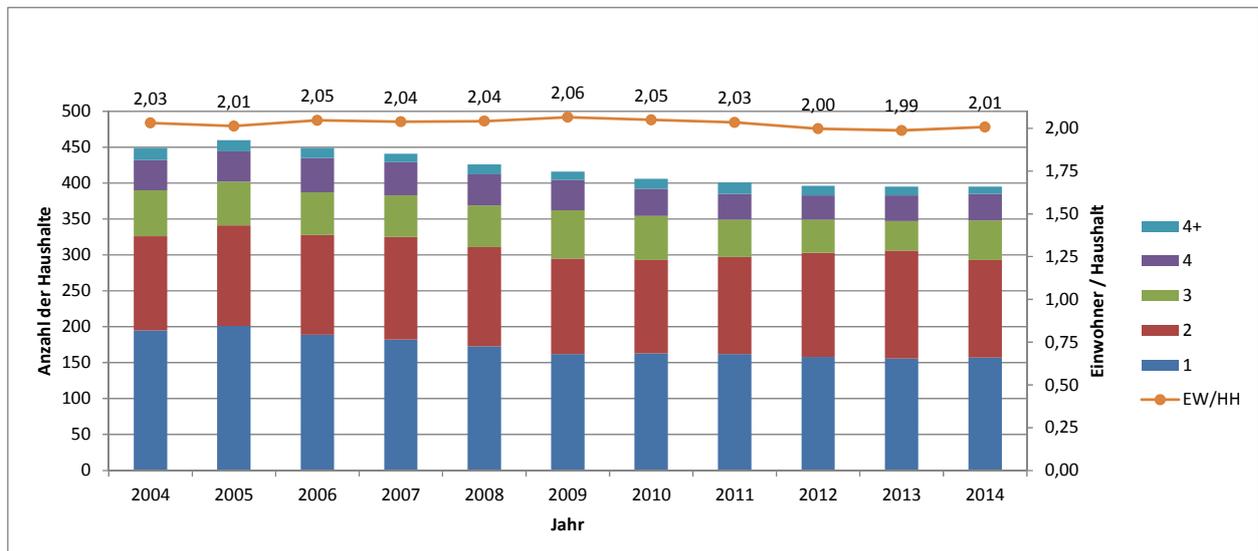


Abbildung 51: Haushaltsgrößenentwicklung, absolut

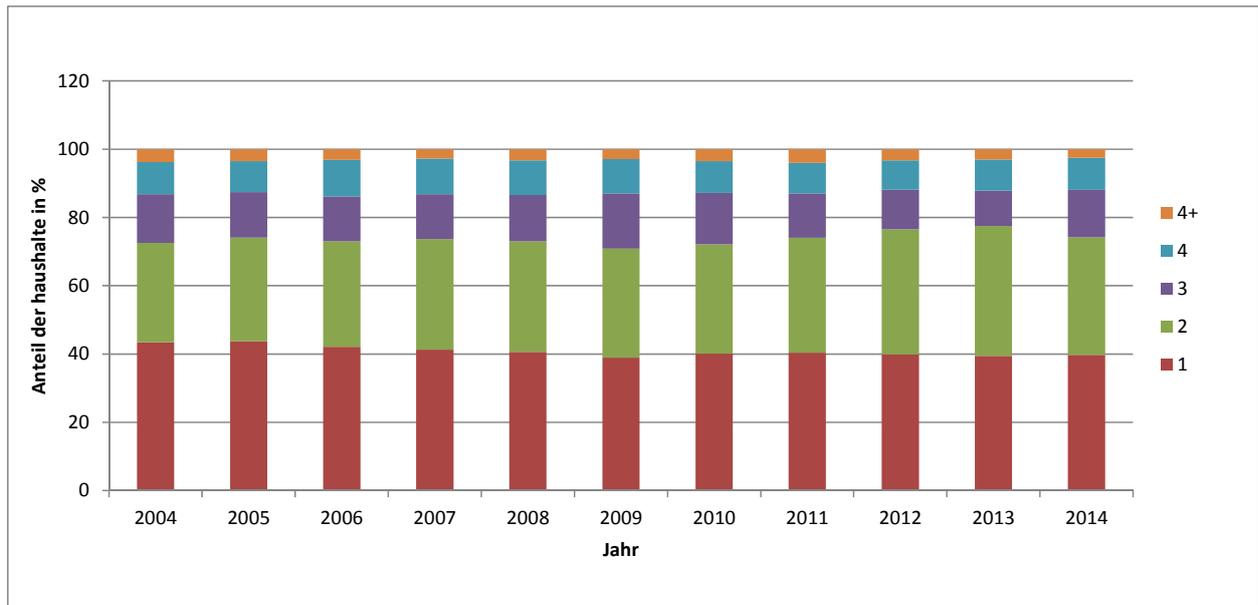


Abbildung 52: Haushaltsgrößenentwicklung, relativ

**Ergebnisse im Überblick:**

- Die Gesamtbevölkerung ging in den letzten 60 Jahren um 42,3% zurück.
- Die Absiedelung der letzten 10 Jahre hat in der Gemeindezone Lahn (-59 Personen) sowie der Zone Markt (-36 Personen) stattgefunden.
- Die Anzahl der Nebenwohnsitze blieb nahezu konstant.
- Die Anzahl der Hauptwohnsitze reduzierte sich von 2004 (912 Personen) bis 2014 (793 Personen) um 119 Personen.
- Altersentwicklung für Hauptwohnsitze:

Tabelle 22: Einwohner in Altersklassen eingeteilt

Altersklasse	1 (0-14 Jahre)	2 (15-39 Jahre)	3 (40-64 Jahre)	4 (65+ Jahre)
<b>2004</b>	111	272	348	181
<b>2014</b>	78	222	295	198

- Das Verhältnis der Haushaltsgrößen blieb nahezu unverändert

### 4.4.2 Analyse der Tourismusentwicklung

Zur Darstellung der Tourismus-Gegebenheiten wurden Daten von STATISTIK Austria verwendet.

In Abbildung 53 ist zu erkennen, dass sowohl Ankünfte als auch Nächtigungen in den letzten Jahren gestiegen sind. Während die Anzahl der Touristen steigt, wird die Nächtigungsdauer geringer. Nach Auskunft der Marktgemeinde bleiben jedoch die Touristen länger in Hallstatt als noch vor einigen Jahren, der scheinbare Rückgang der Nächtigungsdauer ergibt sich zwangsläufig durch den enormen Anstieg der Ankünfte.

In folgenden Abbildungen ist die Entwicklung des Tourismus dargestellt. Ein enormer Anstieg an Ankünften als auch an Übernachtungen ist zu erkennen.

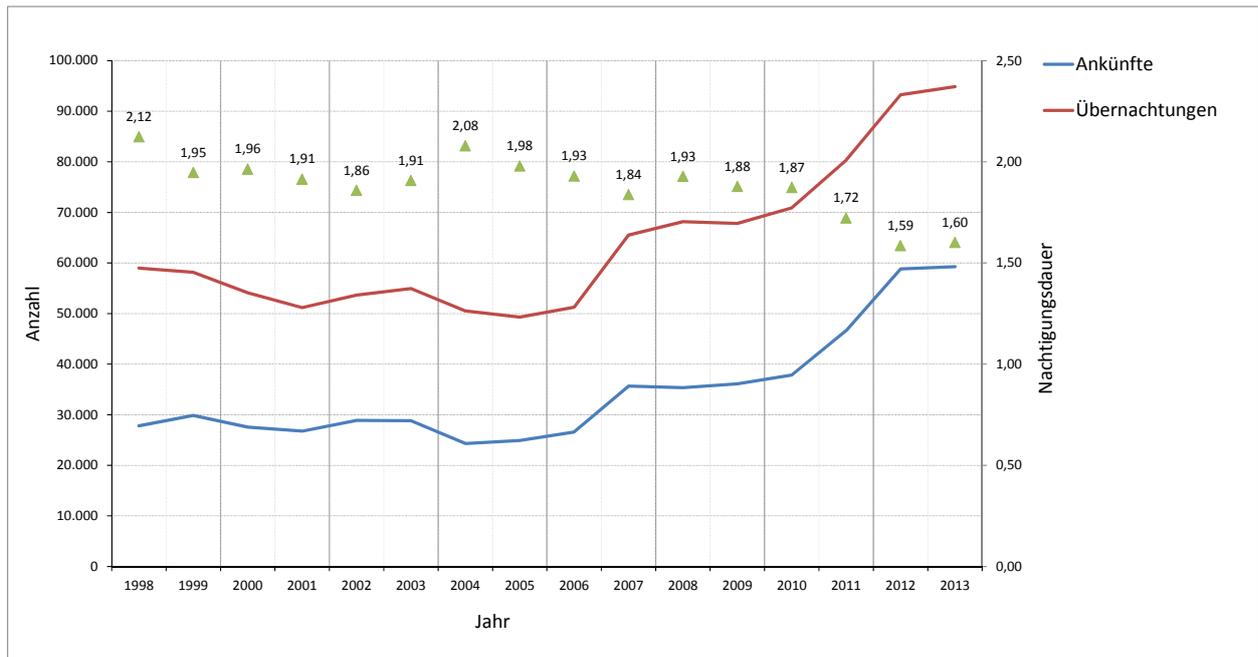


Abbildung 53: Darstellung der Touristenankünfte und Übernachtungen sowie der Übernachtungsdauer

Abschließend sind in Tabelle 23 die Touristen nach deren Herkunft aufgelistet. Ohne näher auf die Entwicklung einzugehen, ist jedoch deutlich ersichtlich, dass die Touristenzahlen zunehmen. Vor allem Reisende aus Deutschland, China, Japan, den USA und Tschechien nahmen in den letzten Jahren zu.

Tabelle 23: Besucherankünfte in Hallstatt

	Jan. - Dez. 2007	Jan. - Dez. 2008	Jan. - Dez. 2009	Jan. - Dez. 2010	Jan. - Dez. 2011	Jan. - Dez. 2012
Austria	9.416	9.141	10.363	8.884	11.521	12.771
Germany	6.034	6.242	6.078	4.416	5.478	6.727
Belgium	234	176	190	252	313	186
China	376	490	815	1.100	2.394	4.539
Denmark	193	228	234	169	257	237
France (incl. Monaco)	731	653	692	915	759	892
Italy	1.001	823	801	971	803	865
Japan	659	519	705	924	1.281	1.930
Netherlands	529	714	548	467	579	592
Poland	197	381	265	272	327	459
Romania	180	399	229	263	155	197
Russia	47	108	110	393	372	510
Sweden	174	231	175	217	220	264
Switzerland und Liechtenstein	227	315	326	358	650	382
Slovakia	99	159	290	328	287	319
Spain	361	394	595	816	875	722
Czech Republic	2.520	3.316	3.288	2.733	2.277	2.632
Hungary	1.043	1.132	861	886	1.163	1.738
USA	3.659	3.166	3.306	4.016	3.398	4.417
Great Britain	1.486	1.279	1.128	811	2.162	1.634
Other countries	4.959	5.479	5.114	8.671	11.373	16.803

Zusammenfassend ist ein deutlicher Anstieg des Tourismus zu erkennen. Dabei ist nicht zu erwarten, dass sich der Tourismus in Hallstatt in den nächsten Jahren rückläufig entwickeln wird. Nach Angaben des Tourismusverbandes Inneres Salzkammergut ist im Winter eine Bettenauslastung von 10% (Minimalwert vom November) vorhanden, während in Spitzenmonaten im Sommer (Juli und August) die Bettenauslastung zwischen 70 und 75% liegt. Diese Zahlen stellen den Durchschnitt dar, da vor allem die Hotels zeitweise zu 100% belegt sind.

### Ergebnisse im Überblick:

- **1998:** 28.000 Ankünfte und 59.000 Übernachtungen bei einer Nächtigungsdauer von 2,12 Tagen
- **2013:** 60.000 Ankünfte und 95.000 Übernachtungen bei einer Nächtigungsdauer von 1,6 Tagen

### 4.4.3 Verbrauchsanalyse – Hallstatt

Die in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Kennzahlen werden in diesem Kapitel quantifiziert. Da nicht in jedem Haushalt ein Wasserzähler existiert, mussten einige Abweichungen im Vergleich zur Einwohneranalyse getroffen werden. Es wurden nur jene Adressen berücksichtigt, welche einen Verbrauch aufwiesen.

#### 4.4.3.1 Summierter Verbrauch der vorhandenen Daten

Bevor die Ergebnisse der vertieften Verbrauchsanalyse dargestellt werden, soll in diesem Kapitel ein Überblick über den Jahresverbrauch gegeben werden. Dabei wird zwischen Großverbraucher und Kleinverbraucher unterschieden. Die genauere Beschreibung der GV findet sich in Kapitel 4.4.4. In Abbildung 54 ist der summierte Verbrauch der vorhandenen Daten dargestellt, diese Werte entsprechen nicht dem Gesamtverbrauch der Gemeinde, da einige Haushalte keinen Wasserzähler installiert haben (vor allem jene am Rand des Netzes, um die Leitungen vor Frost zu schützen). Die blauen Balken stellen die Kleinverbraucher dar und die roten, welche den größeren Teil des Verbrauchs ausmachen (ca. 70%), die Großverbraucher.

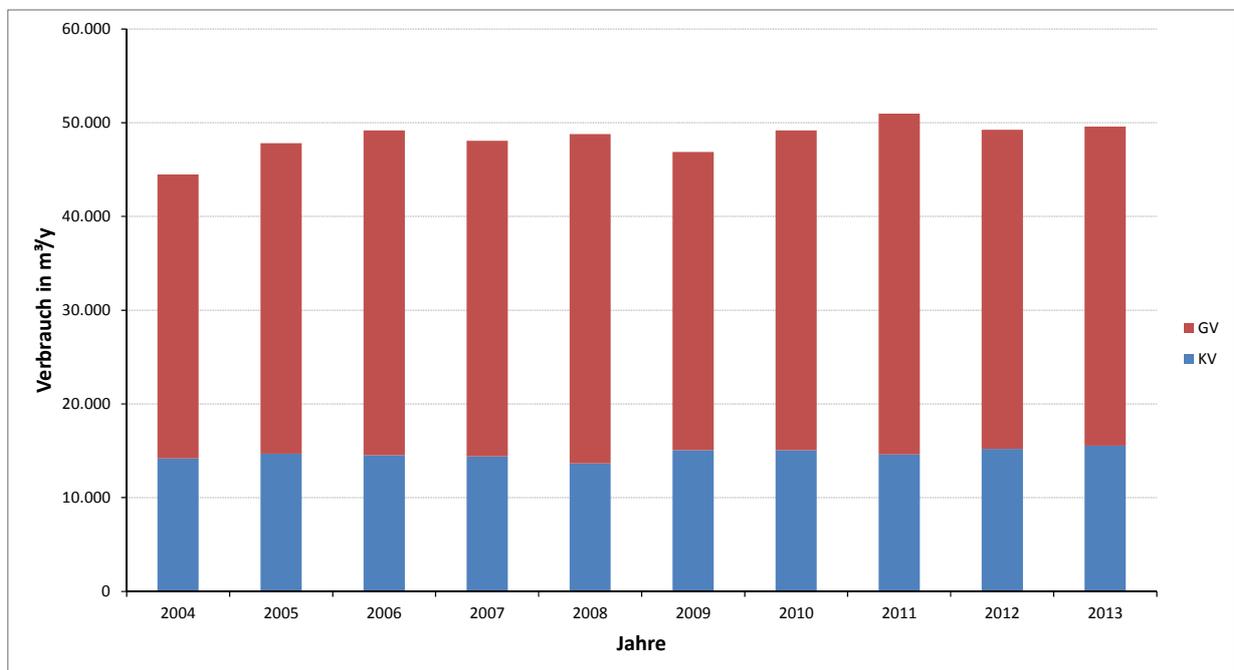


Abbildung 54: Summierter Verbrauch der vorliegenden Verbrauchsdaten, absolut

Tabelle 24 zeigt den oben abgebildeten Verbrauch als relative Zahlen. Es ist zu erkennen, dass sich das Verhältnis zwischen Großverbraucher und Kleinverbraucher nicht verschiebt, die Anteile haben sich in den letzten 10 Jahren nicht merklich verschoben.

Tabelle 24: Prozentuale Aufteilung zwischen Großverbraucher und Kleinverbraucher

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
KV	32%	31%	30%	30%	28%	32%	31%	29%	31%	31%
GV	68%	69%	70%	70%	72%	68%	69%	71%	69%	69%

**Abschätzung des jährlichen Wasserbedarfs:**

Da, wie oben erwähnt, die Verbrauchszahlen nicht alle Einwohner der Gemeinde berücksichtigen, wird im Folgenden grob der Jahresverbrauch abgeschätzt. Dazu wird die Einwohnerzahl des Jahres 2013 mit 783 EW in Kleinverbraucher-Haushalten verwendet. Neben den Kleinverbrauchern wird der Verbrauch der Großverbraucher aus demselben Jahr angesetzt, inkl. eines Zuschlages von 10%. Somit ergibt sich mit dieser Abschätzung ein Jahresverbrauch von etwas über 70.000m<sup>3</sup>.

Die Marktgemeinde Hallstatt ermittelt den ungefähren Wasserverbrauch über den Wasserpreis. Mit einer Schätzung von 78.000m<sup>3</sup> jährlich (Auskunft der Gemeinde) liegt der Verbrauch über der Schätzung dieser Arbeit. Durch die Annahme eines Pauschalpreises für Gartenbewässerung (siehe Abbildung 55) wird jedem Haushalt mit Garten ein Verbrauch von 50m<sup>3</sup> zugewiesen, unabhängig davon, ob diese auch tatsächlich verbraucht werden.

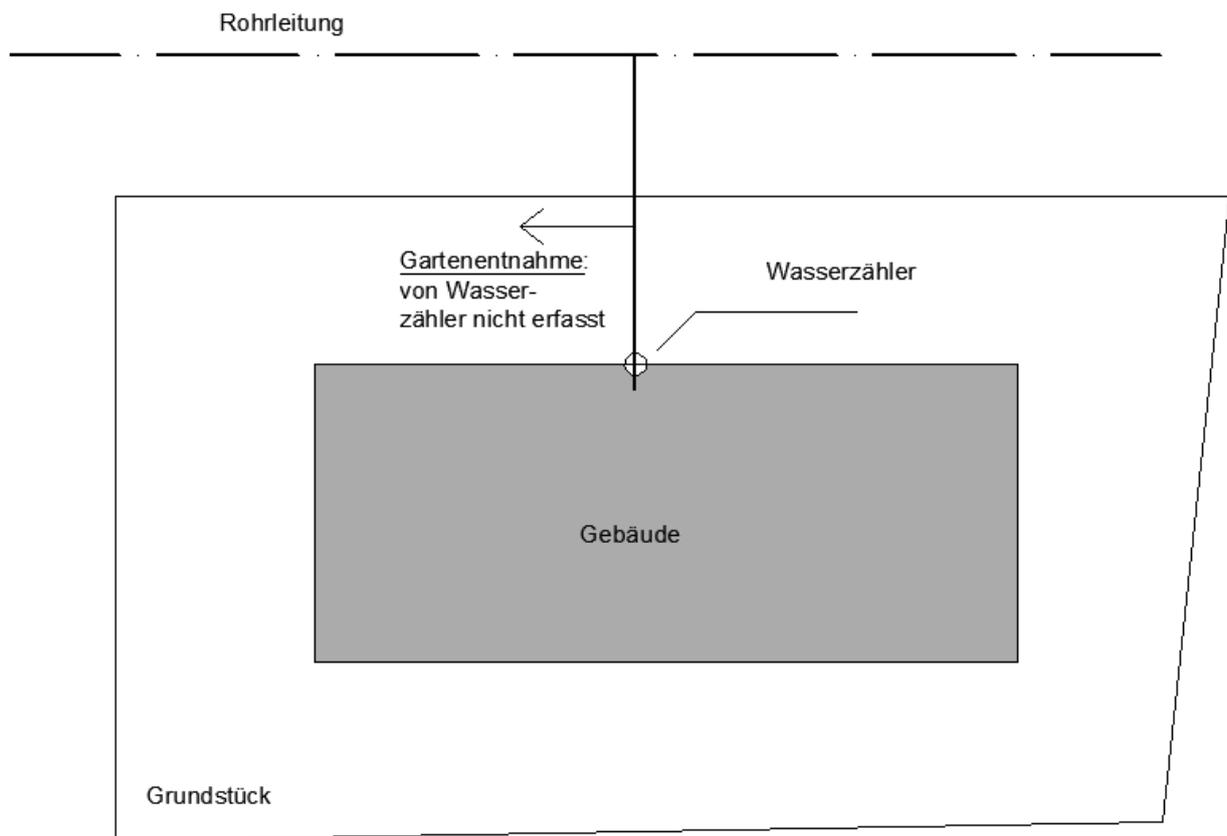


Abbildung 55: Schematische Grundstücksdarstellung – Gartenzuschlag

#### 4.4.3.2 Durchschnittlicher Pro-Kopf-Verbrauch

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vertieften Wasserverbrauchsanalyse, als Box Plots dargestellt, angeführt.

Die Zahlen, aus welchen die Box Plots berechnet wurden, finden sich auf der beigelegten CD wieder, dabei sind neben diesen auch noch die Anzahl der für diesen Plot berücksichtigten Haushalte und der in diesen Haushalten lebenden Personen absolut sowie relativ gelistet.

In den folgenden Kapiteln werden Pro-Kopf-Verbrauchszahlen aufgeschlüsselt nach verschiedenen Kriterien dargestellt. Abschließend finden sich eine Übersichtstabelle, welche sämtliche Mittelwerte der Klasse wiedergibt, sowie der Wachstum der letzten 10 Jahre. Diese Aufschlüsselung soll für die spätere Definition von Szenarien genutzt werden. Es gibt 3 Hauptgruppen:

1. Pro-Kopf-Verbrauch nach Wohnsitzart: Hierbei wird nur die Art des Wohnsitzes berücksichtigt. Es wird zwischen Hauptwohnsitz (HW), Nebenwohnsitz (NW) und Mischwohnsitz (MW) unterschieden.
2. Pro-Kopf-Verbrauch nach Alter: Für diese Verbrauchsgruppe wurde für jeden Haushalt das Durchschnittsalter berechnet. Auch hier wurde neben dem Alter wieder die Wohnsitzart berücksichtigt.
3. Pro-Kopf-Verbrauch nach Haushaltsgröße: Wiederum wird zwischen den 3 Gruppen HW, NW und MW unterschieden, diesmal weiter aufgeschlüsselt in die Haushaltsgröße (HHG) von 1 bis 4+.

##### 4.4.3.2.1 Pro-Kopf-Verbrauch nach Wohnsitzart

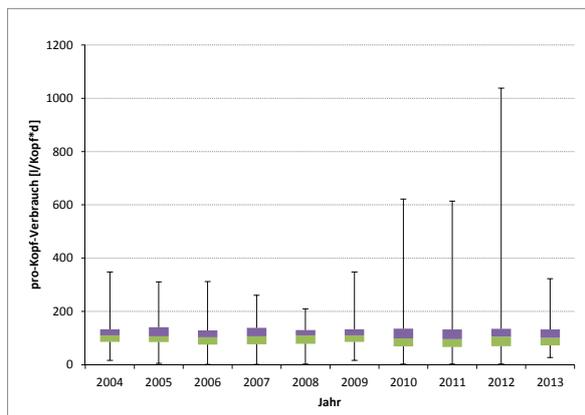


Abbildung 56: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW

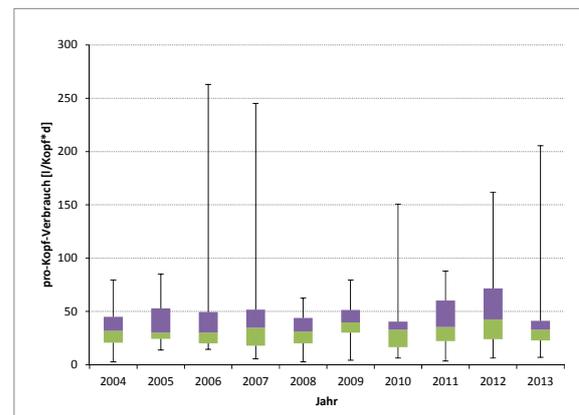


Abbildung 57: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW

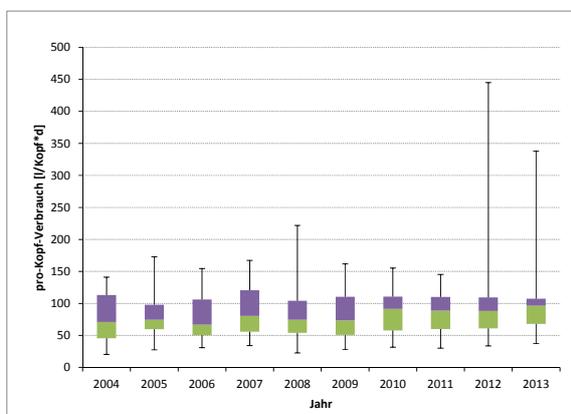


Abbildung 58: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW

Für den besseren Überblick und da sich die Mittelwerte zwischen den Jahren nicht sonderlich viel voneinander unterscheiden, ist in Abbildung 59 ein Mittel von 2004 bis 2013 dargestellt. Als mittlerer Verbrauch ergibt sich für Haushalte, in denen ausschließlich Personen mit Hauptwohnsitz leben, 114l/Kopf und Tag.

Für Nebenwohnsitze ergibt sich ein Verbrauch von knapp 43l/Kopf und Tag, und für Haushalte, in denen sowohl Personen mit Hauptwohnsitz als auch mit Nebenwohnsitz leben, ergibt sich ein Verbrauch von 86l/Kopf und Tag.

Aufgrund der vorliegenden Verbrauchsdaten lässt sich ein Anstieg des Verbrauchs für Hauptwohnsitze sowie für Nebenwohnsitze nicht erkennen. Für Mischhaushalte stieg der Verbrauch in den letzten Jahren kontinuierlich an, zwischen 2004 und 2013 erhöhte sich der Verbrauch um 22% (von 78 auf 100l/Kopf und Tag).

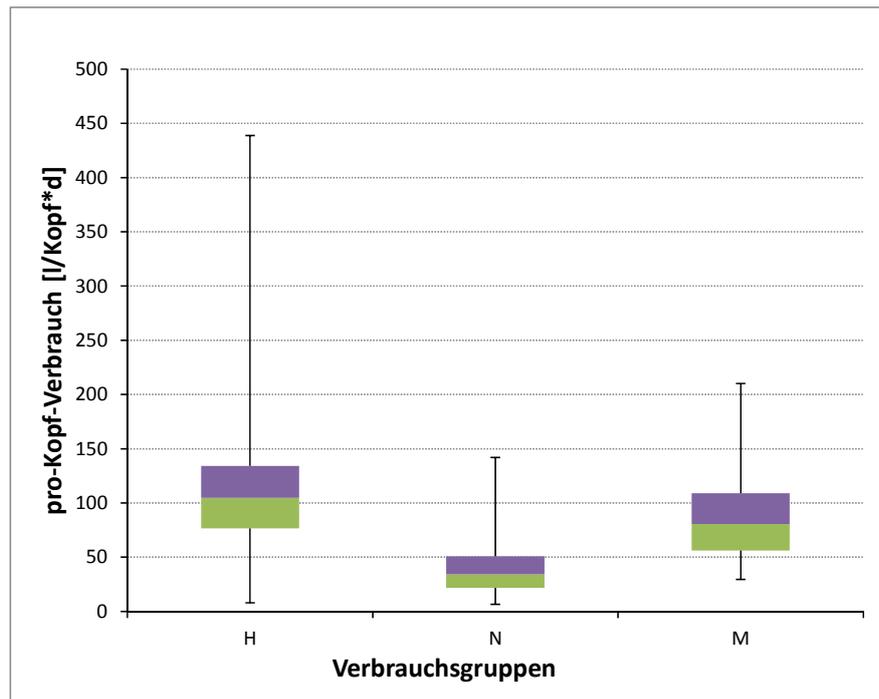


Abbildung 59: Jahresmittelung des Pro-Kopf-Verbrauchs nach Wohnsitzart

### 4.4.3.2 Pro-Kopf-Verbrauch nach Alter

Für das Durchschnittsalter von 0-14 Jahren sind keine Werte vorhanden.

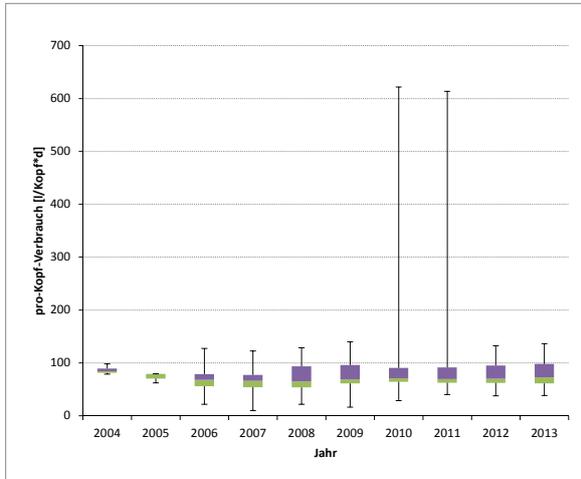


Abbildung 60: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 15-39

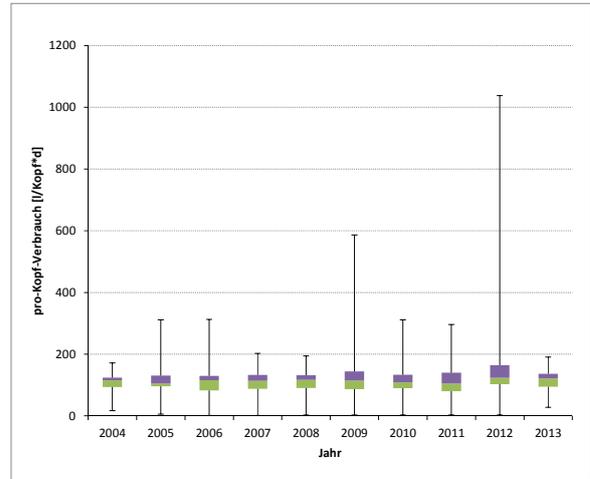


Abbildung 61: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 40-64

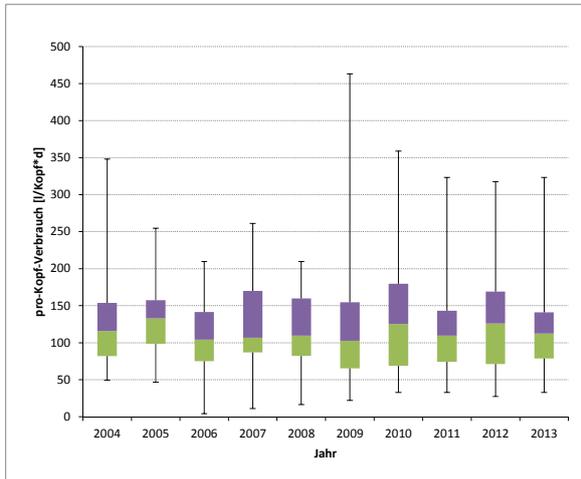


Abbildung 62: Pro-Kopf-Verbrauch nur HW; Alter 65+

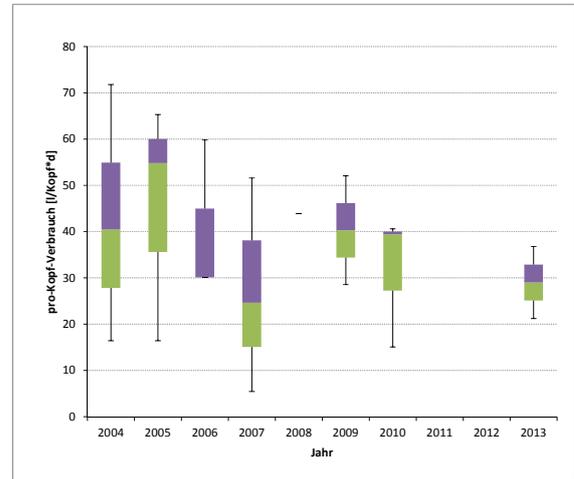


Abbildung 63: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 15-39

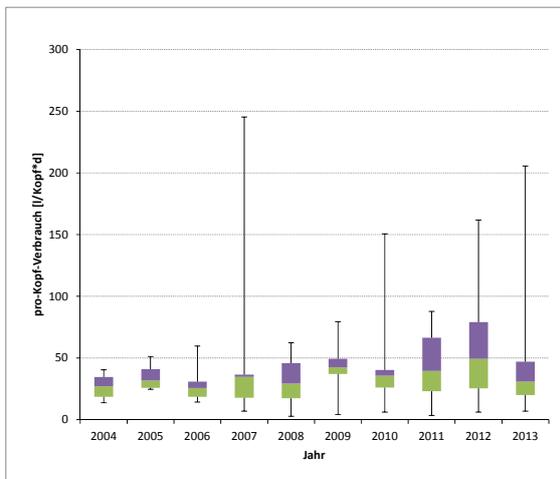


Abbildung 64: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 40-64

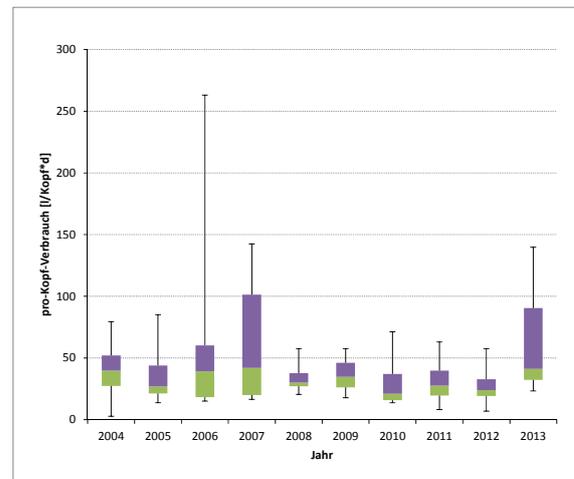


Abbildung 65: Pro-Kopf-Verbrauch nur NW; Alter 65+

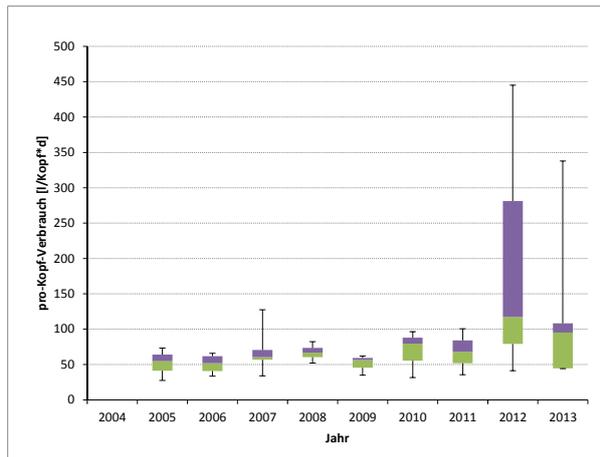


Abbildung 66: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 15-39

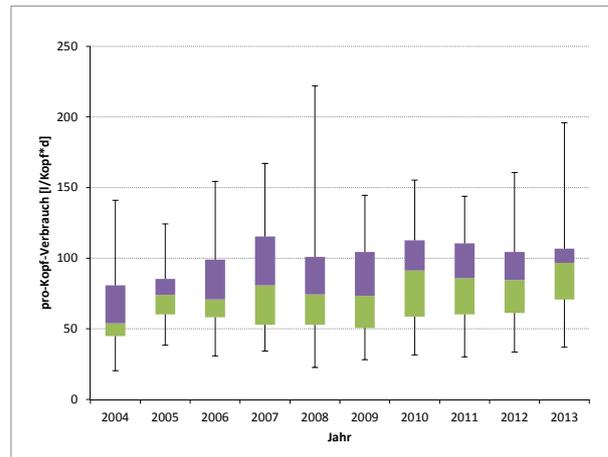


Abbildung 67: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 40-64

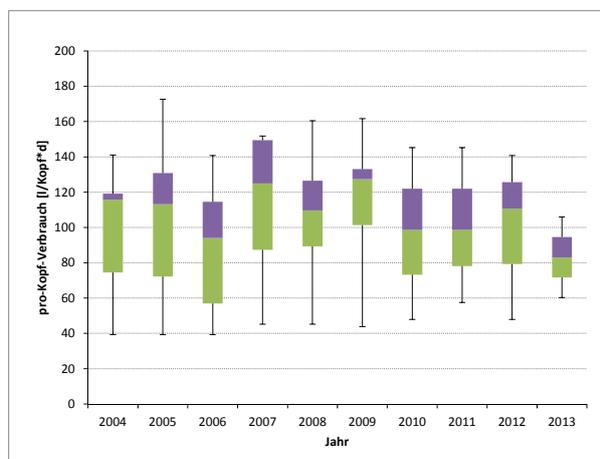


Abbildung 68: Pro-Kopf-Verbrauch nur MW; Alter 65+

Da sich aus den obigen Abbildungen kein wirklicher Trend ableiten lässt, ist es nicht leicht, den Verbrauch der einzelnen Klassen in prozentalem Wachstum oder Rückgang auszudrücken. Diese Erkenntnis ist für die spätere Festlegung der Szenarien wichtig.

Um einen besseren Vergleich zwischen den unterschiedlichen Klassen zu bekommen, wurden die Verbrauchszahlen über die Jahre gemittelt.

In Abbildung 69 bis Abbildung 71 ist der Unterschied zwischen den Wohnsitzarten zu erkennen. Dabei ist, wie zu erwarten, für alle Altersklassen der Verbrauch der Hauptwohnsitze größer als jener der Neben- und Mischwohnsitze.

In Abbildung 72 bis Abbildung 74 sind zum Vergleich die Altersgruppen gegenübergestellt. Erkennbar ist, dass bei den Hauptwohnsitzen sowie den Nebenwohnsitzen der Verbrauch mit dem Alter zunimmt. Bei den Mischwohnsitzen ist dies nicht erkennbar.

Zusammenfassend sind in Tabelle 25 die Mittelwerte dieser Klassen dargestellt.

Tabelle 25: Mittelwerte der Pro-Kopf-Verbrauchszahlen aller Altersklassen in l/Kopf und Tag

HW 15-39	NW 15-39	MW 15-39	HW 40-64	NW 40-64	MW 40-64	HW 65+	NW 65+	MW 65+
80,4	37,5	83,4	118,3	40,8	82,7	125,1	45,3	100,7

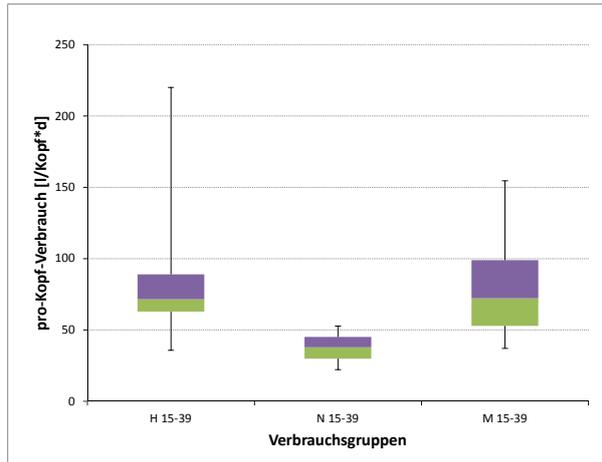


Abbildung 69: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 15-39 für alle Wohnsitzarten

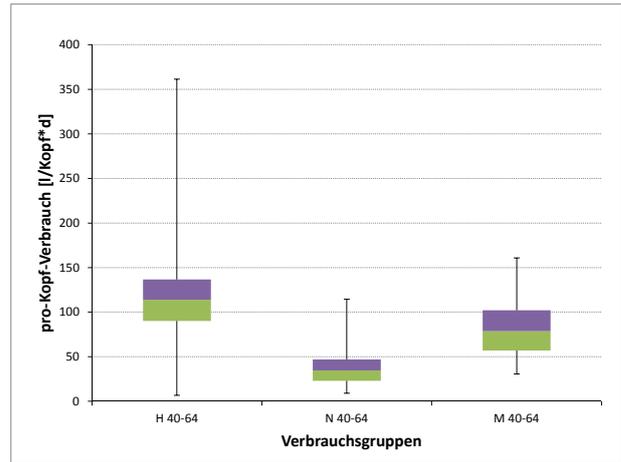


Abbildung 70: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 40-64 für alle Wohnsitzarten

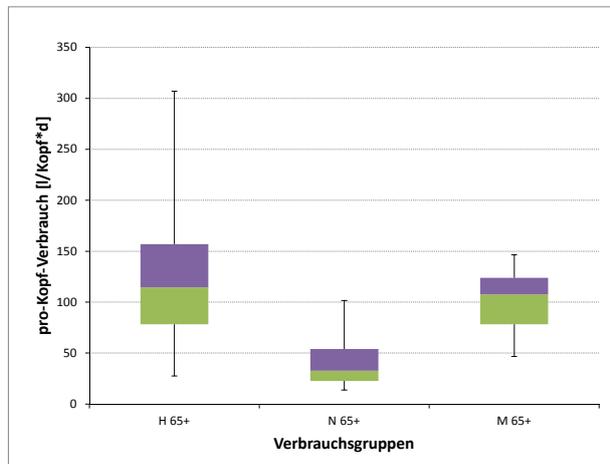


Abbildung 71: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der Altersklasse 65+ für alle Wohnsitzarten

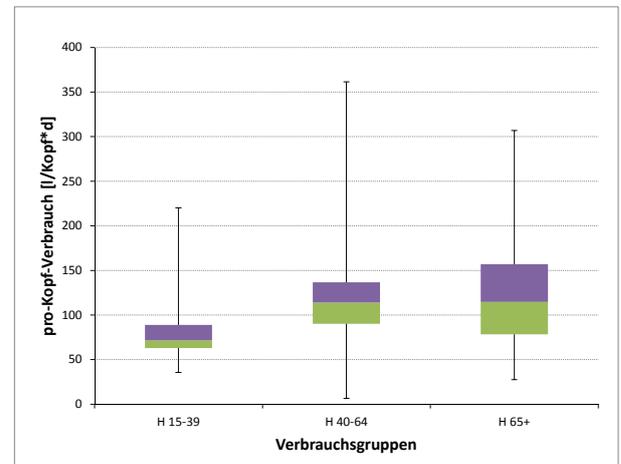


Abbildung 72: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der HW alle Altersklassen

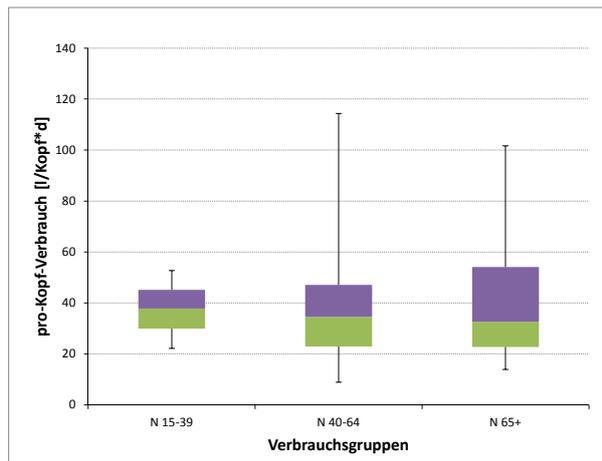


Abbildung 73: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der NW alle Altersklassen

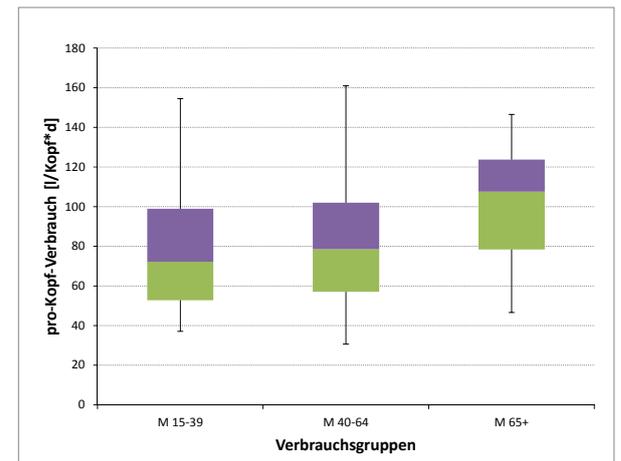


Abbildung 74: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der MW alle Altersklassen

### 4.4.3.2.3 Pro-Kopf-Verbrauch nach Haushaltsgröße

Aufgrund der Vielzahl an Diagrammen werden im Folgenden die gemittelten Verbrauchsdaten dargestellt. Sämtliche nicht gemittelten Box Plots befinden sich auf der CD („Verbrauchsanalyse.xlsx“) in Form von Tabellen.

Da bereits aus den zwei vorhergehenden Kapiteln ersichtlich ist, dass der Verbrauch der Nebenwohnsitze deutlich geringer ist als jener der Haupt- und Mischwohnsitze, wird auf den entsprechenden Box-Plot-Vergleich verzichtet. Diese Werte lassen sich jedoch anhand der zusammenfassenden Tabellen 25 bis 27 nachweisen.

Im Folgenden finden sich Abbildungen des 10 Jahresmittels. Dabei soll der Einfluss der Haushaltsgröße (HHG) aus den entsprechenden Wohnsitzgruppen hervorgehen.

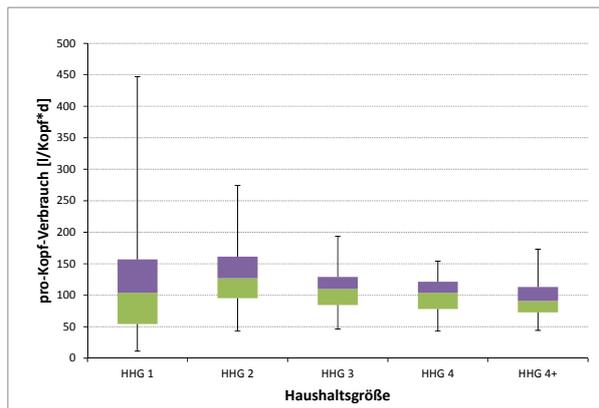


Abbildung 75: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der HW

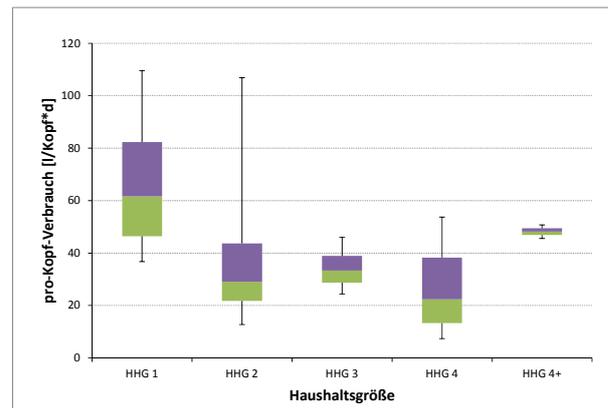


Abbildung 76: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der NW

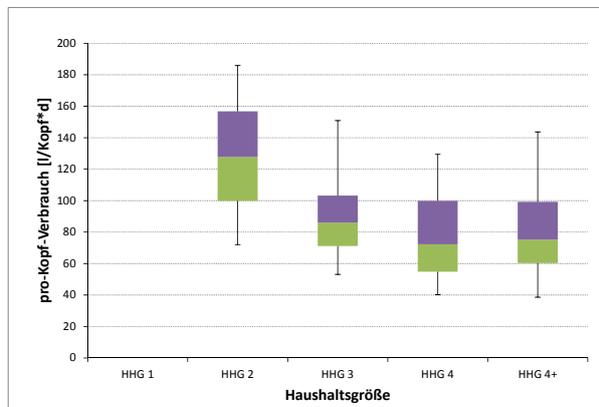


Abbildung 77: Gemittelter Pro-Kopf-Verbrauch der MW

Wird der Verbrauch nach der HHG analysiert, ist zu erkennen, dass Personen, welche alleine im Haushalt leben, weniger Wasser benötigen als ein 2-Personen-HH. Danach flacht die Kurve wieder ab, was klar ist, da sich der Wasserverbrauch unter den Personen aufteilt und es z.B. beim Kochen zu einer „Doppelnutzung“ des Wassers kommt.

Bei Nebenwohnsitzen ist der Verbrauch von 1-Personen-HH am höchsten, da dieser jedoch nur ca. 50% des Verbrauchs der Hauptwohnsitze entspricht, fällt dies bei der Betrachtung des Trinkwassernetzes nicht so stark ins Gewicht.

## Fallstudie Hallstatt

---

Tabelle 26: Mittelwerte Wasserverbrauch für HW nach HHG in l/Kopf und Tag

HHG 1	HHG 2	HHG 3	HHG 4	HHG 4+
91,0	130,9	110,4	99,0	94,8

Tabelle 27: Mittelwerte Wasserverbrauch für NW nach HHG in l/Kopf und Tag

HHG 1	HHG 2	HHG 3	HHG 4	HHG 4+
67,3	41,2	34,3	27,4	48,2

Tabelle 28: Mittelwerte Wasserverbrauch für MW nach HHG in l/Kopf und Tag

HHG 1	HHG 2	HHG 3	HHG 4	HHG 4+
Kein Wert	128,6	91,6	78,7	81,8

#### 4.4.3.2.4 Pro-Kopf-Verbrauch – Histogramm-Darstellung

Eine weitere Möglichkeit, die Daten darzustellen, ist mittels Histogramme. In den folgenden Abbildungen sind ergänzend zur Auswertung der Daten mittels Box Plots Histogramme nach Wohnsitzart für das Jahr 2013 dargestellt. Die Histogramme des Jahres 2013 unterteilt in Verbrauchsklasse, Alter und Haushaltsgröße befinden sich auf der CD.

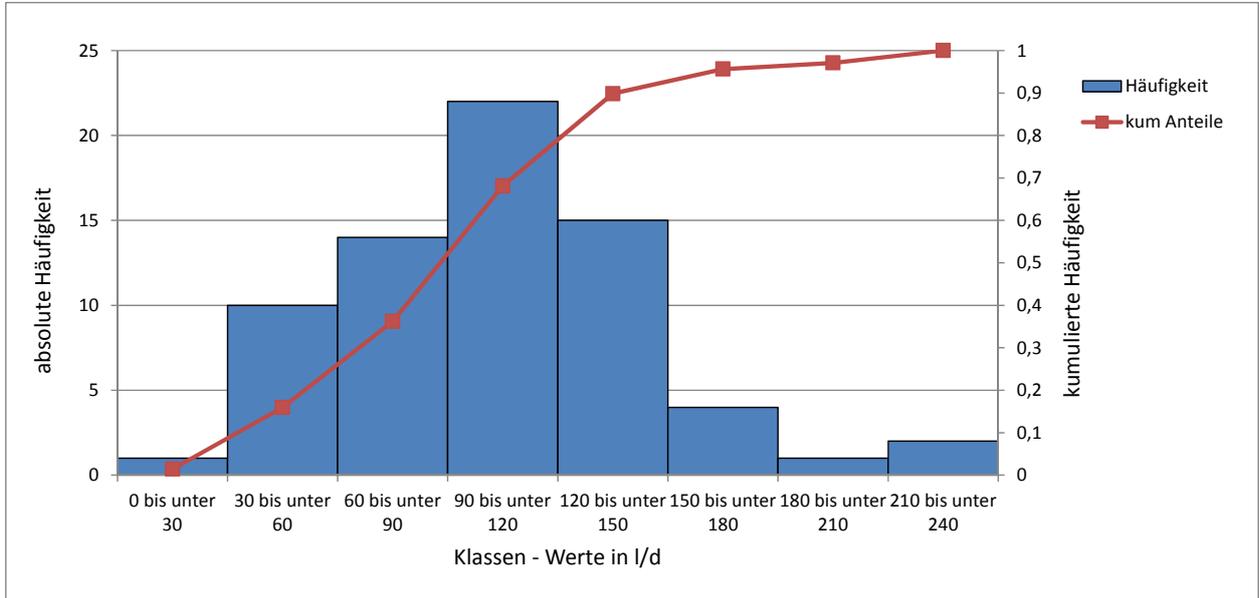


Abbildung 78: Histogramm-Darstellung der Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Hauptwohnsitze 2013 (n=69)

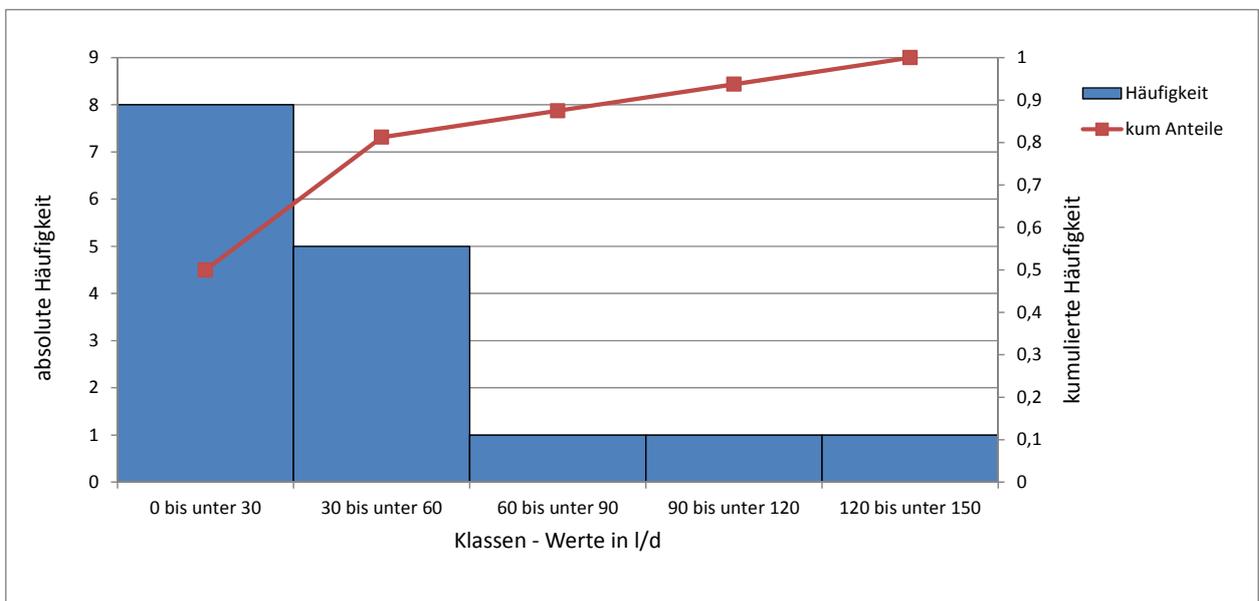


Abbildung 79: Histogramm-Darstellung der Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Nebenwohnsitze 2013 (n=16)

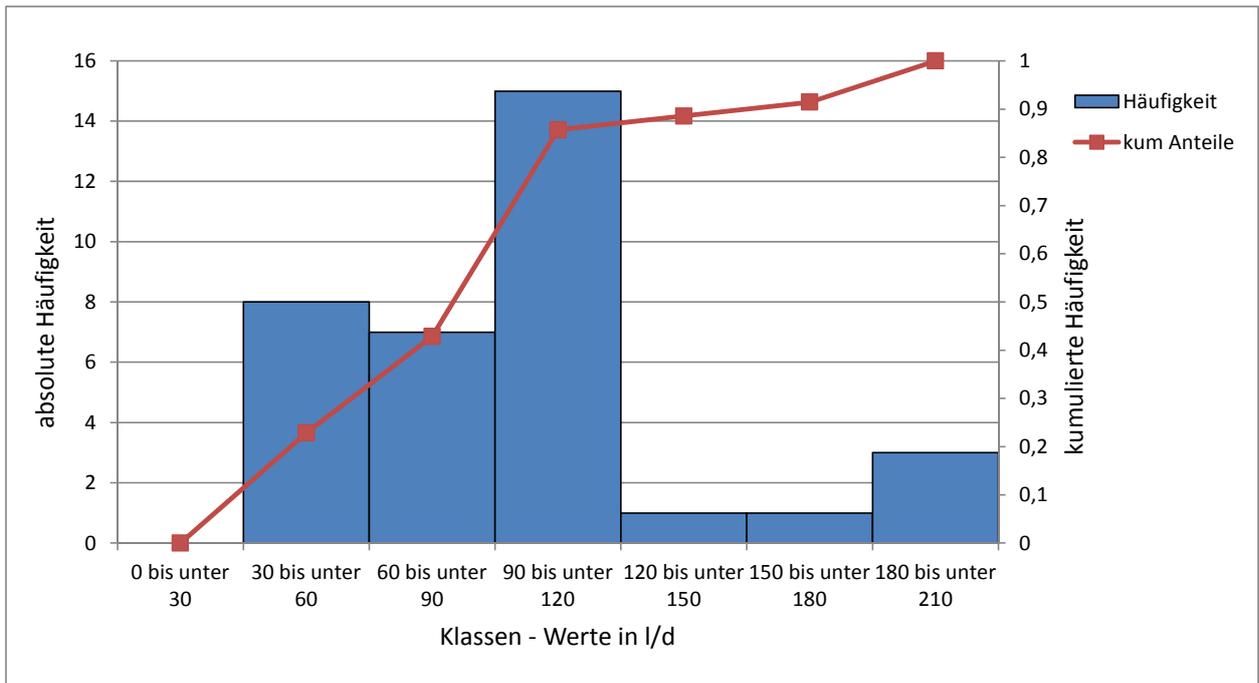


Abbildung 80: Histogramm-Darstellung der Pro-Kopf-Verbrauchsdaten für Mischwohnsitze 2013 (n=35)

Jahresverbrauchsverteilung:

In Abbildung 81 ist ein Histogramm der Verbrauchsdaten für das Jahr 2013 dargestellt, die Verteilung ist über die letzten 10 Jahre quasi konstant geblieben. Erkennbar ist des Weiteren, dass es einige Ausreißer gibt, aufgrund der Vielzahl an Daten wurden diese jedoch nicht entfernt, da nicht eindeutig nachweisbar ist, ob es sich um Messfehler oder den tatsächlichen Verbrauch handelt.

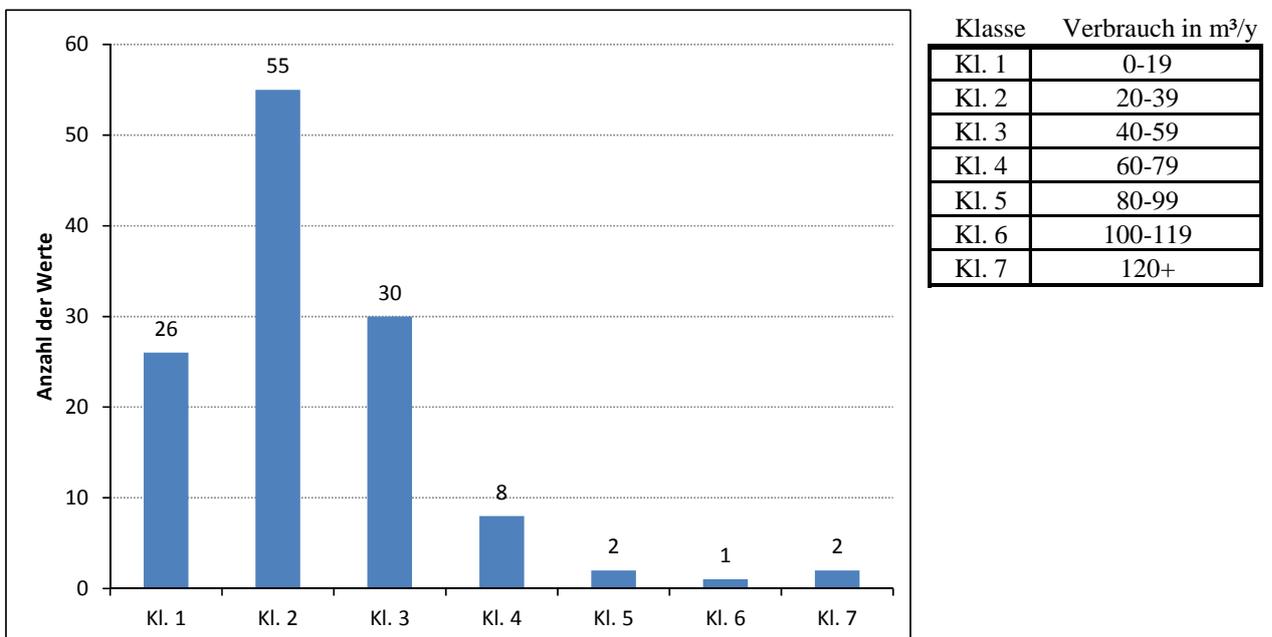


Abbildung 81: Histogramm Verbrauchsdaten 2013

Ähnlich wie bei hydrologischen Daten ist es auch in der Trinkwasserversorgung nicht möglich, negative Verbrauchsdaten zu erhalten, ein funktionstüchtiges Netz vorausgesetzt. Des Weiteren ist in Abbildung 81 eine asymmetrische Verteilung zu erkennen. Die Verteilung der Jahresverbrauchswerte kann mittels weiterer Extremwertverteilungen wie Gumbel oder Weibull beschrieben werden. Diese besitzen ebenfalls keine negativen Werte und sind asymmetrisch verteilt. Welche Verteilung die Verbrauchswerte am besten beschreibt, kann für jedes Jahr mittels einer Statistiksoftware festgestellt werden (z.B. Statistica).

#### 4.4.3.3 Plausibilität

Eine Varianzanalyse wurde mittels MS-Excels durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die Mittelwerte der Haushaltsgrößen (HHG 1 bis HHG 7) und der Altersgruppen (1-4) des Jahres 2013 für Haupt- und Nebenwohnsitze voneinander unterscheiden. Ist dies nicht der Fall, kann für die Berechnung des Trinkwassernetzes die Kennzahl „Haushaltsgröße“ verwendet werden.

##### Haushaltsgröße:

In Abbildung 82 und Abbildung 83 ist zu erkennen, dass sich die Mittelwerte nicht unterscheiden, da die Prüfgröße (F) kleiner als der kritische F-Wert ist. Um eine Varianzanalyse durchführen zu können, ist es notwendig, dass die Daten normalverteilt sind. Um dies zu überprüfen, sind in Abbildung 86 und Abbildung 87 QQ-Plots dargestellt. Die Tendenz hin zur Normalverteilung ist in jedem Fall erkennbar. Lediglich die Maxima als auch die Minima weichen vor der Prüfungsgerade ab.

Somit ist es möglich, die hydraulische Modellierung basierend auf den Verbrauchswerten der Haushaltsgröße durchzuführen.

##### Hauptwohnsitze:

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
1	11	450	40,90909091	544,6909091	
2	16	747	46,6875	542,2625	
3	15	572	38,13333333	183,7904762	
4	12	394,5	32,875	87,47159091	
5	9	271	30,11111111	158,6011111	
6	6	204,3333333	34,05555556	149,1962963	

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	2265,463856	5	453,0927712	1,492081283	0,205099453	2,360683875
Innerhalb der Gruppen	19130,89113	63	303,6649385			
Gesamt	21396,35498	68				

Abbildung 82: Einfaktorielle Varianzanalyse HW nach Haushaltsgröße

##### Nebenwohnsitze:

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
1	4	104	26	431,3333333	
2	6	146,5	24,16666667	641,5416667	
3	2	20,33333333	10,16666667	6,722222222	
4	4	24	6	14,375	
7	1	13,42857143	13,42857143	#DIV/0!	

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	1222,360894	4	305,5902236	0,805676793	0,54475944	3,259166727
Innerhalb der Gruppen	4551,555556	12	379,2962963			
Gesamt	5773,91645	16				

Abbildung 83: Einfaktorielle Varianzanalyse NW nach Haushaltsgröße

## Fallstudie Hallstatt

Altersgruppen:

Tabelle 29: Übersicht über die Altersgruppen

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
0-14 Jahre	15-39 Jahre	40-64 Jahre	65+ Jahre

Eine einfaktorielle Varianzanalyse wurde ebenfalls für die Verbrauchswerte der Altersgruppen durchgeführt. Abbildung 84 zeigt, dass der kritische F-Wert überschritten wird. Die Nullhypothese, dass die Mittelwerte aller Gruppen gleich sind, kann nicht bestätigt werden.

Hauptwohnsitze:

### ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
2	23	667,5833333	29,02536232	102,1464108
3	23	1011,416667	43,97463768	172,0916634
4	24	1042,708333	43,44618056	608,5042994

### ANOVA

Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	3330,991938	2	1665,495969	5,571378539	0,005777413	3,133762315
Innerhalb der Gruppen	20028,83652	67	298,9378585			
Gesamt	23359,82846	69				

Abbildung 84: Einfaktorielle Varianzanalyse HW nach Altersklassen

Nebenwohnsitze:

### ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
2	2	21,17857143	10,58928571	16,12308673
3	12	212,5833333	17,71527778	405,3667403
4	3	74,5	24,83333333	524,0833333

### ANOVA

Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	250,592553	2	125,2962765	0,317589173	0,733010364	3,738891832
Innerhalb der Gruppen	5523,323897	14	394,5231355			
Gesamt	5773,91645	16				

Abbildung 85: Einfaktorielle Varianzanalyse NW nach Altersklassen

Darstellung der QQ-Plots:

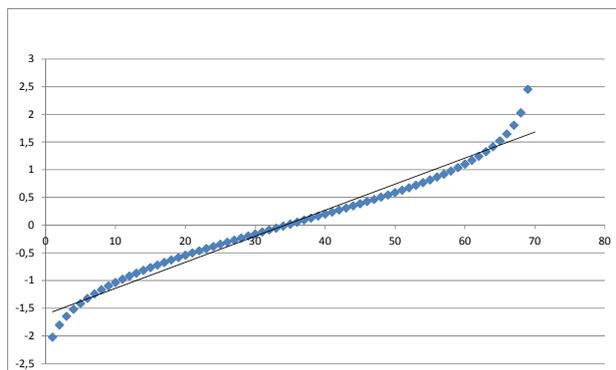


Abbildung 86: Darstellung eines QQ-Plots für HW

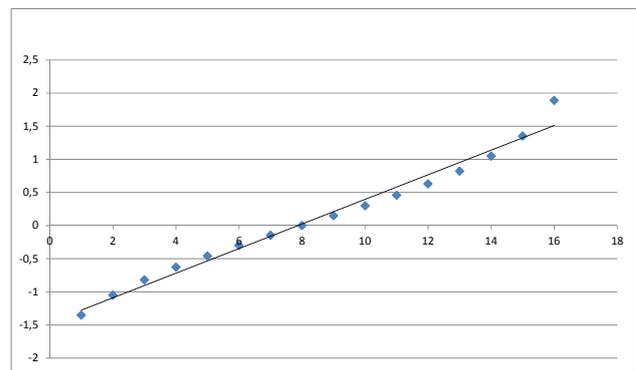


Abbildung 87: Darstellung eines QQ-Plots für HW

### 4.4.4 Großverbraucher

Großverbraucher sind in Hallstatt aufgrund des Tourismus von wesentlicher Bedeutung. Abbildung 88 soll einen Überblick über die Verteilung der Gasthöfe, Pensionen, Ferienwohnungen etc. vermitteln. Es wird deutlich, dass dieser Verbrauch über das gesamte Marktgebiet verteilt ist. Vor allem entlang des Hallstätter Seeufers sind Pensionen und Ferienwohnungen konzentriert angesiedelt.

Unter Berücksichtigung des drastischen Anstiegs des Tourismus wird das Versorgungsnetz zum größten Teil durch Tourismus belastet.

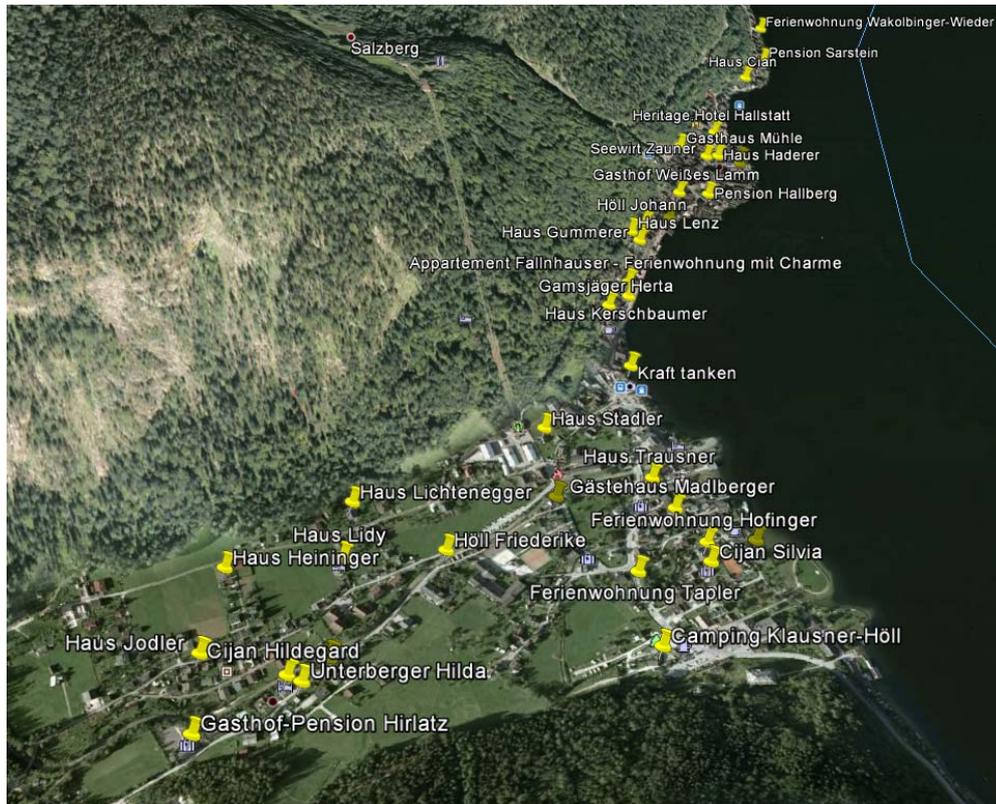


Abbildung 88: Übersicht Verteilung Großverbraucher in Hallstatt

Die Großverbraucher wurden zuerst mittels Google und Google Maps gesucht, diese Adressen wurden mit den Daten aus der Verbrauchsanalyse verglichen und dementsprechend als Großverbraucher (GV) eingeteilt. Zur Überprüfung der Vollständigkeit wurden die so gefundenen Adressen mit einer Gewerbe- und Industrieliste, welche von der Gemeinde Hallstatt zur Verfügung gestellt wurde, abgeglichen.

Nachdem für Verbrauchsdaten von 2004 bis 2013 sämtliche GV ausgewiesen waren, wurden diese einer der 5 folgenden Gruppen zugewiesen:

GV 1 – Pensionen: Sämtliche Ferienwohnungen, Gästehäuser und sonstige Übernachtungsmöglichkeiten für Touristen fallen in diese Gruppe. Ausgenommen sind Hotels.

GV 2 – Hotels: Der Unterschied zu den Ferienhäusern ist sowohl die Anzahl der Zimmer als auch die Größe der Küche, welche in dieser Gruppe in der Regel deutlich größer ist.

GV 3 – Handel: Sämtliche Geschäftslokale, in denen diverse Güter gekauft werden können.

GV 4 – Gastronomie: Kaffeehäuser, Pizzeria etc.

GV 5 – Gewerbe und Industrie: Beispielsweise fallen in diese Gruppe Zimmermeister, Ärzte, Sozialberater usw.

GV 6 – Sonstiges: Adressen, welche sich keiner der zuvor genannten Gruppen zuweisen lassen. In dieser Verbrauchsgruppe ist als Besonderheit anzumerken, dass sich ein

Schülerheim der HTL in Hallstatt befindet, in dem während des Schulbetriebs 250 Schüler untergebracht sind.

In Abbildung 89 sind die vorhandenen Verbrauchsdaten der oben genannten Großverbraucher dargestellt. Erkennbar ist, dass die Gruppen „Sonstiges“ sowie „Gastronomie“ und „Handel“ am geringsten sind. Während „Gewerbe und Industrie“ sowie „Hotels und Pensionen“ den Hauptteil des Verbrauchs ausmachen.

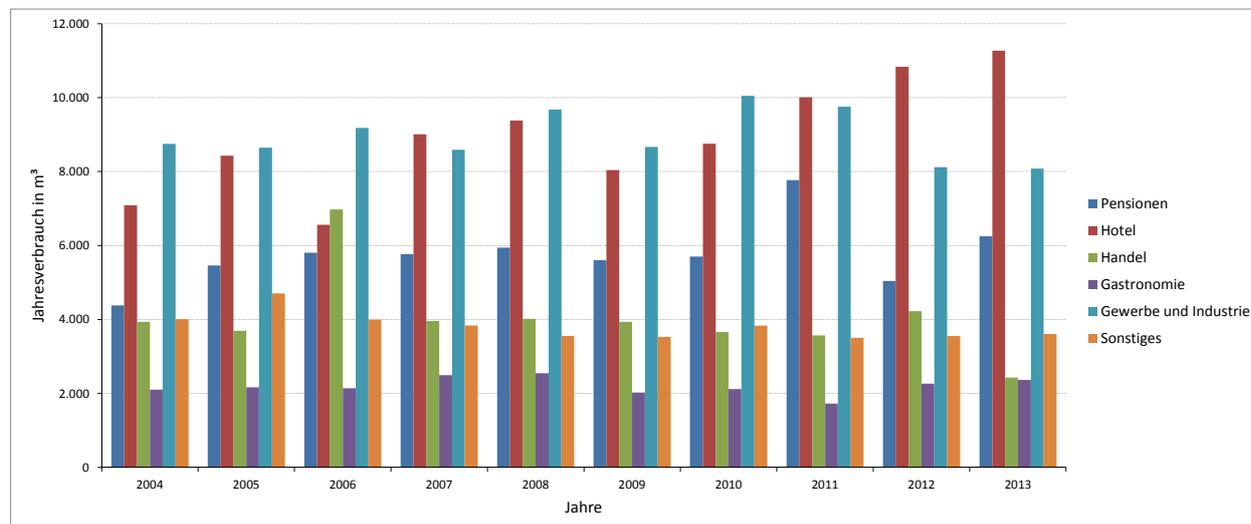


Abbildung 89: Jahresverbrauch der Großverbraucher

Zur Übersicht sind in Tabelle 30 die relativen Werte der Großverbraucher dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass in den letzten Jahren Gewerbe und Industrie immer mehr an Bedeutung verloren haben und die Pensionen bzw. Hotels im Verbrauch zulegen. Es ist zu erwarten, dass diese Gruppen in den nächsten Jahren weiter steigen werden. Wobei es abzuwarten gilt, ob der Tourismus ein Maximum erreicht hat.

Tabelle 30: Prozentuale Aufteilung der Großverbraucher

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Pension (GV1)</b>	14%	16%	17%	17%	17%	18%	17%	21%	15%	18%
<b>Hotel (GV2)</b>	23%	25%	19%	27%	27%	25%	26%	28%	32%	33%
<b>Handel (GV3)</b>	13%	11%	20%	12%	11%	12%	11%	10%	12%	7%
<b>Gastro (GV4)</b>	7%	7%	6%	7%	7%	6%	6%	5%	7%	7%
<b>Gew &amp; In (GV5)</b>	29%	26%	26%	26%	28%	27%	29%	27%	24%	24%
<b>Sonstige (GV6)</b>	13%	14%	12%	11%	10%	11%	11%	10%	10%	11%

In folgender Tabelle ist ein Vergleich zwischen den Großverbrauchern und den Kleinverbrauchern dargestellt. Die Werte in Tabelle 31 entsprechen der Anzahl der Adressen. Erkennbar ist, dass die Anzahl der Haushalte in Hallstatt zugenommen hat, eine weitere Aufschlüsselung der Kleinverbraucher ist auf der CD enthalten.

Tabelle 31: Anzahl der Adressen GV und KV

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>GV1</b>	28	31	31	31	30	30	31	32	31	32
<b>GV2</b>	7	7	5	7	7	7	7	7	7	7
<b>GV3</b>	16	15	18	15	13	15	14	14	14	11
<b>GV4</b>	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
<b>GV5</b>	23	25	25	27	29	26	24	27	26	27
<b>GV6</b>	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4
<b>GV</b>	83	88	89	89	88	87	85	88	87	86
<b>KV</b>	93	94	100	99	98	108	119	120	121	123

Des Weiteren gibt es in Hallstatt knapp 40 „Tourismus-Adressen“ wie Hotels, Pensionen etc. Wird die Anzahl der Nächtigungen (siehe Abbildung 53 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) mit den Verbrauchsdaten (Abbildung 89) kombiniert, ergibt sich der Verbrauch von Trinkwasser pro Nächtigung (Abbildung 90).

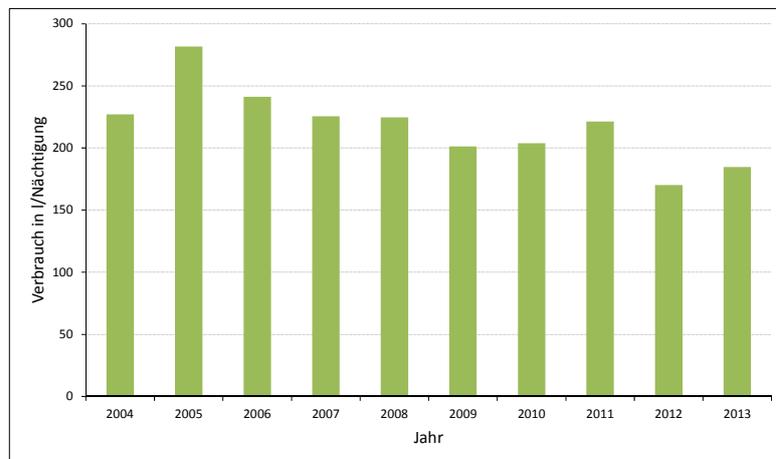


Abbildung 90: Touristenspezifischer Verbrauch in l/Nächtigung

Laut den vorliegenden Daten ergibt sich ein Verbrauch für Touristen von 180l/Nächtigung bis über 250l/Nächtigung.

### 4.4.5 Spitzenfaktoren und Tagesganglinien

#### 4.4.5.1 Kleinverbraucher

In der späteren Berechnung des Trinkwassernetzes anhand der in Kapitel 4.3.1 präsentierten Kennzahlen spielen Spitzenfaktoren sowie Ganglinien eine wesentliche Rolle.

Da die vorliegenden Daten Verbrauchszahlen eines ganzen Jahres sind, werden sämtliche Spitzen herausgefiltert, dies entspricht jedoch in keinem Fall der Realität. Somit muss der Verbrauch für einen Tag, an dem mehr Wasser von den Verbrauchern benötigt wird als an anderen Tagen, angenommen werden. Dies geschieht entweder durch Annahme eines Spitzenfaktors oder, wie im vorliegenden Fall, durch Ganglinien. Grundsätzlich wird so eine Verteilung des Verbrauchs angenommen, sind Ganglinien nicht bekannt, werden Faktoren abhängig der Einwohnerzahl verwendet.

Nach Auskunft der Gemeinde Hallstatt weist der Wasserbedarf über den Tag gesehen 3 Spitzen auf, Früh, Mittag und Abend. In Abbildung 91 ist die Tagesganglinie, welche für die Berechnung des Trinkwassernetzes herangezogen wird, dargestellt. Auf der Ordinate ist der prozentuale Tageswasserbedarf der jeweiligen Stunde aufgetragen. Im Detail heißt es, dass in der 7. Tagesstunde (06:00 bis 7:00) 17% des Tageswasserverbrauchs verwendet werden.

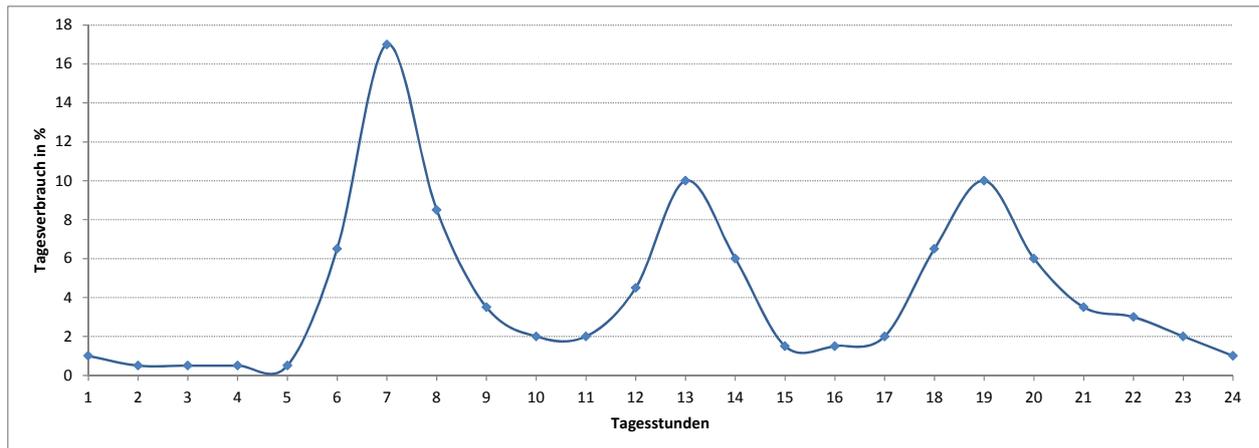


Abbildung 91: Verwendete Tagesganglinie mit Verbrauchsspitzen (PERFLER, 2008)

Des Weiteren kam die in Abbildung 91 dargestellte Tagesganglinie für Personen der Kategorie GV1 (Pensionen, Ferienwohnungen etc.) sowie GV2 (Hotels) zur Anwendung. Somit teilt sich der Wasserbedarf dieser zwei Klassen in einen personenbezogenen sowie einen tourismusbezogenen Bedarf auf.

In Abbildung 92 sind 3 Tagesganglinien des Monats Juni (Jahr 2014) zu sehen. Entgegen der Auskunft des Wassermeisters, sind die 3 Spitzen nicht erkennbar. Da dieser jedoch versicherte, dass für Hallstatt eine 3-Spitzen-Ganglinie typisch ist, wird in der nachfolgenden hydraulischen Modellierung jene aus Abbildung 91 verwendet.

Der Verbrauchseinfall um 22:00 für Tag 1 und Tag 2 erklärt sich durch die Umstellung auf Brunnenbetrieb.

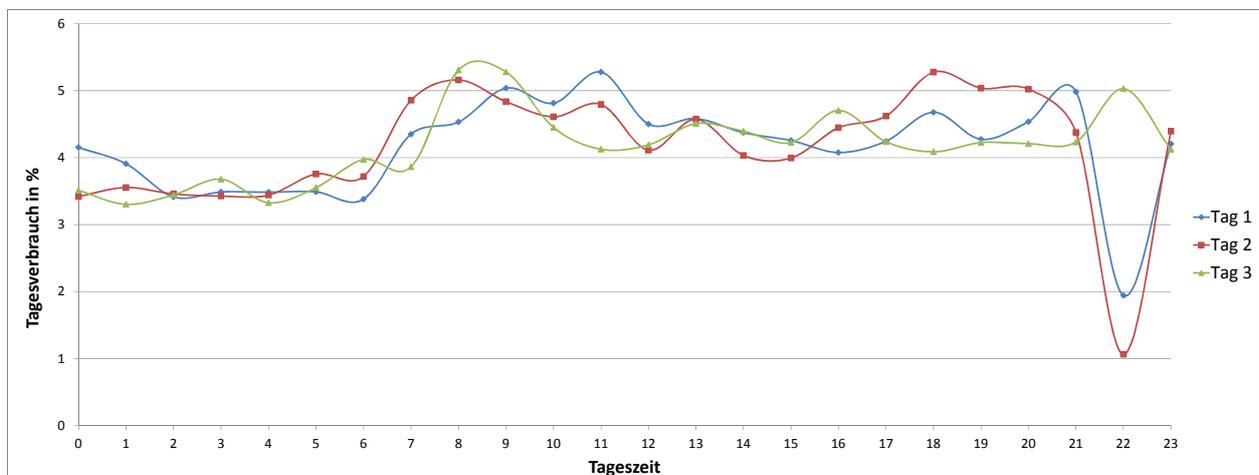


Abbildung 92: Auswertung des Leitsystems Hallstatt

### 4.4.5.2 Großverbraucher

Da Hallstatt eine touristengeprägte Marktgemeinde ist, wird zwischen GV3 bis GV6 (Handel, Gastronomie, Gewerbe und Industrie sowie Sonstiges) und zwischen den Touristenklassen unterschieden.

In Tabelle 32 sind die Touristenankünfte des Jahres 2013 dargestellt. Abhängig vom Szenario wird ein entsprechender Monat gewählt. Im Grunde ist dies genauso eine Ganglinie wie jene in Abbildung 91, nur dass diese für die GV1- und GV2-Klassen verwendet wird.

Tabelle 32: Touristenankünfte Jahr 2013

2013	Ankünfte
Jänner	1581
Februar	1936
März	2612
April	2900
Mai	5536
Juni	5192
Juli	11226
August	9595
September	9240
Oktober	5692
November	1239
Dezember	2514
Gesamt	59263

Es ergibt sich der Verbrauch des max./min. Monats. Anschließend wird durch die Anzahl der Tage im betrachteten Monat dividiert, um den Tagesverbrauch zu bekommen. Dieser Tagesverbrauch wird abermals, wie schon bei den Kleinverbrauchern, mit dem Faktor der Tagesganglinie multipliziert (i.d.R. 17%). Dies ergibt den maximalen Stundenbedarf. Um den Bemessungswert in l/s zu erhalten, muss noch durch 3600 Sekunden dividiert werden.

**Zusammenfassung der Ergebnisse:**

- Die Pro-Kopf-Verbrauchszahlen nach Wohnsitzart:
  - Hauptwohnsitze: 114 l/d
  - Nebenwohnsitze: 43 l/d
  - Mischwohnsitze: 100 l/d
- Der Pro-Kopf-Verbrauch nimmt mit dem Alter zu (für HW):
  - 15-39 Jahre: 80 l/d
  - 40-64 Jahre: 118 l/d
  - 65 und älter: 125 l/d
- Der Pro-Kopf-Verbrauch für 2- und 3-Personen-Haushalte ist am größten (für HW):
  - HHG 1: 80 l/d
  - HHG 2: 118 l/d
  - HHG 3: 125 l/d
  - HHG 4: 99 l/d
  - HHG 4+: 95 l/d
- 51% des Verbrauchs von Großverbrauchern kommen aus dem Tourismus
- Als durchschnittlicher Verbrauch pro Übernachtung ergeben sich 180l
- Die Auswertung einer Tagesganglinie aus dem Leitungssystem ergab nicht zufriedenstellende Ergebnisse, deshalb wurde jene aus Abbildung 91 verwendet

## 4.5 Festlegung der Szenarien

Bei der Festlegung der Szenarien handelt es sich im Wesentlichen um eine Anwendung der zuvor beschriebenen Kennzahlen. Dabei ist eine Anwendung verschiedenster Kombinationen möglich. Die Verbrauchszahlen können entweder zufolge der Wohnsitzart, des Alters oder der Haushaltsgröße definiert werden. Folgend werden zwei Szenarien beschrieben, wobei die Verbrauchszahlen der Kleinverbraucher unterschiedlich zugewiesen wurden. Die genauere Beschreibung des Vorgangs befindet sich in folgenden Kapiteln.

Um zu sehen, wie sich das Versorgungsnetz in Zukunft verhalten könnte, wurden zwei weitere Szenarien definiert, Szenario 2024-1 und Szenario 2024-2. Durch die vorliegenden Daten wird der zukünftige Verbrauch abgeschätzt und sowohl die Geschwindigkeit als auch der Druck werden grafisch dargestellt.

### 4.5.1.1 Szenario 0

Für die Kleinverbraucher wird ein täglicher Wasserbedarf von 120l pro Person angenommen, Spitzenfaktoren werden in Form der in Abbildung 91 dargestellten Tagesganglinie berücksichtigt. Da mit WaterGEMS einem Knoten einfach ein Wasserverbrauch zugewiesen werden kann, wird der Gesamtverbrauch durch die Anzahl der Knoten dividiert. Somit erhält jeder Knoten denselben Verbrauch. Üblicherweise wird der Verbrauch der Kleinverbraucher mithilfe der Meterngezähl, also dem Wasserbedarf pro Meter Leitungslänge, berücksichtigt, was zu einer Gleichverteilung über das Netz führt. In diesem Fall wird allerdings die Konzentrierung des Wasserverbrauchs an naheliegenden Knoten in Kauf genommen.

Für Großverbraucher wird der Wasserbedarf des Jahres 2013 angenommen (siehe Kapitel 4.4.4).

Dieses Szenario dient zum Vergleich mit den anderen und soll Aufschluss über die Sinnhaftigkeit einer vertieften Wasseranalyse sowie deren Anwendung liefern.

Tabelle 33: Zusammenfassung Bedarf – Sz0 in l/s

Kleinverbraucher	Großverbraucher	Summe
4,31	4,19	8,51

### 4.5.1.2 Szenario 1a – Sommertourismus; Wohnsitzart

Anhand dieses Szenarios soll geprüft werden, wie sich das Trinkwassernetz verhält, wenn der Wasserbedarf ein Maximum erreicht. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

#### Kleinverbraucher:

- Pro Person und Tag werden 115l Wasser verbraucht, dies entspricht der Kennzahl für Hauptwohnsitze
- Im betrachteten Monat (Juli) befinden sich 90% der Nebenwohnsitze in Hallstatt, diese haben ebenfalls einen Wasserverbrauch von 115l/Tag

#### Großverbraucher GV1 & GV2:

Der betrachtete Monat ist Juli. Somit werden die in Tabelle 32 gelisteten Ankünfte verwendet. Dies ergibt 12.000 Ankünfte mit einer Übernachtungsdauer von 1,5 Tagen. Der Verbrauch wurde mit 200l/Nächtigung angenommen.

In Summe ergeben sich 3600m<sup>3</sup> / Monat. Diese werden entsprechend dem Verbrauchsanteil des Jahres 2013 zugewiesen. Dabei wird für eine Adresse der Verbrauch des Jahres durch den Gesamtjahresverbrauch dividiert, somit erhält man einen Prozentwert, der beschreibt, wie groß der Anteil dieser Adresse an dem Jahresverbrauch gewesen ist. Es werden nur Adressen der Großverbrauchergruppe GV1 und GV2 berücksichtigt. Der genaue Vorgang ist in Kapitel 4.4.5.2 beschrieben.

Hausbesitzer werden als Kleinverbraucher berücksichtigt. Somit setzte sich der Verbrauch einer Adresse der Klasse GV1 aus dem „touristenspezifischen“ Verbrauch, berücksichtigt durch Ankünfte, sowie dem „hausherrnenbezogenen“ Verbrauch zusammen.

Tabelle 34: Zusammenfassung Bedarf – Sz1a in l/s

Kleinverbraucher	Großverbraucher	Summe
4,13	7,92	12,06

### Großverbraucher GV3 & GV6:

Es wird angenommen, dass diese Verbraucher denselben Verbrauch wie 2013 aufweisen. Der Verbrauch des Schülerheims wird deutlich verringert, da im Juli Ferien und somit keine Schüler anwesend sind. Dennoch wird der Verbrauch nicht auf null gesetzt, da angenommen wird, dass für Reinigungs- sowie eventuelle Reparaturarbeiten Wasser benötigt wird. Ein Verbrauch von 10% des Verbrauchs an Tagen, an denen Schüler anwesend sind, erscheint als ausreichend.

Des Weiteren wird für diese Klasse angenommen, dass im Juli, auch zur Folge des Tourismus, 19% der Jahresbedarfsmenge verbraucht werden.

Die letzte Annahme ergibt sich aus den Öffnungszeiten div. Betriebe. Somit wird der Tageswasserbedarf nicht auf 24 Stunden, sondern lediglich auf 12 Stunden aufgeteilt. Mit dieser Annahme werden in gewisser Weise ebenfalls eine Verteilung über das Jahr sowie eine Verteilung über den Tag berücksichtigt.

### 4.5.1.3 Szenario 1b – Sommertourismus; HHG

#### Kleinverbraucher:

Die Kennzahlzuweisung erfolgt auf Grundlage der Haushaltsgröße. Sämtliche angenommene Werte sind in Tabelle 35 zusammengefasst. Da es wiederum keinen Sinn macht, für Nebenwohnsitze einen Pro-Kopf-Verbrauch von 40l/Tag anzunehmen, wird auch hier angenommen, dass sich 90% der Nebenwohnsitze in Hallstatt befinden und diese einen Verbrauch wie Hauptwohnsitze aufweisen. Da nicht feststellbar ist, welche Personen zu welcher Zeit in der Gemeinde sind, wird die Personenanzahl mit 0,9 multipliziert.

Tabelle 35: Verbrauchszahlen nach Haushaltsgröße

HH Größe	H [l/s*Kopf]
HHG1	91
HHG2	131
HHG3	110
HHG4	100
HHG4+	95

### Großverbraucher GV1 bis GV6:

Siehe Szenario 1a

Tabelle 36: Zusammenfassung Bedarf – Sz1b in l/s

Kleinverbraucher	Großverbraucher	Summe
3,74	7,92	11,66

### 4.5.1.4 Szenario 2a – Wintertourismus; Wohnsitzart

Im Gegenteil zu Szenario 1, welches eine maximale Auslastung des Trinkwassernetzes darstellen soll, dient Szenario 2 zur Ermittlung der Netzgegebenheiten bei geringer Auslastung.

#### Kleinverbraucher:

- Pro Person und Tag werden 115l Wasser verbraucht, auch hier wird wieder die Kennzahl für Hauptwohnsitze verwendet
- Im betrachteten Monat (November) befinden sich 10% der Nebenwohnsitze in Hallstatt, diese haben ebenfalls einen Wasserverbrauch von 115l/Tag

#### Großverbraucher GV1 & GV2:

Der betrachtete Monat ist November. Somit werden die in Tabelle 32 gelisteten Ankünfte verwendet und es werden 1.300 Ankünfte mit einer Übernachtungsdauer von 1,5 Tagen und einem Verbrauch von 200l/Nächtigung angenommen. Somit ergibt sich ein Monatsverbrauch von 390m<sup>3</sup>. Die restlichen Annahmen sowie Berechnungsschritte sind mit Szenario 1a ident.

#### Großverbraucher GV3 & GV6:

Es wird angenommen, dass diese Verbraucher denselben Verbrauch wie 2013 aufweisen. Da für dieses Szenario der Monat November angenommen wird, wird der gesamte Verbrauch des Schülerheims angesetzt, wobei dieser anstatt auf 12 Monate nur auf 8 Monate aufgeteilt wird.

Tabelle 37: Zusammenfassung Bedarf – Sz2a in l/s

<b>Kleinverbraucher</b>	<b>Großverbraucher</b>	<b>Summe</b>
3,20	1,78	4,98

### 4.5.1.5 Szenario 2b – Wintertourismus; HHG

Dieses Szenario verwendet Pro-Kopf-Verbrauchszahlen, welche in Tabelle 35 gelistet sind. Schwankungen, welche sich zufolge der Jahreszeit ergeben könnten, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die restlichen Annahmen sind ident mit Szenario 2a.

Tabelle 38: Zusammenfassung Bedarf – Sz2b in l/s

<b>Kleinverbraucher</b>	<b>Großverbraucher</b>	<b>Summe</b>
3,74	1,78	5,52

### 4.5.1.6 Szenario 2024-1

#### Großverbraucher GV1 & GV2:

Wird die Entwicklung der Bevölkerung und des Tourismus der letzten 10 Jahre betrachtet (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2), ist mit folgender Entwicklung zu rechnen:

Der Tourismus (GV1 und GV2) steigt bis 2024 weiter an, die Touristenankünfte erhöhen sich von 60.000 auf 100.000. Der Verbrauch pro Nächtigung wird mit 200l/Nächtigung (Abbildung 90) angenommen.

#### Großverbraucher GV3 & GV6:

Siehe Szenario 1a

#### Kleinverbraucher GV3 & GV6:

Es kommt, wie in den letzten Jahren, zu einer Reduktion der Bevölkerung. Eine Bevölkerungsreduktion von ca. 10% (-83 Personen) wurde angenommen. Da von der Abwanderung der letzten 10 Jahre die Gemeindezonen Markt und Lahn betroffen waren

(Abbildung 44 und Abbildung 45), wurde folgende Aufteilung angenommen: Markt -27 Personen und Lahn -56 Personen.

Als Verbrauchskennzahl wurde das Alter verwendet, wobei eine Alterung von 10 Jahren berücksichtigt wurde. In Tabelle 39 sind die Verbrauchsdaten dargestellt. Auch für Nebenwohnsitze wurden diese Verbrauchswerte angenommen, allerdings mit einem Faktor von 0.9. Dieser berücksichtigt, dass sich nur 90% der Personen mit Nebenwohnsitz in Hallstatt aufhalten. Betrachteter Monat ist Juli.

Tabelle 39: Pro-Kopf-Verbrauchszahlen nach Altersklassen für Hauptwohnsitze

Alter	HW
15-39	81
40-64	120
65+	126

Tabelle 40: Zusammenfassung Bedarf – Sz2024-1 in l/s

Kleinverbraucher	Großverbraucher	Summe
3,35	11,08	14,43

### 4.5.1.7 Szenario 2024-2

#### Großverbraucher GV1 & GV2:

Der Tourismus (GV1 und GV2) steigt bis 2024 nur geringfügig an, die Touristenankünfte erhöhen sich von 60.000 auf 70.000. Der Verbrauch pro Nächtigung wird mit 200l/Nächtigung (Abbildung 90) angenommen.

#### Großverbraucher GV3 & GV6:

Siehe Szenario 1a

#### Kleinverbraucher GV3 & GV6:

Für dieses Szenario wird ein Bevölkerungswachstum von 5% berücksichtigt. Für diese Berücksichtigung werden sämtliche Bewohner der Haushalte um diesen Prozentwert erhöht. Als Verbrauchskennzahl wird die Haushaltsgröße verwendet (Tabelle 35).

Die Szenarien werden für den tourismusstärksten Monat Juli berechnet. Aufgrund der Sommerferien ist der Wasserbedarf viel geringer anzusetzen als bei Schulbetrieb. Ein Verbrauch von 10% der normalen Trinkwassermenge scheint angemessen für etwaige Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten.

Tabelle 41: Zusammenfassung Bedarf – Sz2024-2 in l/s

Kleinverbraucher	Großverbraucher	Summe
5,17	8,72	13,89

### 4.5.1.8 Szenario: Brandfall

Nach ÖNORM B2538 ist für den Brandfall über einen Zeitraum von 2h ein Wasserbedarf von 13l/s zur Verfügung zu stellen. Wobei, im Gegensatz zu den übrigen Szenarien, der mittlere Stundenverbrauch für Kleinverbraucher angesetzt wird. Für Großverbraucher ist der maximale Verbrauch anzusetzen (Monat Juli).

Tabelle 42: Zusammenfassung Bedarf – Sz Brandfall in l/s

<b>Kleinverbraucher</b>	<b>Großverbraucher</b>	<b>Summe</b>
1,06	8,58	9,64 + 13

### 4.5.1.9 Zusammenfassung

Die Verbrauchszahlen, welche in WaterGEMS importiert werden, haben die Einheit l/s. Unabhängig von Faktoren, vom betrachteten Monat und vom Einheitsverbrauch wurde folgendes Schema verwendet:

- Aus dem Jahresverbrauch wurde mittels Monatsfaktors der Verbrauch im Monat bestimmt.
- Der Tagesverbrauch errechnet sich, indem der Monatsverbrauch durch die Tage des Monats dividiert wurde.
- Die max. Stunde ergibt sich durch Multiplikation mit einem Spitzenstundenfaktor (siehe Tagesganglinie Abbildung 91).
- Der endgültige Bemessungswert ergibt sich aus der max. Stunde dividiert durch 3600 Sekunden.

## 4.6 Hydraulische Modellierung

Die hydraulische Modellierung wurde in Folge der örtlichen Netzgegebenheiten sowie den oben definierten Szenarien durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Form von Grafiken dargestellt, welche die Fließgeschwindigkeit sowie den vorhandenen Druck des Leitungsnetzes darstellen.

Abhängig von der Trübungsmessung am Hochbehälter, wobei das Wasser entweder aus der Quelle oder aus dem Grundwasser (zwei Brunnen am Feuerwehrgelände) entnommen wird, sind pro Szenario 4 Abbildungen dargestellt. Bei der Ergebnisdarstellung wird folgendes Schema verwendet: Eine Abbildung, welche die oben genannten Parameter sowie die Fließrichtung zeigt, und unter dieser Netzübersicht eine zusammenfassende Tabelle mit den jeweiligen Minimal- und Maximal-Werten.

Die Einteilung der Klassen der Tabellen wurde in Abhängigkeit der Ergebnisse gewählt, geachtet wurde auf gleich große Intervalle und eine möglichst gute Abdeckung der Messergebnisse.

### 4.6.1 Wasserverluste

Die Wasserverluste sind in Abbildung 93 erkennbar (grüne Punkte). Da nach Auskunft des Wassermeisters nur Verluste in Echerntal sowie Lahn vorhanden sind, werden an einigen Knoten Verluste hinzugefügt. Da nicht bekannt ist, wo genau Wasser aus dem Netz austritt, werden die Knoten verteilt über die zwei Gebiete angenommen.

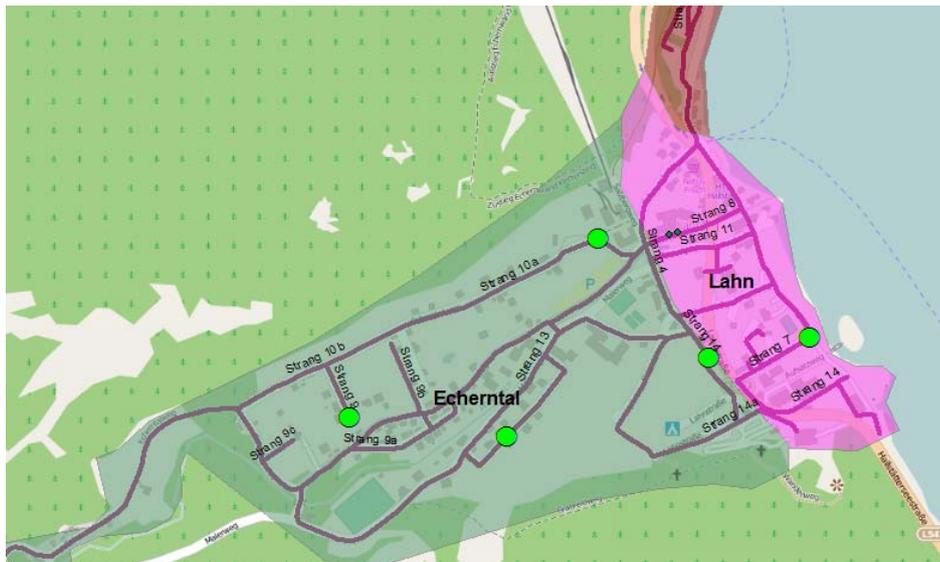
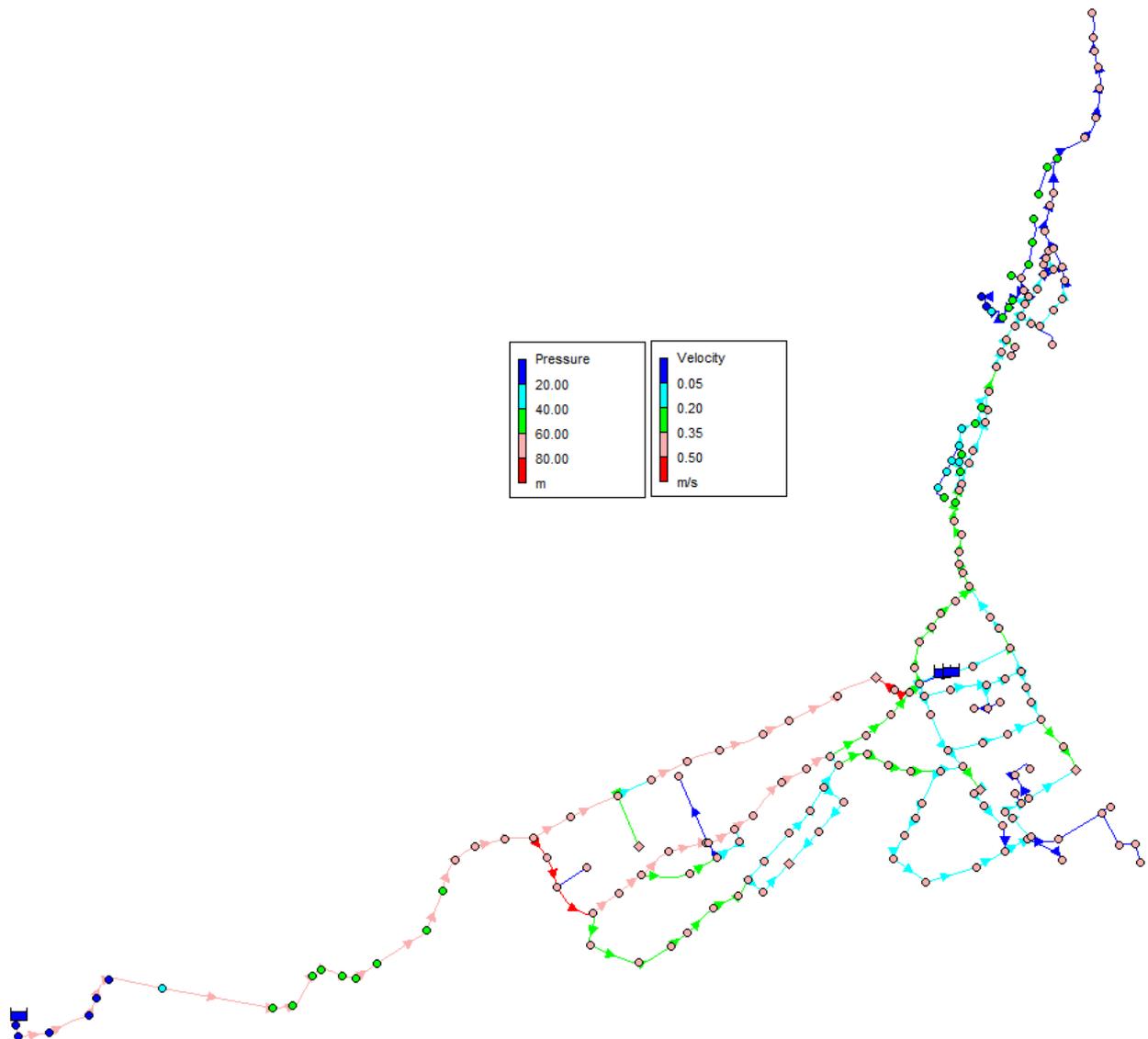


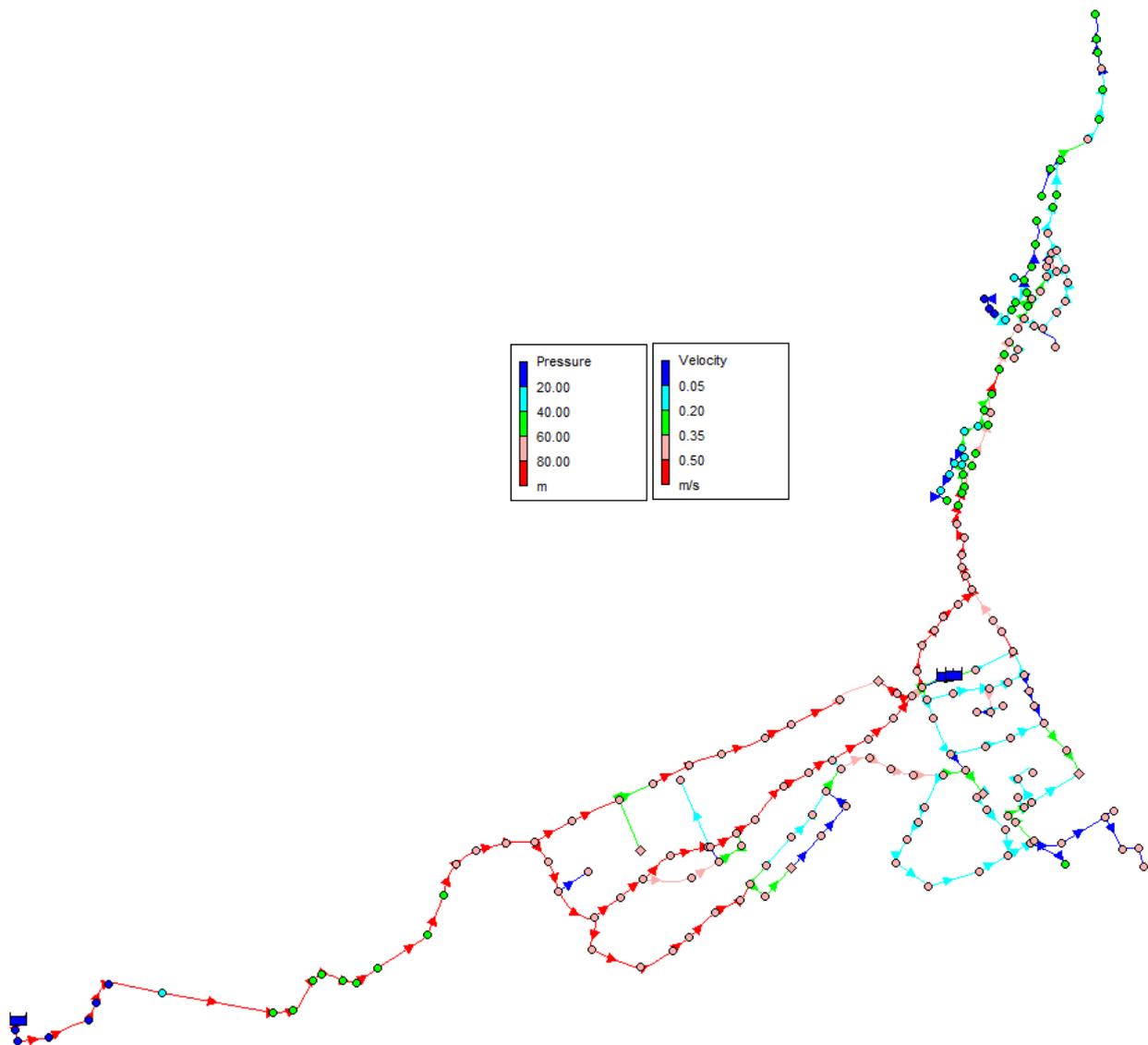
Abbildung 93: Verteilung der Wasserverluste

4.6.2 Szenario 0 – Einspeisung aus dem Hochbehälter



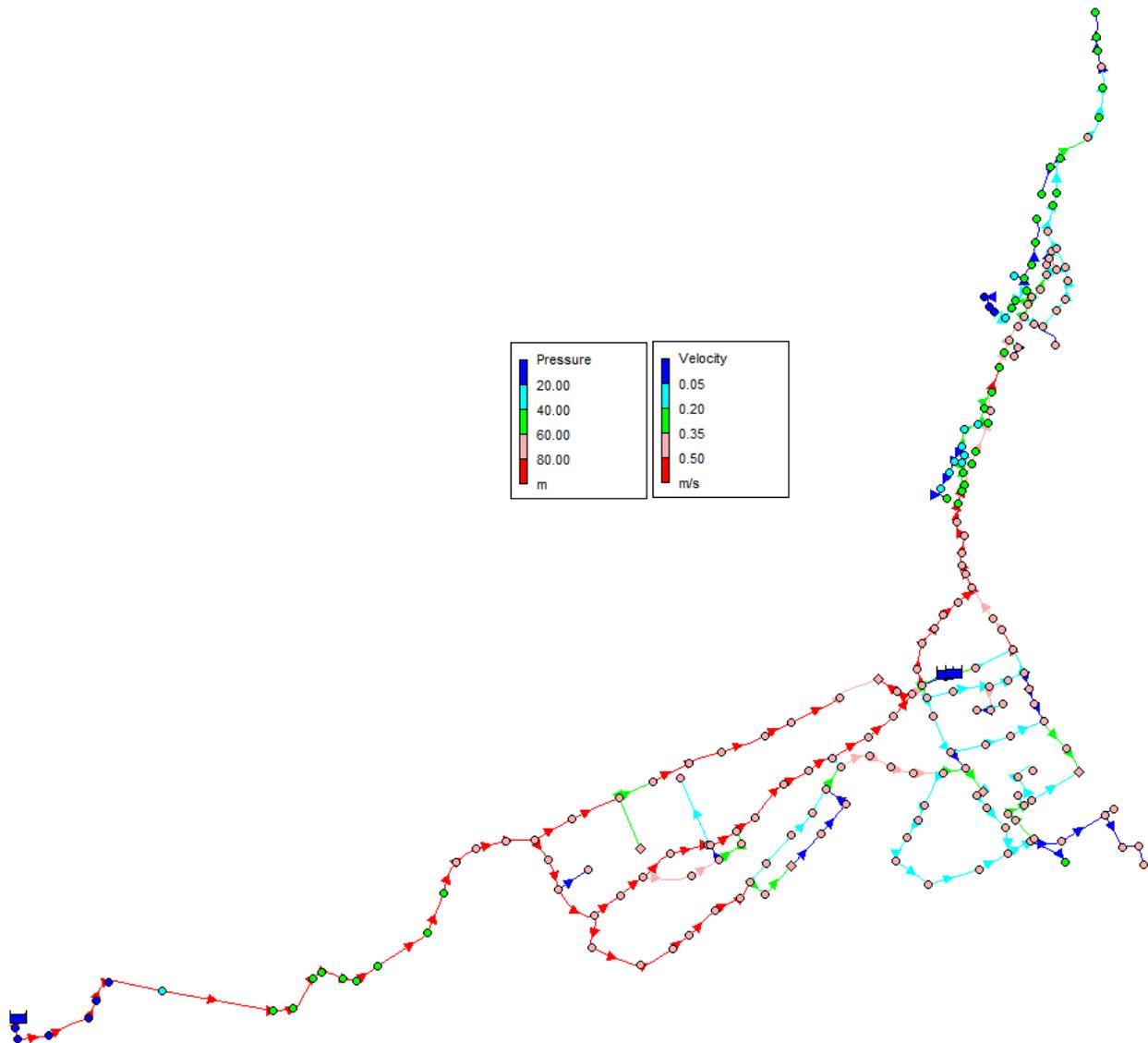
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	0,9 m/s
$p_{min}$	12,5 m
$p_{max}$	75,6 m
$Q_{Eingespeist}$	12,2 l/s

### 4.6.3 Szenario 1a – Einspeisung aus dem Hochbehälter



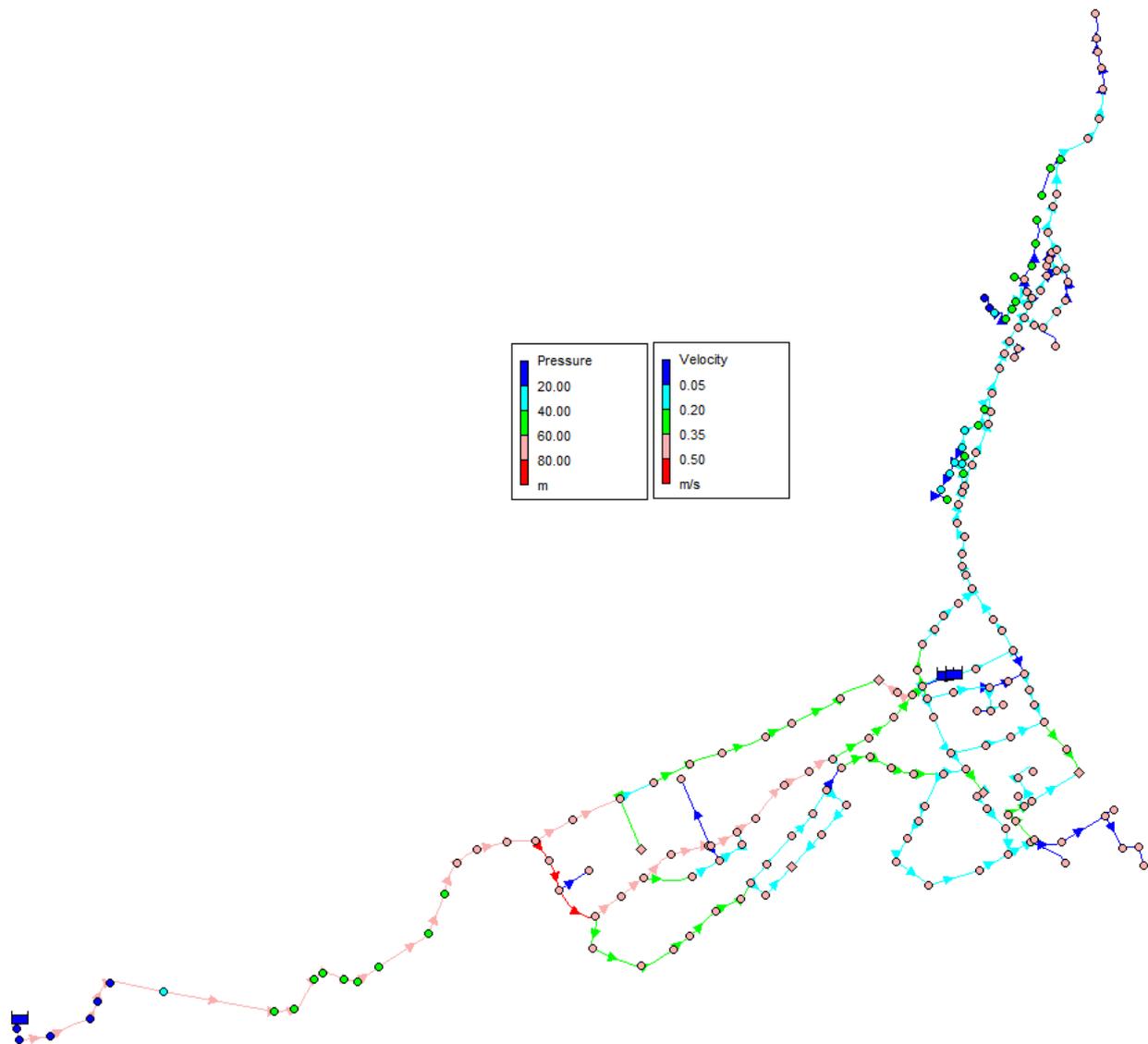
$V_{min}$	0,0 m/s
$V_{max}$	1,0 m/s
$p_{min}$	5,6 m
$p_{max}$	71,2 m
$Q_{Eingespeist}$	19,7 l/s

4.6.4 Szenario 1b – Einspeisung aus dem Hochbehälter



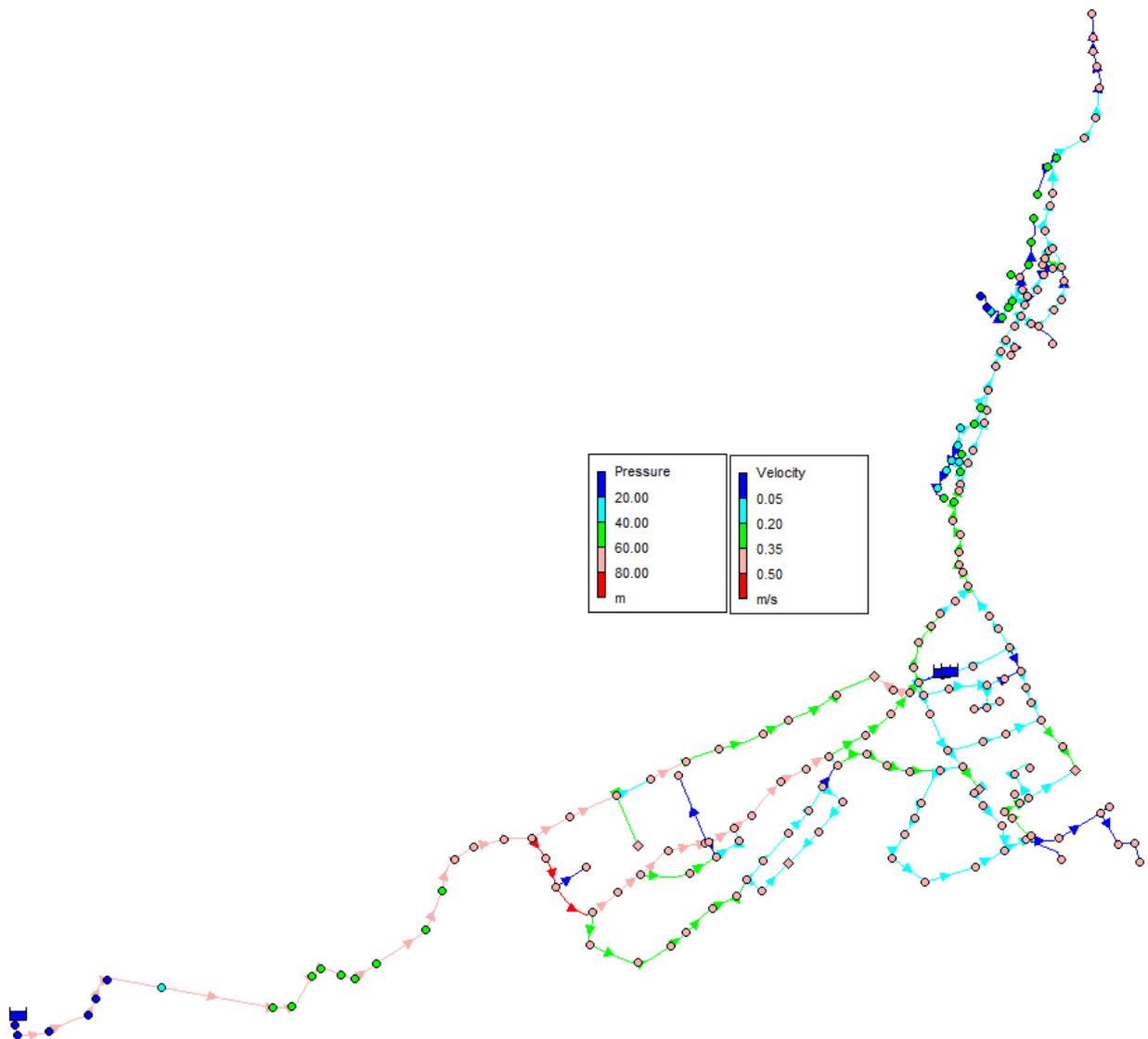
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	0,9 m/s
$p_{min}$	5,9 m
$p_{max}$	71,45 m
$Q_{Eingespeist}$	19,3 l/s

4.6.5 Szenario 2a – Einspeisung aus dem Hochbehälter



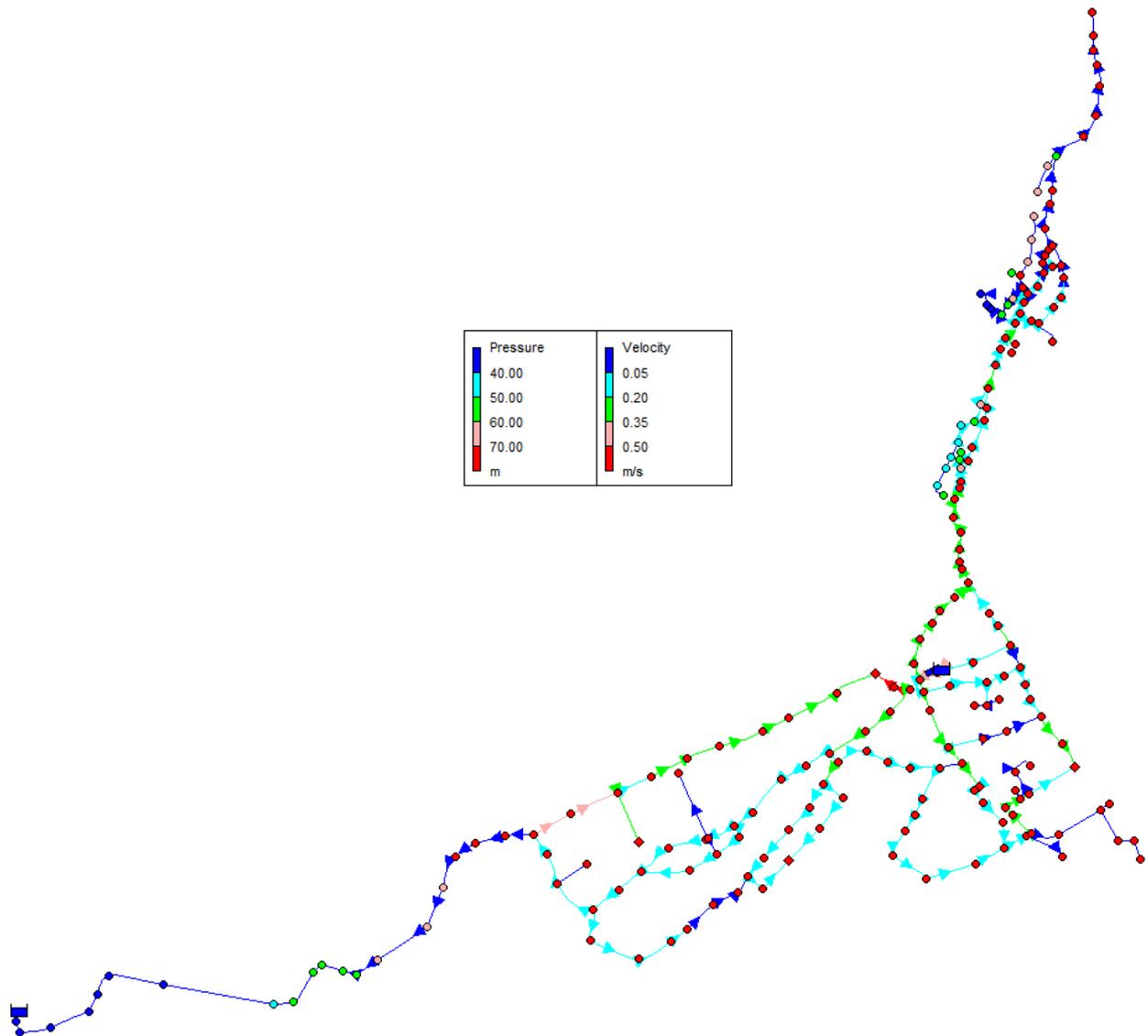
$V_{min}$	0,0 m/s
$V_{max}$	0,5 m/s
$p_{min}$	13,1 m
$p_{max}$	76,0 m
$Q_{Eingespeist}$	11,5 l/s

4.6.6 Szenario 2b – Einspeisung aus dem Hochbehälter



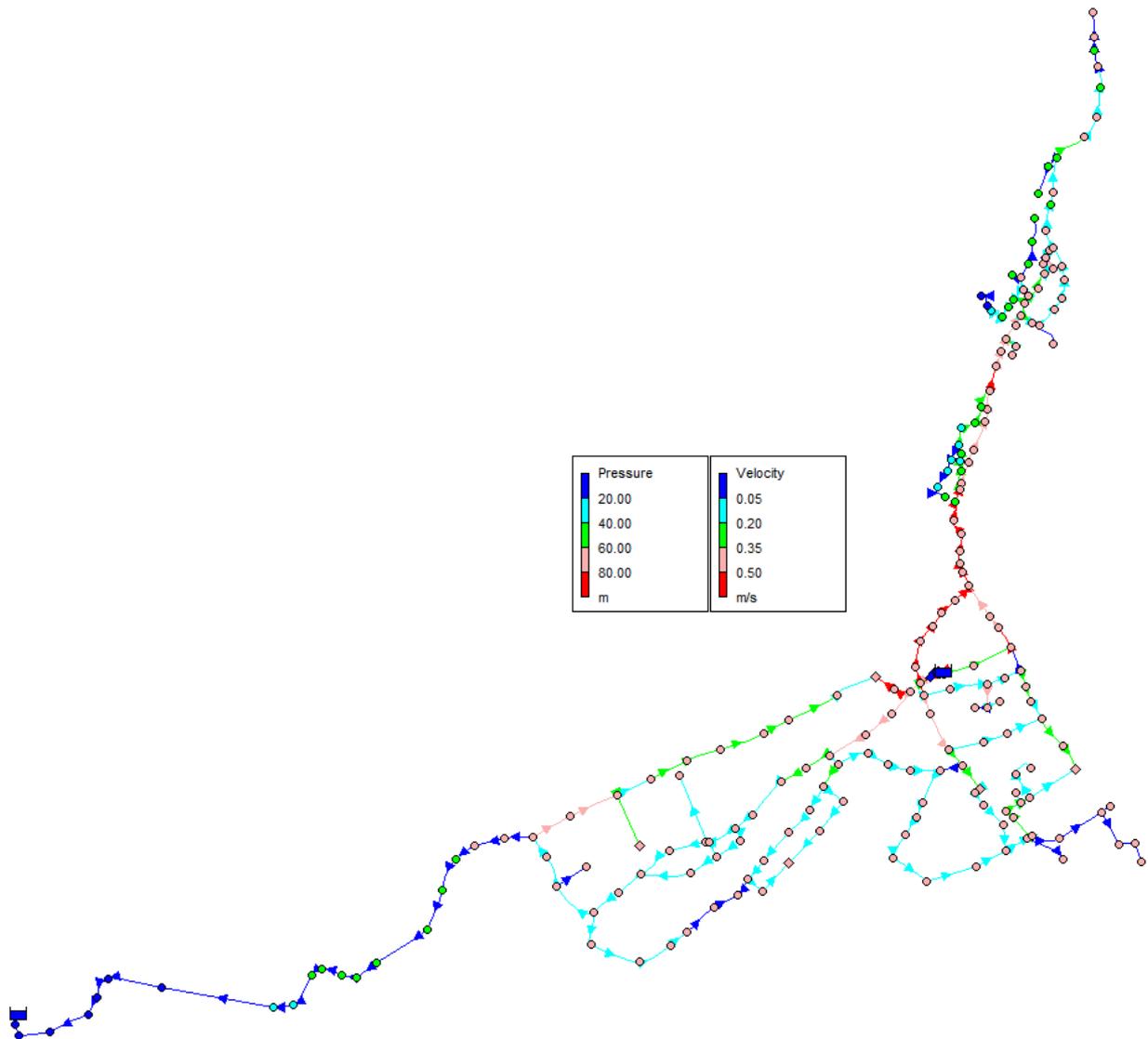
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	0,6 m/s
$\rho_{min}$	12,8 m
$\rho_{max}$	75,8 m
$Q_{Eingespeist}$	12,0 l/s

4.6.7 Szenario 0 – Einspeisung aus dem Brunnen



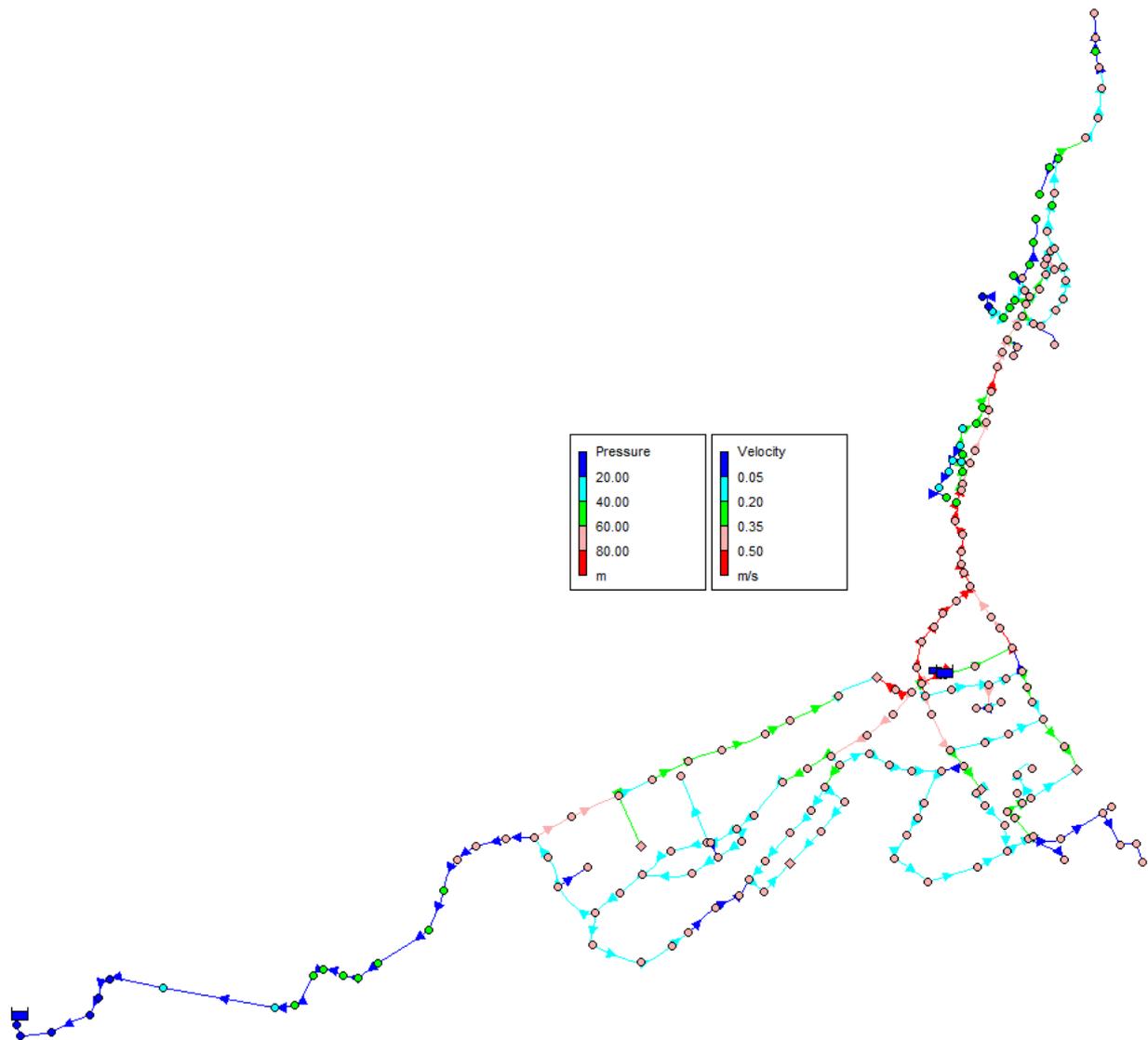
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	1,05 m/s
$\rho_{min}$	10,7 m
$\rho_{max}$	86,9 m
$Q_{Eingespeist}$	12,6 l/s

4.6.8 Szenario 1a – Einspeisung aus dem Brunnen



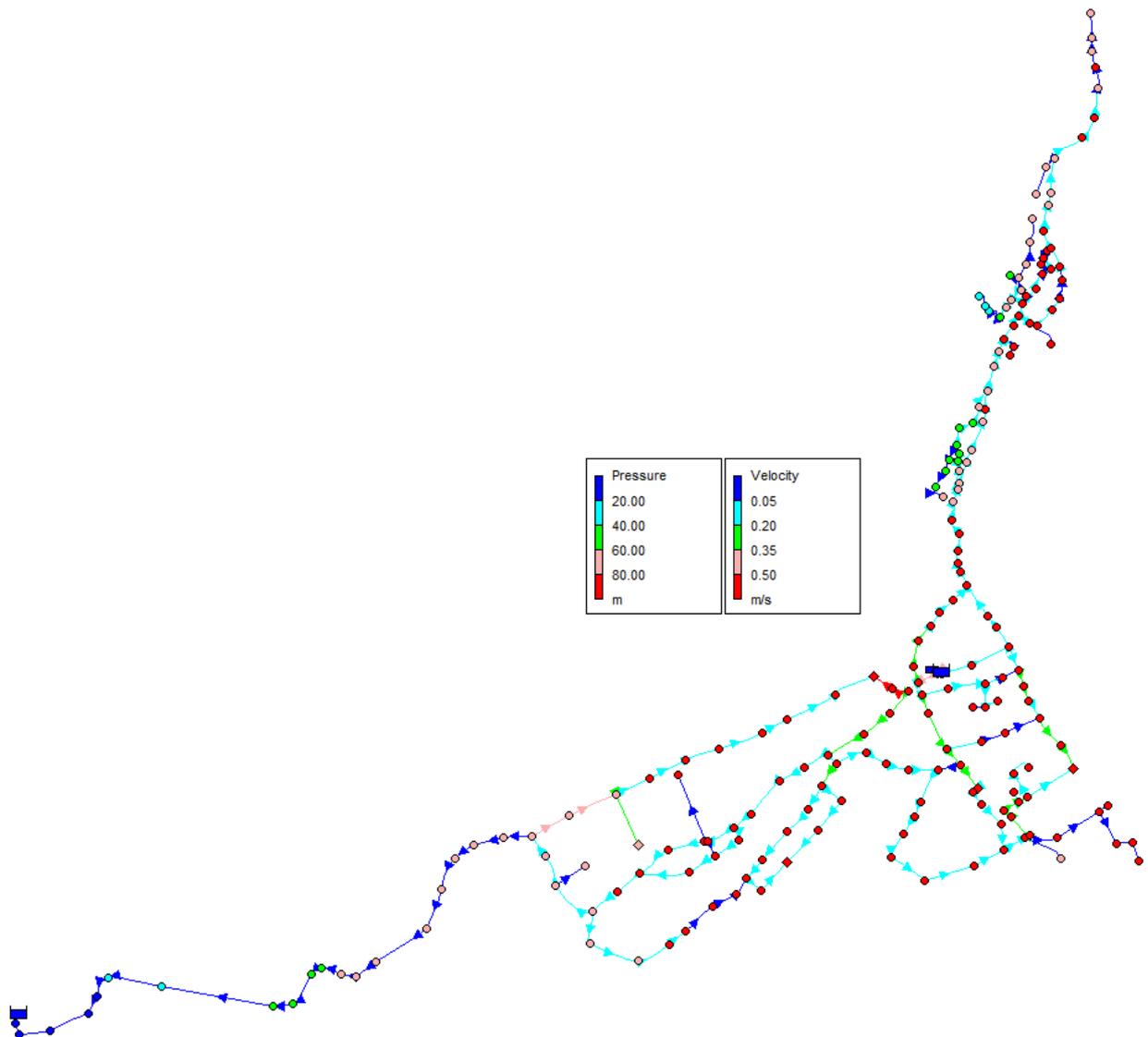
V <sub>min</sub>	0,0 m/s
V <sub>max</sub>	1,1 m/s
p <sub>min</sub>	0,5 m
p <sub>max</sub>	75,7 m
Q <sub>Eingespeist</sub>	19,8 l/s

4.6.9 Szenario 1b – Einspeisung aus dem Brunnen



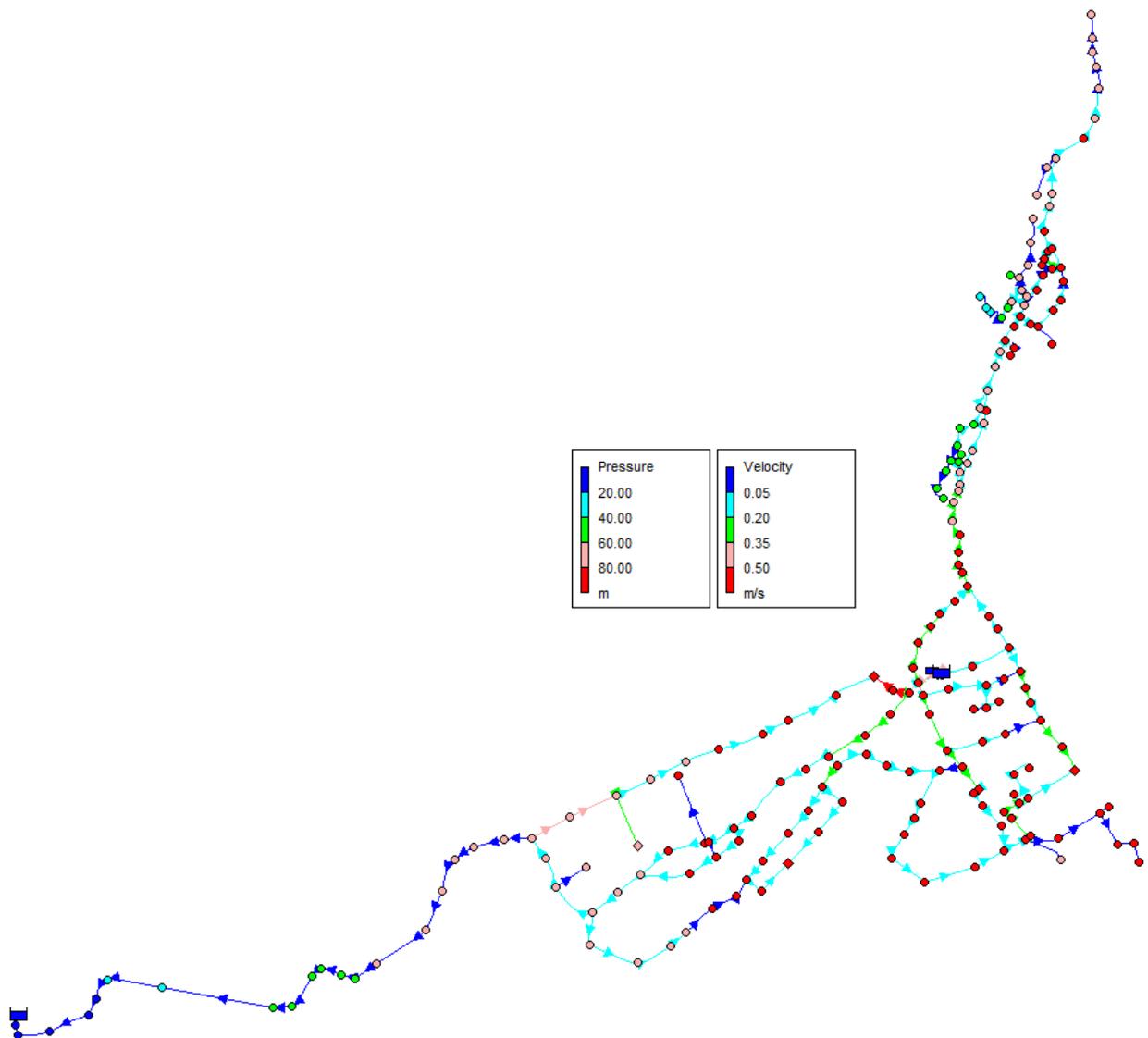
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	1,1 m/s
$\rho_{min}$	0,7 m
$\rho_{max}$	77,0 m
$Q_{Eingespeist}$	19,5 l/s

4.6.10 Szenario 2a – Einspeisung aus dem Brunnen



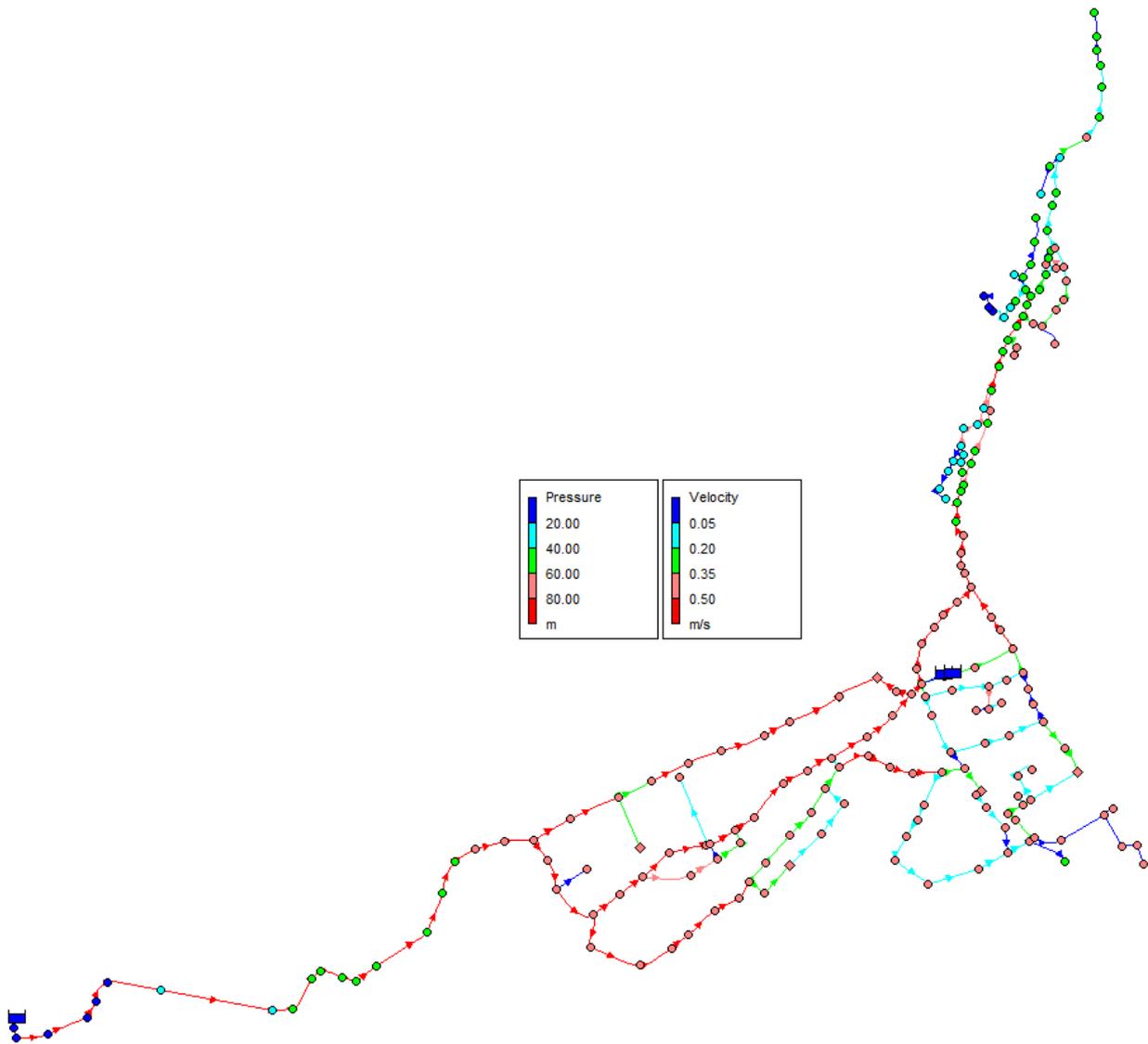
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	0,7 m/s
$\rho_{min}$	13,3 m
$\rho_{max}$	89,5 m
$Q_{Eingespeist}$	12,0 l/s

4.6.11 Szenario 2b – Einspeisung aus dem Brunnen



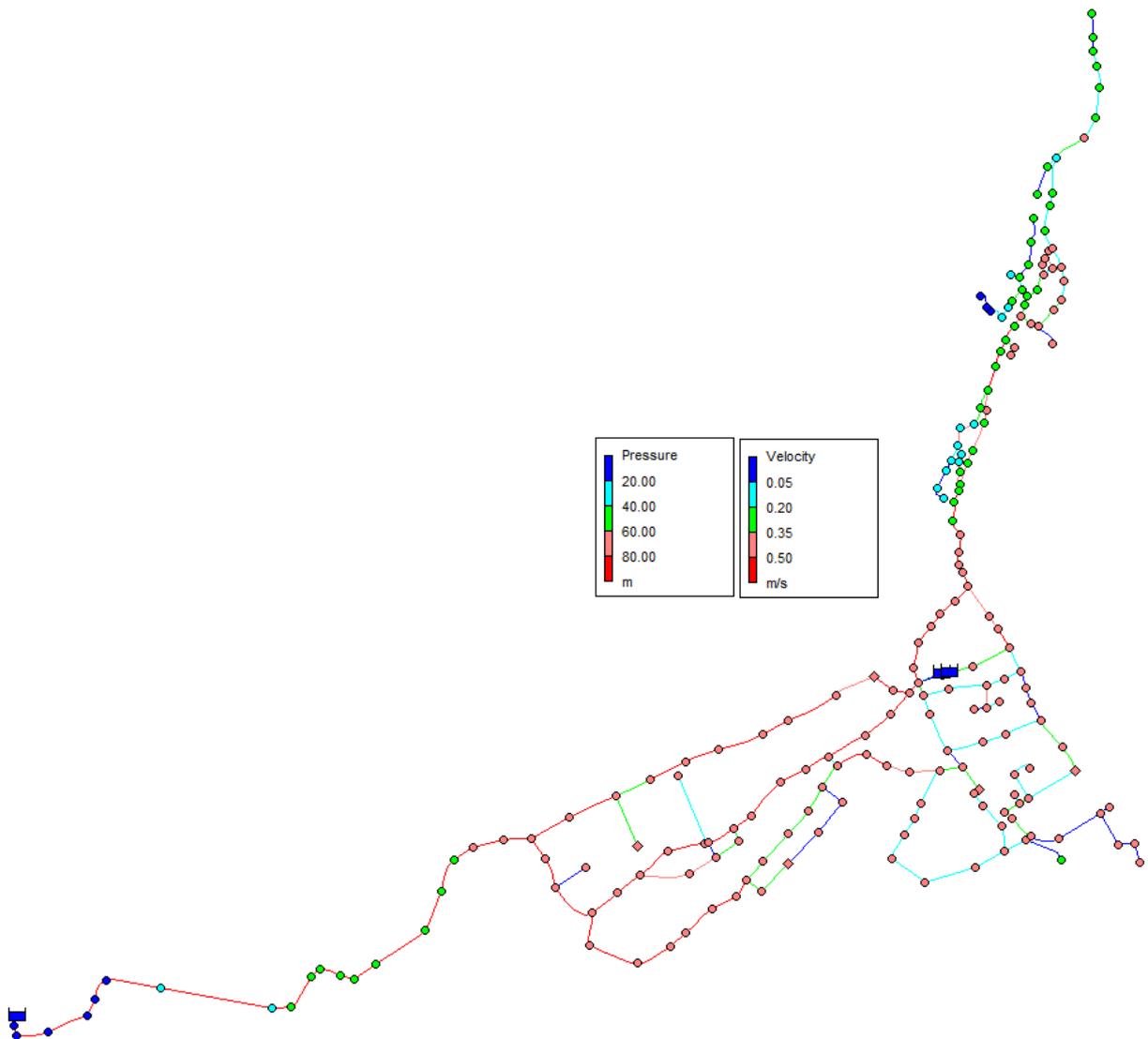
$v_{\min}$	0,0 m/s
$v_{\max}$	0,7 m/s
$\rho_{\min}$	11,5 m
$\rho_{\max}$	87,7 m
$Q_{\text{Eingespeist}}$	12,4 l/s

4.6.12 Szenario 2024-1 – Zukünftig steigender Tourismus



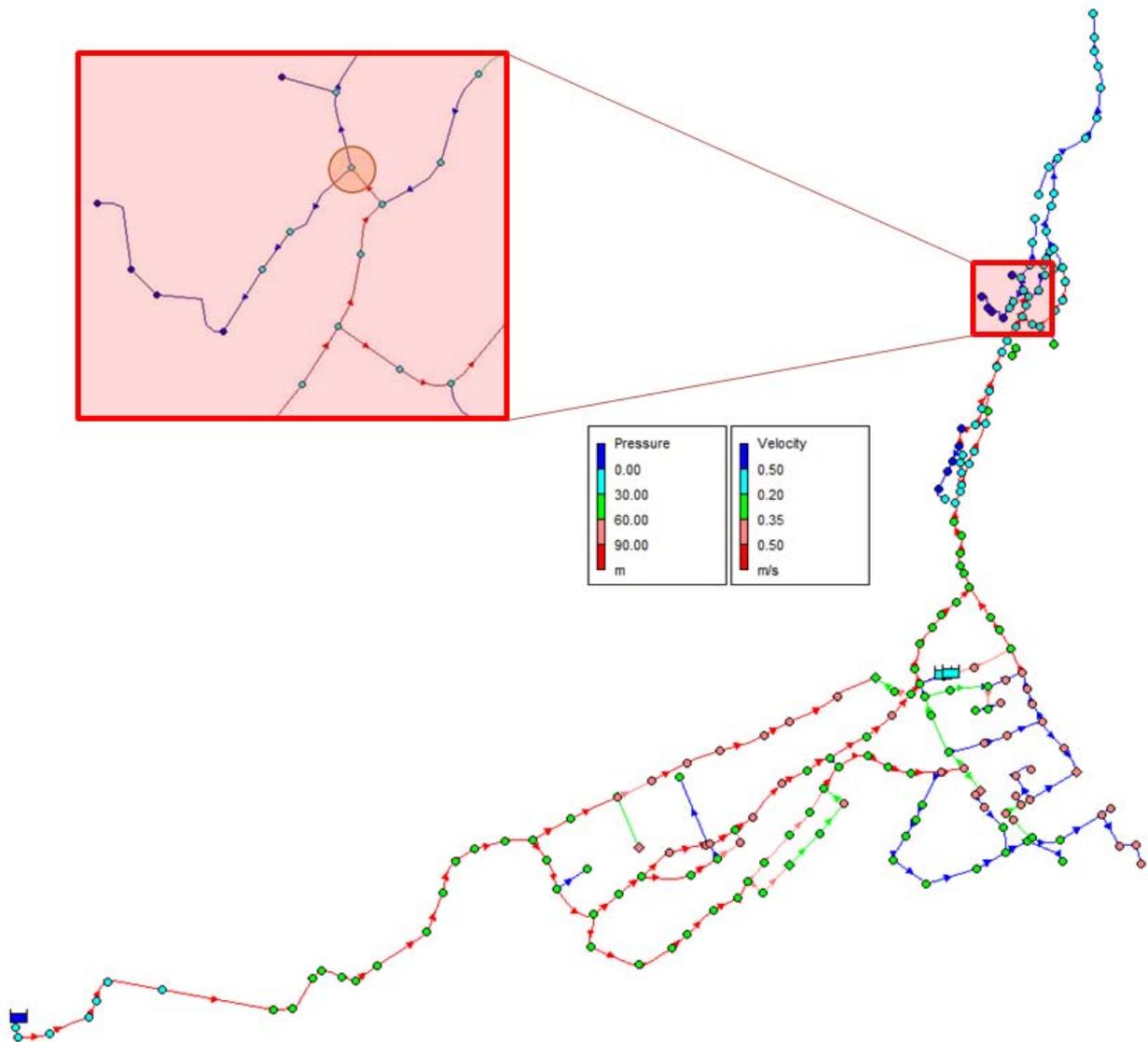
$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	1,1 m/s
$p_{min}$	2,0 m
$p_{max}$	69,4 m
$Q_{Eingespeist}$	21,97 l/s

4.6.13 Szenario 2024-2 – Gleichbleibender Tourismus, steigende Bevölkerung



$v_{min}$	0,0 m/s
$v_{max}$	1,1 m/s
$\rho_{min}$	3,27 m
$\rho_{max}$	70,0 m
$Q_{Eingespeist}$	21,4 l/s

4.6.14 Szenario Brandfall



$V_{min}$	0,0 m/s
$V_{max}$	2,63 m/s
$p_{min}$	-34,2 m
$p_{max}$	62,5 m
$Q_{Eingespeist}$	29,9 l/s

In folgender Abbildung 94 sind jene Zonen dargestellt, welche nicht mit ausreichend Druck versorgt werden können. Im nördlicheren Gebiet der beiden markierten müssen die Haushalte ohnehin eine Drucksteigerungsanlage verwenden. Eine Entnahme von 5l/s im Brandfall wäre maximal möglich, um die Versorgung der gesamten Gemeinde sicherzustellen. Lediglich die im Norden markierten Haushalte müssten Drucksteigerungsanlagen verwenden.

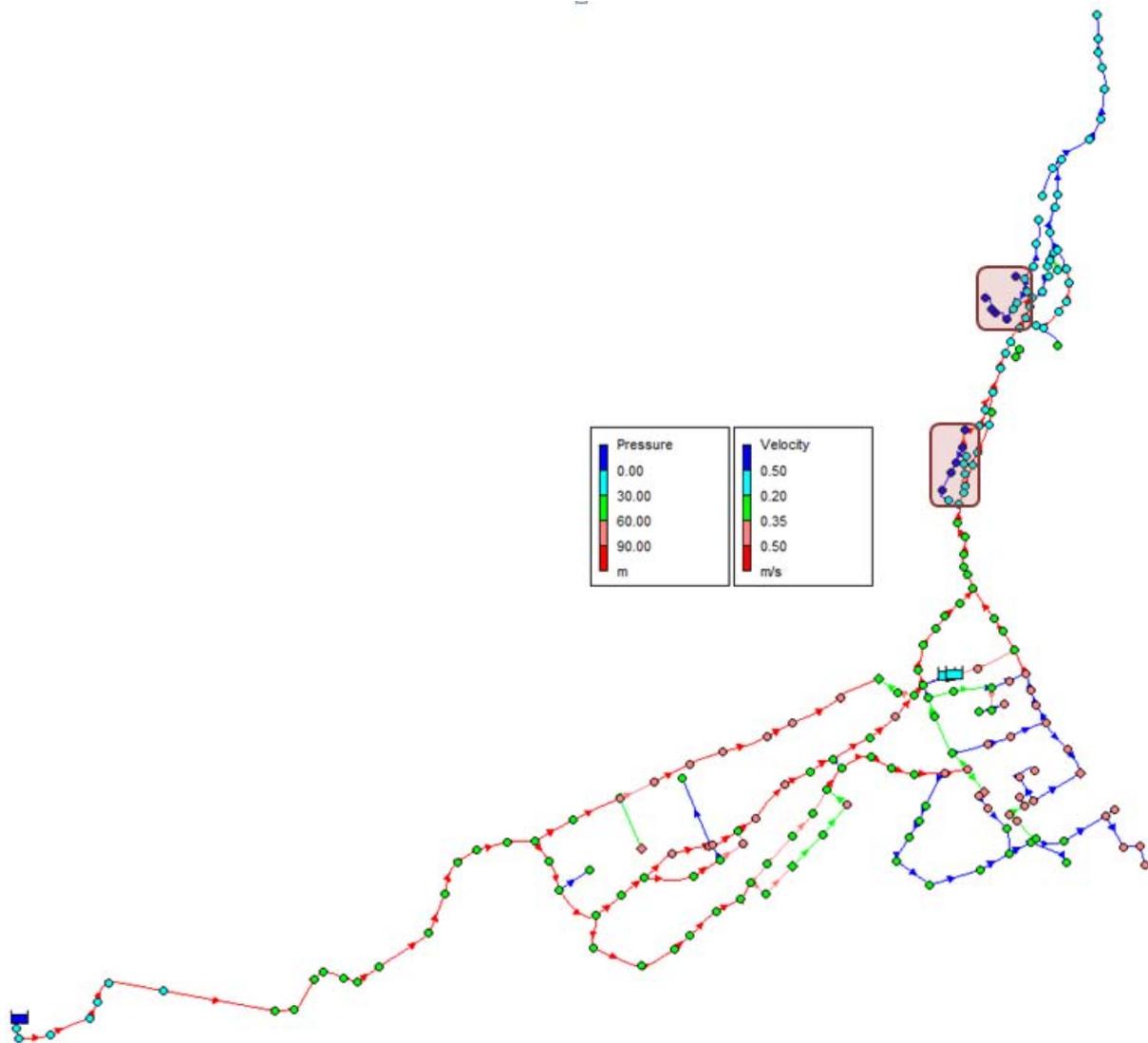


Abbildung 94: Versorgungsprobleme im Brandfall; 2 Zonen

## 4.7 Optimierung der Platzierung von Sensoren

Zur Auslegung eines Sensornetzwerkes wurden die Verbrauchswerte aus Szenario 1a gewählt. Grundsätzlich kann jedes Szenario gewählt werden, der Vorgang der Auslegung ändert sich dadurch nicht. Das hydraulische Modell muss entsprechend Kapitel 3.5.5 vorbereitet sein, um eine Sensoren-Platzierungsoptimierung durchführen zu können. Folgend werden die wichtigsten Schritte und Annahmen der Bemessung erläutert.

1. Import des Versorgungsnetzes
2. Festlegung der Netzbelastung

In Abbildung 95 sind die Daten, welche die Kontamination beschreiben, dargestellt. Die Werte wurden dem Programm-Manual entnommen. Welche Auswirkungen die Kontamination auf die Bevölkerung hat, wird über die LD50 (Median Lethale Dosis) und einen Slope-Faktor (Beta-Wert) beschrieben.

Als durchschnittliches Körpergewicht wurden 70kg angenommen.

Abbildung 95: Eingangsdaten toxische Belastung (U.S. EPA NHSRC, 2012)

3. Knotenvorauswahl und Belastung

Für diese Simulation konnten an allen Knoten Kontaminationen in das Netz injiziert werden, jeder Knotenpunkt wird nacheinander abgearbeitet.

Als weitere Einstellung wurde festgelegt, dass es möglich ist, an jedem der Knoten einen Sensor zu platzieren.

Als Injektionsrate wurden 0,833mg/min angenommen (Empfehlung aus (U.S. EPA NHSRC, 2012)). Über einen Zeitraum von einer Stunde wird diese Konzentration in das Leitungsnetz eingeleitet.

### 4. Sensor-Eigenschaften und Randbedingungen

- Die Simulation wurde für Sensoren-Gruppen von 0, 5, 10, 15, 20 und 25 Sensoren durchgeführt
- Als Hauptziel wurde ausgewählt, dass die betroffene Bevölkerung minimiert wird
- Zeitintervalle, an denen Sensoren-Netzwerke erstellt wurden: 0, 360 sowie 720 Minuten

Zusammengefasst ergeben sich 54 Simulationen, kombiniert aus 6 Sensoren-Set-Größen, 3 Response-Zeiten und 3 Erkennungsgrenzen.

In Abbildung 96 sind die Ergebnisse aller Simulationen dargestellt. Dargestellt sind jene Knoten, welche in allen Simulationen mindestens 5-mal für einen Sensorplatz gewählt wurden.

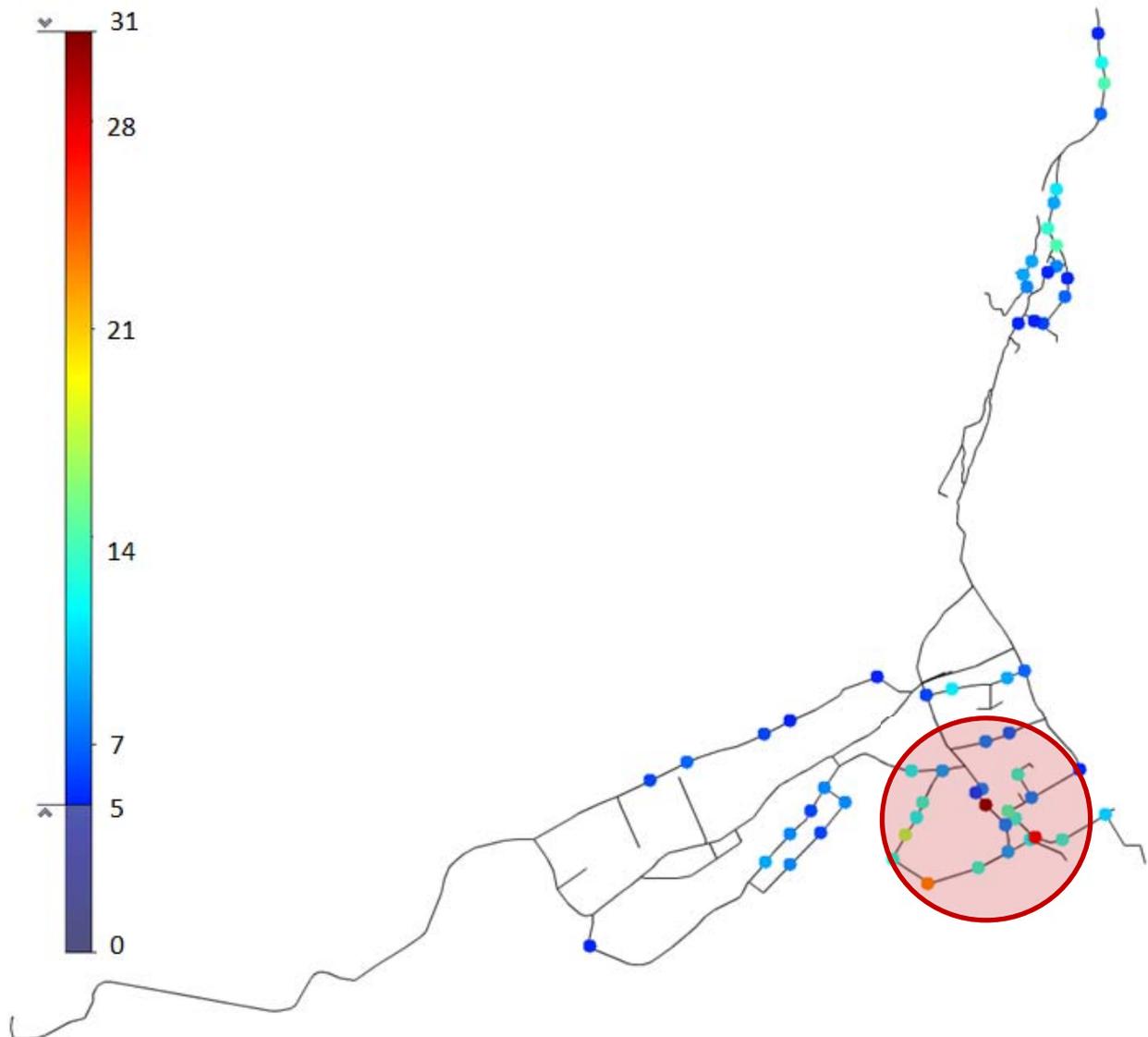


Abbildung 96: Mögliche Sensoren-Standorte aller Simulationen zusammengefasst

## 4.8 Diskussion der Ergebnisse

### 4.8.1 Kennzahlen

In Kapitel 6 sind die Ergebnisse der Modellierung dargestellt. Diese sollen dabei nicht den tatsächlichen Betrieb des Netzes widerspiegeln, sondern aufzeigen, ob es Sinn macht, eine vertiefte Verbrauchsanalyse durchzuführen oder nicht. Theoretisch müssten Szenario 1 und Szenario 2 mit Szenario 0 verglichen werden. Durch die fast flächige Verteilung der Großverbraucher (Abbildung 88) ist es schwer, eine Aussage über die Sinnhaftigkeit der vertieften Verbrauchsanalyse zu treffen, da Großverbraucher ohnehin punktuell angesetzt werden und somit die Verteilung der Kleinverbraucher in den Hintergrund stellen. Abbildung 54 zeigt das Verhältnis von GV:KV, welches während der Touristenzeit bei 2:1 liegt. Die eingespeiste Wassermenge wird maßgeblich von den Großverbrauchern bestimmt. Ebenfalls negativ auf diese Modellierungsmethode wirkt sich der Anteil der Nebenwohnsitze aus, welcher zusätzlich die Schwankungen des Tourismus erhöht, da sich Personen, welche ihren Nebenwohnsitz in Hallstatt haben, wohl vermehrt zu Schulferien-Zeiten in der Gemeinde aufhalten.

Trotz dieser Umstände ist es in jedem Fall sinnvoll, eine hydraulische Modellierung mit Kennzahlen, welche nach den Meldedaten Verbrauchszahlen generieren, durchzuführen. Der Vergleich mit der Literatur hat gezeigt, dass die in dieser Arbeit errechneten Verbrauchskennzahlen mit anderen Publikationen durchaus übereinstimmen. Durch die Anwendung dieser Berechnung steigt die Genauigkeit der Modellierung, wobei es am sinnvollsten ist, diese möglicherweise für Städte/Gemeinden, welche einen geringen Tourismus aufweisen, zu verwenden. Um diese Methode der Bedarfsermittlung sinnvoll anwenden zu können, sollte man Verbrauchsdaten mit den Meldelisten abstimmen. Es wäre dann geografisch festgelegt, wo sich der Verbrauch befindet, warum dieser so hoch ist und welchen Zusammenhang es zum Alter, der Haushaltsgröße oder zum Wohnsitztyp gibt. Selbst Großverbraucher würde man einfach in diese Tabelle integrieren können. Man könnte die Namen der Hausbewohner durch den Namen des Hotels, Gasthauses usw. ersetzen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine Gemeinde mit knapp 800 Einwohnern und trotz dieser geringen Einwohnerzahl war der Formatierungs- und Zusammenführungsaufwand der Daten immens. Um diese Art der Analyse durchzuführen, ist es in Zukunft unumgänglich, die Daten, den Verbrauch und die Meldeliste zusammen zu betrachten und auch dementsprechend zu formatieren, nicht wie zurzeit getrennt und nur teilweise zusammenhängend.

### 4.8.2 Leitungsnetz

Das Netz der Marktgemeinde an sich weist eine sehr geringe Fließgeschwindigkeit auf. Bei Szenarien, wo das Wasser aus den **Klausbrunnenquellen** in das Netz eingespeist wird, ist zu erkennen, dass bei Szenario 1 eine max. Fließgeschwindigkeit von 1m/s vorhanden ist. Am Rande des Versorgungsgebietes kommt es lt. Modellierung zu Problemen bzgl. der Fließgeschwindigkeit, diese geht gegen 0m/s. Die vorhandenen Drücke sind weitgehend ausreichend, lediglich an den höchsten Punkten des Netzes muss eine Drucksteigerungsanlage verwendet werden. Dies stimmt auch mit der Auskunft des Wassermeisters der Gemeinde überein. Ein Anliegen der Gemeinde war es, zu überprüfen, ob eine Ringleitung den geringen Druck am höchsten Versorgungspunkt erhöhen könnte. Da diese Leitung jedoch zu keinerlei Verbesserung führt, wird auch nicht näher darauf eingegangen.

Szenario 2 zeigt deutlich die Problematik der schwankenden Wassermenge. Die max. Fließgeschwindigkeit reduziert sich in diesen Szenarien auf 0,53m/s, lt. ÖNORM B2538 liegt die optimale Fließgeschwindigkeit im Bereich von 0,8m/s bis 1,0m/s. Durch eine höhere Fließgeschwindigkeit steigen jedoch auch die Kosten des Betriebs (erhöhte Pumpenkosten, höhere Druckverluste). In Bereichen mit dem meisten Verbrauch wird diese sogar unter 0,35m/s reduziert. Der Druck erhöht sich aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit, allerdings ist er immer noch nicht ausreichend, um die höchsten Gebiete zu versorgen.

Über die Einspeisung mittels des **Brunnens** lässt sich nur schwer eine Aussage treffen, da keine genauen Betriebsdaten vorhanden sind. Mit der in Abbildung 42 angenommenen Pumpenkennlinie lassen sich Großteile des Netzes versorgen, sogar die höchsten Versorgungspunkte hätten einen vorhandenen Druck von 30m Wassersäule. In den meisten Haushalten ist ein Druck von knapp 90m Wassersäule vorhanden, was lt. ÖNORM B2538 zu viel wäre.

Im Szenario Brandfall ist es nicht mehr möglich, die gesamte Gemeinde mit Trinkwasser zu versorgen. Bei einer Erstbereitstellung von 13,3l/s über die ersten 2 Stunden können die am höchsten gelegenen Gebiete nicht mehr versorgt werden (Abbildung 94). Laut Modellierung können im Brandfall 5l/s entnommen werden, um eine Versorgung der Gemeinde sicherzustellen. Eine Erhöhung der Durchmesser, derzeit 1“, erscheint nicht sinnvoll, da es sich beim Brandfall um eine Extremsituation handelt.

### 4.8.3 Sensoren

Für ein Versorgungsnetz in dieser Größe erscheinen 5 Sensoren als ausreichend. Die Modellierung mittels TEVA-SPOTs ergab, dass Sensoren vor allem in der südlichen Lahn platziert werden sollten, um die Bevölkerung, welche der Kontamination ausgesetzt ist, zu minimieren. Im Ortszentrum Markt wurde von den 54 Simulationen an einigen Knoten mehr als 10-mal ein Sensor platziert. Folgende Aufteilung erscheint sinnvoll:

Echerntal: 1 Sensor

Lahn: 2-3 Sensoren

Markt: 1-2 Sensoren

## 4.9 Schlussfolgerungen für die Fallstudie Hallstatt

Die Ausgangssituation der Marktgemeinde Hallstatt ist in Bezug auf die Trinkwasserversorgung ein schwierige. Durch die hohen Schwankungen, tourismus- und zweitwohnsitzbedingt, ist eine Versorgung zu allen Gegebenheiten äußerst schwierig. Es ist zu erwarten, dass sich die Situation in Zukunft in Richtung Erhöhung des Tourismus und weiteren Bevölkerungsverlust entwickelt. Allein in den letzten 10 Jahren ging die Bevölkerung um rund 10% zurück, wobei diese Abwanderung großteils aus Hauptwohnsitzen besteht.

Das Trinkwassernetz der Gemeinde ist durch die im Jahr 2012 errichteten Brunnen und das implementierte Leitsystem am Stand der Technik. Durch die Steuerungsmöglichkeit mittels Leitsystems ist es möglich, auf Unwetter sowie schwankenden Verbrauch zu reagieren. Aktuell (2014) wird ein Leitungskataster für das Versorgungsnetz der Gemeinde erstellt. Die hohen Verluste im Echerntal werden durch Neubau von Leitungen behoben.

Aus aktueller Sicht ist Hallstatt am besten Weg, trotz den schwierigen Rahmenbedingungen ein modernes und funktionstüchtiges Trinkwassernetz zu erhalten.

Durch die Erstellung eines Leitungskatasters und die zentrale Speicherung der Daten wäre es in Zukunft einfach möglich, Szenarien entsprechend der weiteren Entwicklung zu generieren. Durch die Vielfalt an Szenarien kann der Betrieb des Leitungsnetzes optimiert werden. Schwankende Verbrauchszahlen lassen sich entsprechend der Jahresganglinie bzw. des definierten Szenarios leichter versorgen. Es wäre bereits vorab möglich, die erforderliche Einspeisemenge abzuschätzen oder ob es mehr Sinn macht, das Netz aus dem Hochbehälter oder den Brunnen zu versorgen.

### 5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit setzt sich aus der Literaturrecherche sowie einer Fallstudie der Marktgemeinde Hallstatt zusammen. Im Zuge der Literaturrecherche wurden allgemeine Grundlagen betreffend der Wasserbedarfsermittlung, Geoinformationssysteme, hydraulische Modellierung Optimale Platzierung von Sensoren sowie Redundanz und Resilienz untersucht. Die nachfolgende Fallstudie beinhaltet die Analyse der Bevölkerungs- sowie Verbrauchsdaten der Gemeinde, welche als Grundlage für die nachfolgende Definition der Szenarien sowie der hydraulischen Modellierung dient. Den Abschluss der Arbeit bildet ein Sensornetzwerk für Wasserqualitätssensoren.

Die **Wasserbedarfsermittlung** wird in Österreich nach ÖNORM B 2538 durchgeführt. In der Gesamtbedarfsermittlung wird zwischen Kleinverbraucher, Wassermenge/Rohrlänge, und Großverbraucher, punktuelle Wasserentnahme, unterschieden. Sind keine genauen Wasserbedarfsdaten vorhanden listet die ÖNORM B 2538 Richtwerte, beispielsweise ist für eine Person ein täglicher Wasserbedarf von 120l/Tag angegeben. Richtwerte von Verbrauchsdaten für Großverbraucher sind in der DVGW (2008) angeführt. Ausgehend von den Kennzahlen erfolgt die Berechnung der Bemessungswerte dabei nach folgendem Schema:

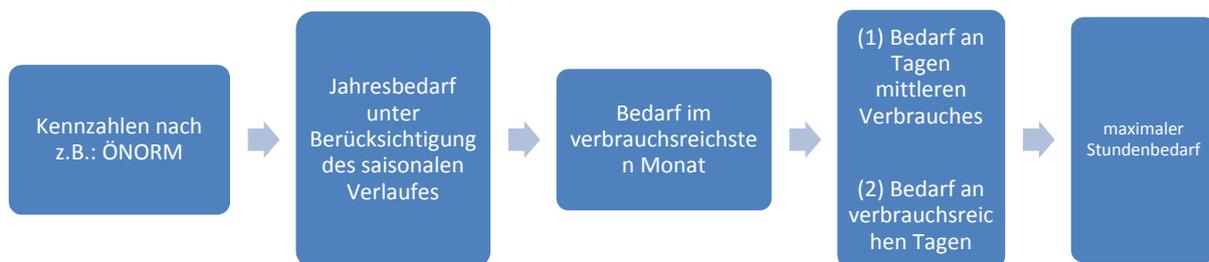


Abbildung 97: Schema zur Ermittlung des maximalen Stundenbedarfs

Im darauf folgenden Kapitel sind Grundlagen und Anwendungen von **Geoinformationssysteme** beschrieben. In Geoinformationssystemen werden Raumdaten (Landnutzungsdaten, Leitungskataster, Einbauten, Bezirksgrenzen etc.) aus der Wirklichkeit abgebildet. Nach GOODCHILD & PALLADINO (1995) sollen Geoinformationssysteme z.B. folgende Fragen beantworten:

- Wo befindet sich Österreich?
- Was ist der Name dieser Stadt?
- Was ist die schnellste Route von A nach B?
- Sollte in diesem Fluss der HQ 100 überschritten werden, welche Gebiete sind dann von der Überschwemmung betroffen?
- Wo und in welcher Tiefe sind Leitungen verlegt?

In der Siedlungswasserwirtschaft werden Geoinformationssysteme unter anderem bei Leitungsinformationssystemen (ÖWAV RB 40 / ÖVGW RL W104) verwendet. Des Weiteren finden GIS-Systeme in der hydraulischen Modellierung Anwendung.

Unter einem **hydraulischen Modell** wird die mathematische Annäherung der Eigenschaften des realen Trinkwassernetzes verstanden (WALSKI, et al., 2003). Ein Wasserversorgungssystem besteht aus einer Wassergewinnung (z.B. Quelfassungen, Seewasserentnahme, Brunnen etc.), oftmals einer Wasseraufbereitung (z.B. Oxidation, Filtration, Desinfektion etc.), der Wasserförderung (z.B. Pumpen), einem Behältnis zur Wasserspeicherung (z.B. Hochbehälter, Wasserturm) und der Wasserverteilung (z.B. Zubringerleitungen, Fernleitung, Rohrnetz) (MUTSCHMANN & STIMMELMAYR, 2011). Trinkwassersysteme können im Modell unverändert dargestellt werden (All-Pipes-Modell) oder vereinfacht (ausgewählte Knoten/Rohre werden nicht modelliert)

Der Trend in der hydraulischen Modellierung ist die **Integration in Geoinformationssysteme**. Dabei werden sämtliche Leitungs- und Verbraucherdaten in einer Datenbank verwaltet. Ein

hydraulisches Modell kann somit auf Grundlage der jeweils aktuellen Geoinformationsdaten erstellt werden. Durch die Integration können Geodaten (z.B.: Landnutzungsdaten) in der Modellierung berücksichtigt, kartenbasierte Darstellungen und Überlagerung von GIS-Karten erstellt werden. Die Intervalle für die Aktualisierung eines hydraulischen Modells kann verringert werden.

Kapitel 3.5 behandelt Optimierung der Platzierung von Sensoren sowie Redundanz und Resilienz. Bei der Auslegung von **Sensornetzwerken** sind in der Literatur 4 Hauptziele zu finden:

1. Die Zeit, bis eine Kontamination erkannt wird, muss minimiert werden.
2. Die Bevölkerung, welche kontaminiertes Wasser trinkt, soll minimiert werden.
3. Eine möglichst geringe Wassermenge soll kontaminiert werden.
4. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kontamination nicht erkannt wird, muss so gering wie möglich sein.

Durch den Einsatz von Sensoren soll die Wasserqualität für den Verbraucher sichergestellt werden. Unzureichende Wasserqualität, beispielsweise bedingt durch Wetterereignisse, durch menschliches Versagen oder Netzgebrecen lässt sich durch optimierte Platzierung von Sensoren rascher erkennen und zielgerichtet beheben. Die durchgehende Dokumentation und die optimierte Sicherstellung der Wasserqualität ist der wichtigste Grund für den Einsatz von Sensoren. Zum Einsatz in der allgemeinen betrieblichen Praxis kommen, nach Auskunft einer Sensor-Herstellerfirma, vor allem Sensoren welche pH-Wert, Leitfähigkeit, gelösten Sauerstoff, Chlor, Redox-Potential, CSB/DOC/SAK und Ammonium messen können. Zur Auslegung von Sensornetzwerken ist die freie Software von EPA, TEVA-SPOT zu nennen.

**Redundanz und Resilienz** sind nicht leicht voneinander zu unterscheiden; bei Verbesserungsmaßnahmen wirkt sich eine Erhöhung der Redundanz auch positiv auf die Resilienz aus. In der Literatur wird Redundanz in der Wasserversorgung als das Vorhandensein alternativer Versorgungswege zum Verbraucher verstanden. Unter Resilienz versteht man die Fähigkeit eines Systems, vor, während und nach einer Beeinträchtigung diese Beeinträchtigung zu überstehen. Das System erholt sich bis zu einem gewissen Grad und hält diesen Level über einen gewissen Zeitraum (ROCHAS, et al., 2014). Maßnahme zur Erhöhung der Redundanz und Resilienz lassen sich in 3 Hauptgruppen einteilen, die Zuweisung ob Redundanz oder Resilienz erhöht werden sind in Klammer angeführt:

- (1) Vorsorge: Bewusstseinsbildung bei den Verbrauchern (Resilienz)
- (2) Planung: Voll vermaschte Netze (Redundanz); Ausgleichsbehälter (Resilienz)
- (3) Anpassung: Während Netzinstandhaltungsarbeiten eine zusätzliche Ringleitung bauen (Redundanz)

In Kapitel 4 wurde die Fallstudie Hallstatt untersucht. **Hallstatt** ist eine kleine Marktgemeinde im Salzkammergut im Bundesland Oberösterreich mit knapp 800 Einwohnern (Stand 2014). Die Gesamtbevölkerung reduzierte sich von 1951 bis 2010 um 42,3%. Die Anzahl der Nebenwohnsitze, blieb mit ca. 20% der Gesamtbevölkerung nahezu konstant. Das Verhältnis der unterschiedlichen Haushaltsgrößen blieb unverändert, während eine Überalterung der Bevölkerung feststellbar ist. Die Touristenankünfte und Übernachtungen verdoppelten sich von 1998 bis 2014. Sowohl für national als auch international Gäste ist ein Anstieg deutlich erkennbar.

Aus den vorliegenden Verbrauchsdaten wurden Pro-Kopf-Kennzahlen ermittelt. Wie in der Analyse der Bevölkerung die Klassen Alter, Haushaltsgröße und Art des Wohnsitzes gewählt wurden. Ein Vergleich zwischen der hydraulischen Modellierung mittels Kennzahlen nach ÖNORM B 2538 und der in dieser Arbeit verwendeten vertieften Verbrauchsanalyse soll durchgeführt werden. Folgende Auflistung zeigt die für die folgende hydraulische Berechnung notwendigen Verbrauchsdaten der **Kleinverbraucher**.

## Zusammenfassung

---

- Die Pro-Kopf-Verbrauchszahlen nach Wohnsitzart:

Hauptwohnsitze:	114 l/d
Nebenwohnsitze:	43 l/d
Mischwohnsitze:	100 l/d
- Der Pro-Kopf-Verbrauch nimmt mit dem Alter zu (für Hauptwohnsitze):

15-39 Jahre:	80 l/d
40-64 Jahre:	118 l/d
65 und älter:	125 l/d
- Der Pro-Kopf-Verbrauch für 2- und 3-Personen-Haushalte ist am größten (für Hauptwohnsitze):

HHG 1:	80 l/d
HHG 2:	118 l/d
HHG 3:	125 l/d
HHG 4:	99 l/d
HHG 4+:	95 l/d

**Großverbraucher** wurden in 6 Klassen unterteilt (Pension, Hotel, Handel, Gastronomie, Gewerbe und Industrie oder sonstiges). Der Gesamtverbrauch setzt sich aus 51% Großverbraucher und 49% Kleinverbraucher zusammen.

Die Bedarfsentwicklung wurde auf Basis von 6 unterschiedlichen Szenarien untersucht. Die vertiefte Verbrauchsanalyse sowie die zentrale Speicherung in einem Geoinformationssystem haben wesentliche Vorteile gezeigt:

- Zentrale Speicherung von Meldedaten und Verbrauchsdaten
- Geografische Information jedes Einwohners
- Einfache und stets aktuelle hydraulische Modellierung möglich
- Erhöhte Genauigkeit gegenüber der konventionellen Berechnung
- Durch die Berechnung der Meldedatenkennzahlen lassen sich zukünftige Szenarien sicherer festlegen

Szenarien mit hohem Verbrauch (Sz 1a/b; Sz 2024 -1/2 und Sz Brandfall) hatten eines gemein: die höchsten Gebiete der Marktgemeinde Hallstatt können nicht versorgt werden. Nach Absprache mit dem Wassermeister der Gemeinde, bestätigte dieser die Modellierungsergebnisse. Diese Haushalte verwenden eine Drucksteigerungsanlage.

Im letzten Kapitel dieser Arbeit wird mittels der Software TEVA-SPOT, von EPA, ein **Sensornetzwerk** für Szenario 1a ausgelegt. Als Hauptziel wurde die Minimierung der Bevölkerungszahl, die mit kontaminiertem Wasser versorgt wird. Insgesamt wurden 54 Simulationen (kombiniert aus 6 Sensoren-Set-Größen, 3 Response-Zeiten und 3 Erkennungsgrenzen) vom Programm durchlaufen. Zuzufolge den festgelegten Randbedingungen haben sich 5 Sensoren als ausreichend herausgestellt. Die Verteilung innerhalb der Marktgemeinde hängt eng mit der Bevölkerungsdichte der Gemeinde zusammen.

## 6. Literaturverzeichnis

- ABBOTT, M. L., 2012. *Optimization of redundancy in branched water distribution systems*, Michigan Technological University: s.n.
- ABUNADA, M., TRIFUNOVIC, N., KENNEDY, M. & BABEL, M., 2013. Optimization and reliability assessment of water distribution networks incorporating demand balancing tanks. *ScienceDirect*.
- ARAL, M. M., GUAN, J. & MASLIA, M. L., 2013. A Multi-objective optimization algorithm for sensor placement in water distribution systems.
- ARMSTRONG, L., 2012. *Hydraulic Modeling and GIS*. California: ESRI Press.
- BAUER, T., abgerufen 2014. *BOKU learn - VU Geoinformatik*. [Online] Available at: <https://learn.boku.ac.at/mod/resource/view.php?id=40865> [Zugriff am 11 08 2014].
- BOULOS, P. F., LANSEY, K. E. & KARNEY, B. W., 2006. *Comprehensive Water Distribution System Analysis - Handbook for Engineers and Planners*. Pasadena: MWH Soft.
- CHANG, N.-B., PRAPINPONGSANONE, N. & ERNEST, A., 2012. Optimal sensor deployment in a large-scale complex drinking water network: Comparisons between a rule-based decision support system and optimization models. *Computers & Chemical Engineering*.
- CHANG, N.-B., PRAPINPONGSANONE, N. & ERNEST, A., 2013. A rule-based decision support system for sensor deployment in small drinking water networks. *Journal of Cleaner Production*.
- CLARK, S. et al., 2011. *Planning for an Emergency drinking water supply*, s.l.: EPA - United States Environmental Protection Agency.
- CREACO, E., FORTUNATO, A., FRANCHINI, M. & MAZZOLA, M., 2013. Comparison between entropy and resilience as indirect measures of reliability in the framework of water distribution network design. *ScienceDirect*.
- CREACO, E. & FRANCHINI, M., 2013. Low level hybrid procedure for the multi-objective design of water distribution networks. *ScienceDirect*.
- DE LANGE, N., 2013. *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- DEININGER, R. A. & MEIER, P. G., 2000. Sabotage of public water supply systems. *Security of public water supplies*.
- DIAO, K. & RAUCH, W., 2013. Controllability analysis as a pre-selection method for sensor placement in water distribution systems. *Water Research*.
- DVGW, 2004. *DVGW W 400-1 - Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 1: Planung*. Bonn: s.n.
- DVGW, 2008. *DVGW W 410 - Wasserbedarf - Kennwerte und Einflussgrößen*. Bonn: s.n.
- EUROPARAT, 1968. *Grundsätze der Europäischen Wasser-Charta des Europarates*, Straßburg: s.n.
- FLORES, E., 2000. Master Scheme for planning, designing and implementing a GIS for drinking water network in Quito-Ecuador (South America). *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- FÜRHACKER, M., 2013. *Qualitätsbeurteilung von Wasser und Abwasser*, Wien: Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Gewässerschutz.
- GEMEINDE HALLSTATT, 2012. *Gemeinde Journal Hallstatt*.
- GOODCHILD, M. F. & PALLADINO, S. D., 1995. Geographic information systems as a tool in science and technology education. *Speculation in Science and Technology*.

- HART, W. E. & MURRAY, R., 2010. Review of Sensor Placement Strategies for Contamination Warning Systems in Drinking Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*.
- HARZER, B., 2012. *GIS-Report 2012/13*, Karlsruhe: Bernhard Harzer Verlag.
- KAINZ, H. & KAUCH, E. P., abgerufen 2014. *Siedlungswasserbau Skriptum*. [Online] Available at: <http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i2150/download/Lehre/Siedlungswasserbau/wv2.pdf>
- KALUNGI, P. & TANYIMBOH, T. T., 2003. Redundancy model for water distribution systems. *Reliability Engineering & System Safety*.
- KLINGEL, P., abgerufen 2014. *Analyse und Planung von Wasserverteilungsnetzen*. [Online] Available at: <https://www.yumpu.com/de/document/view/4444750/01-einfuehrung-in-die-wasserverteilung/7>
- KRAUß, W. & KRAFT, T., 1999 - 2014. *Hallstatt.net*. [Online] Available at: <http://www.hallstatt.net/ueber-hallstatt/weltkulturerbe/weltkulturerbe/> [Zugriff am 21 Juli 2014].
- MURRAY, 2009. *GIS & Hydraulic Model Integration*. s.l., American Waterworks Association Pacific northwest section.
- MURRAY, R. et al., 2010. *Sensor network design for drinking water contamination warning system*, Cincinnati: EPA - United states Environmental Protection Agency.
- MUTSCHMANN, J. & STIMMELMAYR, F., 2011. *Taschenbuch der Wasserversorgung*, Wiesbaden: Vieweg Teubner Verlag.
- NEUNTEUFEL, R., RICHARD, L. & PERFLER, R., 2010. *Studie Wasserverbrauch und Wasserbedarf - Teil 1: Literaturstudie zum Wasserverbrauch - Einflussfaktoren, Entwicklung und Prognosen*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.
- ÖNORM B 2538, 2002. *Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- OSTFELD, A. et al., 2008. The battle of the water sensor networks (BWSN): A design challenge for engineers and algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*.
- ÖWAV RB 40 / ÖVGW RL W 104, 2010. *Leitungsinformationssystem - Wasser und Abwasser*, Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- PERELMAN, B. L. & OSTFELD, A., 2013. Operation of remote mobile sensors for security of drinking water distribution systems. *Water Research*.
- PÉREZ, R. et al., 2009. Pressure sensor distribution for leak detection in Barcelona water distribution network. *Water Science & Technology: Water Supply*.
- PERFLER, R., 2008. *VU Siedlungswasserbau und Gewässerschutz Übungen*. Wien: Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz.
- persönliche Mitteilung HOHENAUER, R., 2013. *LIS - Sanierungsplanung*, Wien: Büro Dr. Lengyel ZT GmbH.
- PRASAD, T., SUNG-HOON, H. & NAMSIK, P., 2003. Reliability based design of water distribution networks using multiobjective genetic algorithms. *KSCE Journal of Civil Engineering*.
- ROBINSON, L., EDWARDS, J. A. & WILLNOW, L. D., 2012. *Computer Modeling of Water Distribution System*. Denver: American Water Works Association.

- ROCHAS, C., KUZNECOVA, T. & ROMAGNOLI, F., 2014. *The concept of the system resilience within the infrastructure dimension: application to a Latvian cas.* s.l.:Journal of cleaner production.
- ROSSMAN, L. A., 2000. *EPANET 2 - Users Manual.* Cincinnati: EPA - United States Environmental Protection Agency.
- SCHNEIDER, K. J., 2010. *Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen.* Köln: Werner Verlag.
- SCHÖNEGGER, C., 2012. *ÖEK und FWP 4 2011 - Marktgemeinde Hallstatt.* Salzburg: Technisches Büro für Raumplanung und angewandte Geographie.
- TANG, Y. et al., 2013. Resilience to evolving drinking water contamination risks: a human error prevention perspective. *Journal of Cleaner Production.*
- TANYIMBOH, T. & TEMPLEMAN, A., 2000. A quantified assessment of the relationship between the reliability and entropy of water distribution systems. *Engineering Optimization.*
- TANYIMBOH, T. T., TIETAVAINEN, M. T. & SALEH, S., 2011. Reliability assessment of water distribution systems with statistical entropy and other surrogate measures. *Water Science & Water Technology: Water Supply.*
- TODINI, E., 2000. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water Journal.*
- Trinkwasserverordnung TWV, abgerufen 2014. *Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.* [Online]  
Available at:  
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001483>
- U.S. EPA NHSRC, 2012. *Threat Ensemble Vulnerability Assessment - Sensor Placement Optimization Tool (TEVA-SPOT) Graphical User Interface User's Manual.* Cincinnati, OH 45268: s.n.
- UNICEF, abgerufen 2014. <http://www.unicef.org/wash/>. [Online].
- WALSKI, T. M. et al., 2003. *Advanced water distribution modeling and management.* Waterbury: Haestad Press.
- WRUSS, W. & ATANASOFF-KARDJALIEFF, K., 2014. *Jahresbericht 2013 - Grundwassersanierung Korneuburg,* s.l.: Umwelttechnologie Wruss.
- YAZDANI, A., OTOO, R. A. & JEFFREY, P., 2011. Resilience enhancing expansion strategies for water distribution systems: A network theory approach. *Environmental Modelling & Software.*

# 7. Anhang

## 7.1 ArcGIS

Im Zuge dieser Diplomarbeit wird das Geoinformationssystem ArcGIS des Unternehmens ESRI verwendet. Um dem Leser eine kurze Einführung zu geben, werden folgend wichtige Befehle sowie Grundlagen des Programmes erläutert. Das Softwarepaket ArcGIS umfasst mehrere wichtige Module (BAUER, abgerufen 2014):

1. ArcCatalog: Dient zur Organisation und Speicherung von Sachdaten.
2. ArcMap: Dient zur Darstellung geografischer Daten, zur Aktualisierung dieser und zur Erstellung von Abfragen.

### Ad 1: ArcCatalog Grundlagen

Nach BAUER findet in diesem Modul die Datenverwaltung statt, wobei folgende Punkte bearbeitet werden können:

- Neue Geodatensätze können angelegt werden
- Verwendete Projektionen sind definierbar
- Importieren und exportieren von Daten aus anderen Programmen (hydraulische Modelle)
- Metadaten erfassen („Daten über Daten“ Genauigkeit; Wer hat die Daten erfasst und wie?)
- Verknüpfungen mit anderen Datenbanken herstellen
- Nach Daten suchen

Zu Beginn eines neuen Projektes steht die Frage der zu modellierenden Daten. Handelt es sich beispielsweise um ein Trinkwasserversorgungsnetz, sind Rohrleitungen, Pumpstationen, Position von Speicher usw. von wichtiger Bedeutung. Daraufhin, also abhängig von der jeweiligen Fragestellung, wird eine Datenbank erstellt, welche später in ArcMap (dem Modul zur Daten-Darstellung) die Grundlage für die Modellierung darstellt.

Nach dem Festlegen der zu modellierenden Daten (kann während des Modellierens in ArcMap ergänzt werden) bietet ArcCatalog zwei unterschiedliche Möglichkeiten zur Organisation der Daten. Die Struktur kann entweder durch eine Datenbank oder durch Shapefiles erstellt werden.

Wird die Strukturierung anhand der Datenbank vorgenommen, werden sämtliche Geodaten in dieser gespeichert. Innerhalb dieser Datenbank können, als nächste Unterstufe, Feature Datasets angelegt werden. Dabei ist der wichtigste Punkt die Auswahl des Koordinatensystems. An unterster Ebene befinden sich die Feature Classes, welche im ArcMap zur Modellierung verwendet werden. Dabei kann zwischen Punktobjekten (z.B. Speicher, Hydranten), Linienobjekten (z.B. Leitungsnetz) und Polygonobjekten (z.B. Landnutzung) unterschieden werden (BAUER, abgerufen 2014).

Der Vollständigkeit halber sei hier noch die Strukturierung mittels Shapefiles erwähnt. Dabei stehen, wie auch schon bei Datenbanken, Elementtypen wie Punkt, Linie, Fläche usw. zur Verfügung. Shapefiles sind ein einfaches und bzgl. der Datenqualität nur wenig anspruchsvolles Datenformat. Für jedes Shapefile sollte ein eigener Ordner angelegt werden (KLINGEL, abgerufen 2014). In Abbildung 98 ist die Strukturierung bei Verwendung von Shapefiles und einer Datenbank dargestellt.

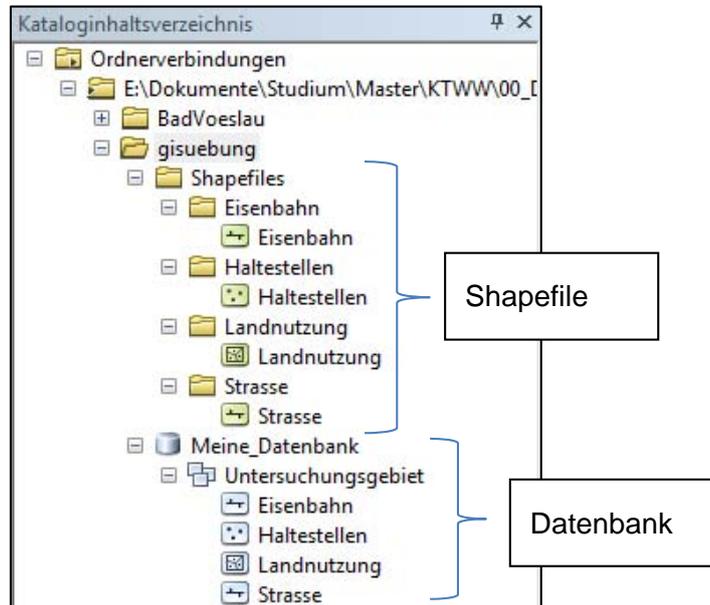


Abbildung 98: Darstellungsunterschiede Shapefile – Datenbank

### Ad 2: ArcMap Grundlagen

Im Modul ArcMap können Raum- und Sachdaten dargestellt, bearbeitet und analysiert werden (KLINGEL, abgerufen 2014). Bevor mit dem Digitalisieren begonnen werden kann, muss eine Daten-Grundlage in das Programm importiert werden. Dies kann beispielsweise ein Orthofoto vom Modellierungsgebiet sein. Einen wesentlichen Punkt beim Digitalisieren stellt die zuvor im ArcMap erstellte Datenbank dar, welche man ebenfalls in das aktuelle Projekt importieren kann. Abbildung 99 zeigt die Darstellung unterschiedlicher Layer in ArcMap.

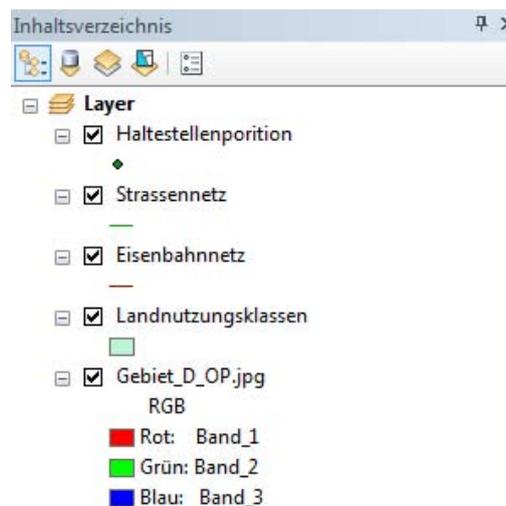


Abbildung 99: Layerdarstellung in ArcMap

ArcMap strukturiert alle importierten Daten in Form von Layern, welche Wahlweise ein- bzw. ausgeblendet werden können. Die Haupteinstellungen der Layer erfolgt über das Kontext-Menü. Es würde den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen, hier sämtliche Einstellungsmöglichkeiten zu beschreiben. Im Wesentlichen kann, in unterschiedlichen Registerkarten, Folgendes eingestellt werden (KLINGEL, abgerufen 2014):

- Sichtbarkeit und Name des Layers
- Quellangaben
- Symboldarstellungen in Abhängigkeit des Attributes
- Quantitative Abfragen (z.B. Anzahl der Rohre mit einem Durchmesser größer 100mm)
- Layerbeschriftungen

### Digitalisieren

Unter Digitalisieren wird das Verknüpfen der zuvor erstellten Datenbank mit einem Orthofoto, beispielsweise dem von ESRI zur Verfügung gestellten „Imagery“, verstanden. Somit kann etwa mit der zuvor erstellten Feature Class „Landnutzung“ ein Siedlungsgebiet definiert werden. Eigenschaften bestimmter Feature Classes lassen sich durch Attribute definieren.

Um mit dem Digitalisieren beginnen zu können, wird die Editor Toolbox geöffnet und die Auswahl „Start Editing“ gewählt. Nun können die Feature Classes gewählt und es kann mit dem Digitalisieren begonnen werden. Regelmäßiges Speichern ist hier unbedingt notwendig, da es keine „zurück“-Option gibt. Ist der Editiervorgang abgeschlossen, muss dieser durch die Auswahl „Stop Editing“ beendet werden.

### Abfragen und Selektieren (BAUER, abgerufen 2014)

Das Kernelement eines GIS-Systems ist die Abfragen- bzw. Selektionsfunktion. Durch diese Möglichkeit kann der Benutzer einen neuen Datensatz generieren bzw. einfach ausgewählte Daten exportieren. Dies ist vor allem in der hydraulischen Modellierung ein Vorteil, um beispielsweise für ein bestehendes Netz, welches in ArcGIS integriert ist, eine hydraulische Simulation durchzuführen.

Grundsätzlich stehen dem Benutzer 3 Möglichkeiten zur Verfügung, Daten zu selektieren (BAUER, abgerufen 2014).

1. Graphisch: Einfaches Anklicken der Elemente.
2. Logisch: Die Auswahl erfolgt dabei über die Attribute durch einfaches Erstellen einer Abfrage unter dem Menüpunkt „Auswahl/Nach Attribute auswählen...“. In Abbildung 100 ist das Auswahlfenster dargestellt. In diesem Beispiel werden alle Elemente des Shapefiles „Straßennetz“ ausgewählt, welche eine ID von 2 besitzen.  
Zur Ergänzung sei hier angemerkt, dass ID=2 für Hauptverkehrsstraßen steht. Die Vergabe von Zahlen wird dabei zu Beginn in ArcCatalog definiert! Dadurch lassen sich Elemente eindeutig identifizieren. Bezogen auf das Beispiel sind weitere IDs, 3 für Nebenverbindungsstraßen und 4 für sonstige Straßen.  
Dieser sogenannte Interpretationsschlüssel kann auch für andere Feature Classes/Shapefiles angewendet werden.
3. Räumlich: Dabei ist der Bezug zu anderen Layern maßgebend. Das entsprechende Fenster findet sich unter „Auswahl/Lagebezogen auswählen“. In Abbildung 100 rechts ist das Auswahlfenster zu sehen.

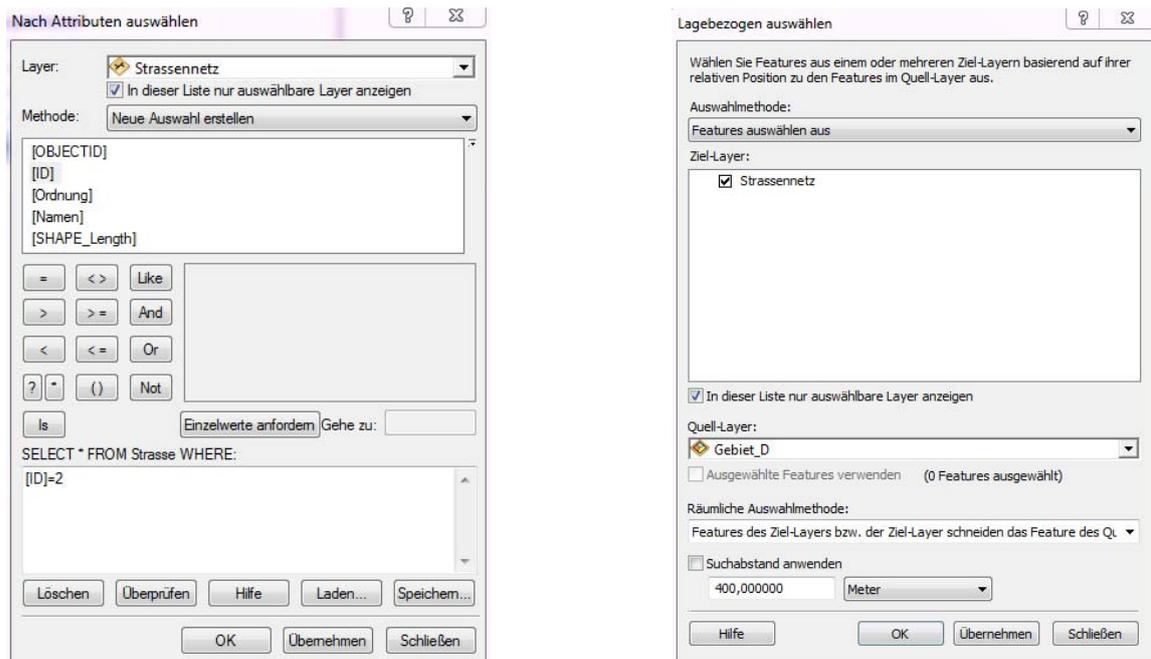


Abbildung 100: Links: Auswahl nach Attributen; Rechts: Lagebezogene Auswahl

Abschließend sei erwähnt, dass das Erstellen von Abfragen bzw. die Selektion bestimmter Elemente im System wichtige und notwendige Instrumente sind, um das gesamte Netz oder Teile des Netzes korrekt auszuwählen, um sie in einer weiterführenden Software zu bearbeiten.

### 7.2 EPANET

#### 7.2.1 Kurzbeschreibung:

Da dieses Programm die Grundlage für die hydraulische Modellierung in so gut wie allen GIS-integrierten Programmen ist, ist es sinnvoll, eine kurze Beschreibung der wichtigsten Komponenten dieser Software anzuführen. Nähere Informationen sind dem EPANET 2 User Manual (ROSSMAN, 2000) zu entnehmen.

Grundsätzlich ist EPANET ein Programm, mit dem man Hydraulik und Wasserqualität eines Trinkwasserversorgungsnetzes über einen längeren Zeitraum modellieren kann. Folgend ist ein kurzer Ablauf von der Eingabe des Modells bis zur Ausgabe der Analyseergebnisse dargestellt:

1. Importieren oder erstellen eines Trinkwasserversorgungsnetzes
2. Zuweisen und editieren aller Eigenschaften, welche das System spezifizieren
3. Beschreibung der Betriebsweise
4. Auswählen der Analyse-Optionen
5. Hydraulische oder Wasserqualitätsanalyse starten
6. Resultate ansehen und bei Bedarf ausgeben

Grundlage für die folgende Aufstellung ist das EPANET Manual, genaue Informationen finden sich in diesem. Hier sollen lediglich sämtliche Modellkomponenten beschrieben werden.

In folgender Darstellung sind alle Komponenten dargestellt. Im Anschluss an Abbildung 101 folgt eine kurze Beschreibung.

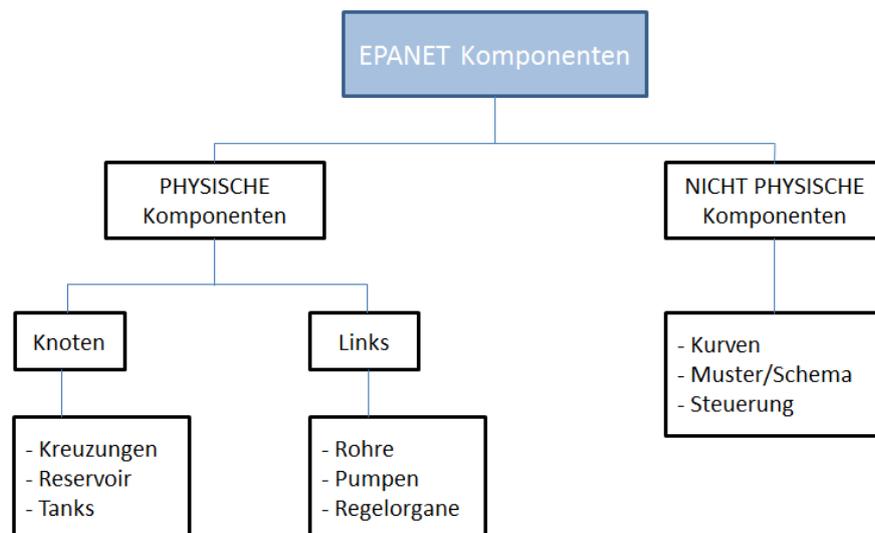


Abbildung 101: EPANET-Komponenten

### 7.2.2 Physische Komponenten

#### Knoten:

##### Kreuzungen:

Darunter werden Punkte verstanden, wo sich zwei Rohre treffen. An diesen Punkten kann ein Verbrauch festgelegt werden (positiver oder negativer, auch variabel möglich). Ein solcher Knotenpunkt wird durch die Seehöhe, den Wasserverbrauch und die Wasserqualität definiert.

##### Reservoir:

Knoten, welche Trinkwasser bereitstellen, wie Seen, Flüsse, Quellen usw. Es lässt sich, wie schon bei Kreuzungen auch, die Wasserqualität definieren. Bestimmt wird ein Reservoir durch Eingabe der hydraulischen Höhe (z.B. Höhe über Null).

Reservoirs sind Grenzpunkte eines Systems und somit nicht beeinflussbar durch Geschehnisse im Netz.

##### Tanks:

Dienen der Speicherung von Wasser. Definiert wird das Element Speicher durch:

- Höhe des Behälterbodens
- Grundflächenabmessungen
- Minimaler und maximaler Wasserstand
- Wasserqualität im Behälter

Wichtig zu wissen ist, dass EPANET den Ausfluss stoppt, sollte der minimale Wasserstand erreicht sein, oder den Füllvorgang stoppt, sollte der maximale Wasserstand erreicht sein.

#### Links:

##### Rohre:

Rohre transportieren Wasser von höherem Potential zu niedrigerem Potential. Es werden nur Vollfüllungen modelliert. Die Möglichkeit, eine Teilfüllung in die Analyse einfließen zu lassen, besteht nicht. Die Berechnung der hydraulischen Potentiale kann durch 3 Berechnungsformeln erfolgen:

1. Hazen Williams
2. Darcy Weißbach
3. Chezy Manning

Als Eingabewerte, um ein Rohr zu definieren, verlangt EPANAET Folgendes:

- Start und Endknoten
- Durchmesser
- Länge
- Rauigkeit
- Status (offen, geschlossen, beinhaltet Steuerungspunkt)

##### Pumpen:

Pumpen führen dem Wasser Energie zu. Somit wird das hydraulische Potential erhöht. Pumpen können entweder über Pumpen definiert werden oder als Geräte mit konstanter Energiezufuhr. Es besteht die Möglichkeit, variable Pumpendrehzahlen zu berücksichtigen. Dabei wird ein Faktor definiert, mit dem die „Standard“-Pumpenkennlinie multipliziert wird. Ein Faktor von 0,5 bedeutet, dass die Pumpe nur noch mit 50% der Standardleistung betrieben wird.

EPANET bietet auch die Möglichkeit, aktuelle Strompreise einzugeben, um diese nach der Simulation beurteilen zu können.

### 7.2.3 Nicht-physische Komponente

##### Regelorgane:

Regelorgane regeln Druck oder Durchfluss an einem bestimmten Knotenpunkt im Versorgungsnetz.

Definiert werden Regelorgane durch:

- Anfangs- und Endknoten
- Durchmesser
- Einstellung
- Status

EPANET stellt 6 verschiedene Regelorgane zur Auswahl:

- Druckreduzierungsventil
- Druckhalteventil
- Druck“bruch“ventil (kein physisches Ventil, Drucksprung kann simuliert werden)
- Durchflussventil
- Gasregelventil
- Durchflussregler (Benutzer stellt Durchfluss ein)

### Kurven:

Unter Kurven werden im Prinzip Datenpaare verstanden, welche den Zusammenhang zwischen zwei Größen beschreiben. In EPANET sind folgende Kurven enthalten:

- Pumpenkennlinie (Förderhöhe zu Förderstrom)
- Effizienzkurve (Effizienz in % zu Förderstrom)
- Volumenkurve (Wasserstand im Tank zu Volumen)
- Druckverlustkurve (Druckverlust zu Durchfluss)

### Muster/Schema:

Darunter werden hauptsächlich Zeitmuster verstanden. Diese werden verwendet, um Größen über einen bestimmten Zeitraum variieren zu können (Verbrauchszahlen, Wasserqualität etc.).

Zur Übersicht ist in Tabelle Tabelle 43 und Tabelle 44 der Zusammenhang zwischen der Faktorentabelle und der letztendlich entstehenden Verbrauchstabelle dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Tagesganglinie für einen Knotenpunkt mit durchschnittlichem Verbrauch von 10l/s, das Zeitintervall beträgt 4 Stunden.

Tabelle 43: Faktorentabelle zur Definition einer Tagesganglinie mit EPANet

Periode	1	2	3	4	5	6
Faktor	0,5	0,8	1,0	1,2	0,9	0,7

Tabelle 44: Beispielhafte Tagesganglinie EPANet

Stunden	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
Faktor	5	8	10	12	9	7	5

### Steuerung:

Mit Steuerungen kann eingestellt werden, wie das Versorgungsnetz über die Zeit betrieben wird. (Beispielsweise Tank-Wasserhöhen, bestimmte Knotendrucke über die Zeit usw.)

Unterschieden wird zwischen:

Einfacher Steuerung: Darunter wird die Änderung des Status oder der Einstellung basierend auf einem der folgenden Punkte verstanden:

- Wasserstand im Tank
- Druck eines Knotenpunktes
- Die Zeit in der Simulation
- Die Tageszeit

Regelbasierter Steuerung: Es lassen sich der Status oder die Einstellung nach einer Kombination von mehreren Ereignissen regeln.

Beispielsweise kann die Wasserhöhe im Tank, bei der eine Pumpe aktiv geschaltet wird, über die Tageszeit variieren.

## 8. Lebenslauf

### Christoph Kulir, BSc

Hans Rundstuckstraße 33  
2000 Stockerau  
Tel.: +43 650 9803121  
E-Mail: c.kulir@gmx.at



### Persönliche Angaben

Geburtsdatum:	01.10.1987
Geburtsort:	Stockerau
Staatsbürgerschaft:	Österreich
Führerscheingruppe:	B
Präsenzdienst:	von Juli 2008 bis Jänner 2009

### Schulbildung

2012 -	Universität für Bodenkultur Wien – Master Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
2009 - 2012	Universität für Bodenkultur Wien – Bakk. Kulturtechnik und Wasserwirtschaft – ausgezeichnete Erfolg
2002 - 2008	HTL für Bautechnik Leberstraße 4c – Wien Ausbildungsschwerpunkt Tiefbau
1998 - 2002	Europahauptschule Stockerau
1994 - 1998	Volksschule Stockerau

### Arbeitsweg:

Sept. 2013 -	M-U-T Maschinen und Transportanlagen Stockerau
-	<i>Projektmitarbeit im Bereich Umwelttechnik Abwasser</i>
-	<i>Zweite Phase des F &amp; E Projektes MESH – dynamische Filtration, Thema: Betrieb- und Betriebskostenoptimierung</i>
Feb. 2009 - Sept. 2009	Kremsueller Romania, Technischer Zeichner SRL, Ploesti
-	<i>Bestandsaufnahme des Standortes Ploesti</i>
-	<i>Planverwaltung</i>
-	<i>Mitarbeit bei Planung der Standortentwässerung</i>

### Praktika

Juli 2006	Novotny Bauer und Partner ZT GmbH, 1160 Wien
-	<i>Mitarbeit bei kleinen Projekten</i>
-	<i>Baustellenbesichtigungen</i>
Juli 2007	Müllner Christian Bau GmbH, 2000 Stockerau
-	<i>Mithilfe auf div. Kleinbaustellen in Niederösterreich</i>

## Lebenslauf

---

- September 2009                      Bodylounge Stockerau, FIT- & FREIZEIT-TREFF
- Verkauf
  - Geräteeinweisung Neukunden
- Sept. 2010                              Suschnigg Dr. Consulting GmbH, 8010 Graz
- *Praktikum auf einer Kläranlage (10.000 EWG; Gemeinde Dobl)*
    - a) *Aufbau einer Kläranlage*
    - b) *Betrieb einer Kläranlage (Vorreinigung; Nitrifikation/Denitrifikation; Nachklärung; Schlammverdickung; Schlammwässerung und Auslauf)*
    - c) *Probenahme und Analyse*
- Juli, August 2011                      Kremsmueller Romania SRL, Ploesti
- *Mitarbeit beim Entwurf der Feuerlöschanlage am Standort Ploesti*
  - *Erstellung von Isometrien für AWV-Kirchbach*
  - *Mitarbeit im Projektentwicklungsteam für die Errichtung einer Abwasserreinigungsanlage in Provadia & Gabrovo in Bulgarien (Baustellenbesichtigung, Kundengespräche)*
- August 2012                              Novotny Bauer und Partner ZT GmbH, 1160 Wien
- *Statische Nachweis von Antennenmasten mithilfe von RSTAB*

## Seminare

- März 2009                              Ausbildung zum geprüften Planungs- und Baustellenkoordinator, TÜV Austria 1100 Wien

## Besondere Kenntnisse

### EDV

- *Betriebssysteme: Windows, Mac OS*
- *Office (Word, Excel, PowerPoint)*
- *Ruckzuck*
- *AutoCAD (als Tutor an der Universität tätig)*
- *ArcGIS*
- *RFEM*
- *MatLAB, Mathcad*

## Persönliche Interessen

- Sport:                      Golf, Schifahren, Langlaufen

## 9. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

*Ort, Datum, Vorname Nachname, Unterschrift*