

Christian Schloffer, BSc

**GIS ALS ANALYSE- UND VISUALISIERUNGSWERKZEUG IN DER
VORBEREITUNG VON INTEGRATIVEN TIEFBAUSANIERUNGS-
MASSNAHMEN, DARGESTELLT AM BEISPIEL DER
LANDESHAUPTSTADT KLAGENFURT**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Geospatial Technologies

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Mag.phil. Dr.rer.nat., Josef Gspurning

Institut für Geographie und Raumforschung
Karl-Franzens-Universität Graz

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer, Dr. Josef GSPURNING, der mir immer beratend zur Seite stand, für die kompetente wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit bedanken. Außerdem möchte ich den MitarbeiterInnen des Magistrats Klagenfurt, der Abteilung Vermessung und Geoinformation, meinen Dank für die gute Zusammenarbeit aussprechen. Diese fungierten nicht nur als Ideengeber, sondern unterstützten mich fachlich und stellten mir Daten zur Verfügung.

Mein Dank gilt auch meinen Vorgesetzten und den MitarbeiterInnen der Firma GISquadrat, welche mich bei der technischen Umsetzung unterstützten sowie die Infrastruktur zu Verfügung stellten.

Des Weiteren möchte ich auch meinen Eltern großen Dank aussprechen, die mir mein Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Lebensgefährtin Laura, die mir nicht nur persönlich, sondern auch fachlich beigestanden hat sowie meinen Kindern Neele und Elmar, die viel Geduld mit mir aufbrachten und die notwendige Balance und Freude brachten.

Zusammenfassung

Die technische Infrastruktur, bestehend aus Ver- und Entsorgungs- sowie Straßennetzen, ist maßgebend verantwortlich für die wirtschaftliche Entwicklung, Gesundheit und Wohlstand der Kommunen und ihrer Bevölkerung. Der Netzausbau ist im zentraleuropäischen Raum weitgehend abgeschlossen, daher verschiebt sich die Betreiberaufgabe hin zur Zustandsverbesserung und Werterhaltung der Infrastruktur. Eine Herausforderung im Infrastrukturmanagement birgt der große Planungsaufwand und die Ressourcenknappheit. Hierbei bietet die integrative Betrachtung des Planungsprozesses einen Lösungsweg. Mit dieser Methode können die räumliche Nähe der Infrastrukturnetze im unterirdischen Straßenraum und die damit einhergehenden Synergieeffekte genutzt werden. In dieser Arbeit wird eine Methode zur Koordinierung des Planungsprozesses von integrativen Tiefbausanierungsmaßnahmen beschrieben. Im Vordergrund steht die technische Umsetzung einer GIS gestützten Planungsmethode für Wasser-, Kanal- und Straßennetze. Es werden Streckenabschnitte identifiziert, an denen mehrere Infrastrukturelemente zeitgleich erneuert werden können, um so den Sanierungsprozess effizienter und effektiver zu gestalten. Hierzu werden Modelle zur Zustandsbewertung und -verschlechterung der Infrastrukturnetze sowie die Integration dieser beschrieben. Die Integration erfolgt mittels einer räumlichen Überlagerung der Einzelnetze und ermöglicht die Berechnung der Gesamtbewertung jedes Streckenabschnittes. Dies bildet die Basis der Planung integrativer Sanierungsmaßnahmen. Die beschriebene Methode wird anhand eines Praxisbeispiels umgesetzt. GIS ist hierbei ein wichtiges Planungs- und Analysewerkzeug, das in allen Bearbeitungsschritten, vom Datenmanagement bis zur Visualisierung der Ergebnisse, eingesetzt werden kann. Die Bildung der Schnittmengen unterschiedlicher Themenbereiche und die Herstellung räumlicher Beziehungen zwischen Umwelt, Landnutzung und Infrastruktur, ermöglicht die integrative Problemlösung.

Abstract

Technical infrastructure, consisting of supply, sewer and road networks, is decisively responsible for the economic development, health and prosperity of municipalities and their population. Expansion of network infrastructure is largely completed in Central Europe; hence, responsibilities of infrastructure management shift towards improving and preserving the infrastructure. Challenges in infrastructure management are tremendous planning efforts and the scarcity of (financial) resources. These can be overcome by an integrative planning process. With this method, potential synergy effects resulting from the spatial proximity of the infrastructure networks in the underground road space can be used. In this thesis a method for the coordination of the planning process of integrative rehabilitation is described and implemented for a case study in Austria. The case study focusses on the technical implementation of a GIS-based planning method for water, sewer and road networks. To enhance efficiency and effectiveness of the rehabilitation process, street sections where multiple infrastructure elements can be renewed at the same time are identified. For this purpose, models for condition assessment and deterioration of the infrastructure networks as well as the integration of these are described. The integration takes place by means of a spatial overlap of the individual networks and enables the calculation of the overall evaluation of each section. This forms the basis for the planning of integrated rehabilitation. GIS is an important planning and analysis tool that can be used in all processing steps, from data management to the visualization of results. Interdisciplinary research and the inference of spatial relationships between the environment, land use and infrastructure enable integrative solutions to problems.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Forschungsfragen	5
1.4	Stand der Forschung und Technik	5
1.4.1	GIS Einsatz in der kommunalen Infrastrukturplanung	5
1.4.2	Integrative Betrachtung urbaner Infrastrukturnetze	6
1.4.3	Inspektions- und Bewertungsmethoden	9
2	Geoinformation im Kommunalwesen	11
2.1	GIS Einsatz im kommunalen Umfeld als Forschungsgegenstand	11
2.1.1	Die Entwicklung des Forschungsfeldes	11
2.1.2	Aktuelle Entwicklungen	12
2.2	Entwicklungen in der Geoinformation zum Abbau von Barrieren und zur interoperablen Nutzung von Geodaten	16
2.2.1	Barrieren in der kommunalen Nutzung von Geoinformation	16
2.2.2	Geodatendienste	17
2.2.3	Web GIS	18
2.2.4	Standardisierung und Interoperabilität	20
2.2.5	Die Europäische Richtlinie INSPIRE zum Aufbau einer Geodateninfrastruktur	21
2.3	Haupteinsatzgruppen von GIS	22
2.4	Leitungsdokumentation als Hauptanwendungsgebiet	24
2.4.1	Grundlagen des Netzbetriebes	24
2.4.2	Leitungsinformationssysteme (LIS)	26
2.4.3	Leitungskataster	40
3	Methodischer Vorgang im integrativen Planungsprozess	44
3.1	Datenmanagement	46
3.2	Zustandserhebung von Infrastrukturnetzen	48
3.2.1	Kanalnetz	49
3.2.2	Wasserversorgungsnetz	54
3.2.3	Verkehrsnetz	57
3.3	Zustandsbewertung von Infrastrukturnetzen	59
3.3.1	Kanalnetz	59

3.3.2	Wasserversorgungsnetz	64
3.3.3	Verkehrsnetz.....	67
3.4	Zustandsprognose der Infrastrukturnetze mit Hilfe von Alterungs- bzw. Verschlechterungsmodellen	70
3.4.1	Einflussfaktoren auf den Verschlechterungsprozess von Infrastrukturnetzen ...	72
3.4.2	Spezielle Auswahl von Alterungs- bzw. Verschlechterungsmodellen.....	75
3.4.3	Alternative Alterungsmodelle	81
3.5	Integration der Zustandsbewertungs- und Alterungsmodelle in den Prozess der Planung integrativer Sanierungsmaßnahmen	84
3.5.1	Methode der integrativen Modellierung	84
3.5.2	Ansatz von Trülzsch (2015).....	86
3.5.3	Ansatz REHAB (Tscheikner-Gratl et al. 2016b):	88
3.5.4	Ansatz von Tscheikner-Gratl et al. (2015b)	92
3.6	Entscheidungsfindung und deren Visualisierung.....	93
3.6.1	Multi Criteria Decision Making (MCDM)	94
3.6.2	GIS als Werkzeug in der Entscheidungsfindung von Infrastrukturmaßnahmen	97
3.7	Modell- und Parameterübersicht.....	107
4	Fallstudie: Anwendung der integrativen Planungsmethode am Praxisbeispiel der Landeshauptstadt Klagenfurt	113
4.1	Untersuchungsgebiet	114
4.2	Datengrundlage.....	117
4.2.1	Kanalnetz	117
4.2.2	Straßennetz	120
4.3	Prozessmodellierung	123
4.3.1	Datenintegration	123
4.3.2	Kanalzustandsbewertung	123
4.3.3	Zustandsprognose	124
4.3.4	Bildung der Straßensegmente	125
4.3.5	Gesamtbewertung.....	126
4.3.6	Mögliche Erweiterungen der praktischen Umsetzung.....	127
4.4	Interpretation und Visualisierung der Ergebnisse	128
5	Fazit und Ausblick	139
6	Literaturverzeichnis.....	144

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtkonzept „REHAB“	8
Abbildung 2: Funktion eines GIS Cartridge	18
Abbildung 3: Typisches Funktionsprinzip eines Web - GIS	19
Abbildung 4: Bedeutung einzelner GIS-Anwendungen für bayrische Gemeinden	24
Abbildung 5: Workflow Manager im GMSC zur Geometrie- und Attributerfassung	28
Abbildung 6: Darstellung eines webbasierten LIS am Beispiel Liezen.....	30
Abbildung 7: Darstellung der Geobasisdaten in einem LIS am Beispiel Liezen.....	32
Abbildung 8: Darstellung der Fachdaten einem LIS am Beispiel Liezen	36
Abbildung 9: Breitbandprojekt des Bezirks Weiz	38
Abbildung 10: Breitbandprojekt des Bezirks Weiz	38
Abbildung 11: Methodischer Ablauf des integrativen Planungsprozesses	45
Abbildung 12: Abhängigkeiten bei der Kanalinspektion	49
Abbildung 13: Kanalbegehung	53
Abbildung 14: Elektronischer Spiegel	53
Abbildung 15: Dreh- und Schwenkkopfkamera.....	53
Abbildung 16: Panoramasystem	53
Abbildung 17: 3D Kugelbildscanner.....	53
Abbildung 18: Dichtheitsprüfung.....	53
Abbildung 19: Schachtinspektion	53
Abbildung 20: CUS Roboter	53
Abbildung 21: Verlauf von Schadenshäufigkeiten bei Leitungsnetzen	55
Abbildung 22: Visuelle Zustandserhebung	58
Abbildung 23: Zustandserhebung mittels Planum	58
Abbildung 24: Zustandserhebung mittels Messlatte.....	58
Abbildung 25: Zustandserhebung mittels Planograph	58
Abbildung 26: Zustandserhebung mittels Georadar	58
Abbildung 27: Zustandserhebung mittels Schnellfahrender Messsysteme	58
Abbildung 28: ISYBAU 2006: Vorgehensweise bei der Zustandsklassifizierung.....	61
Abbildung 29: Gesamtbewertung des Straßenzustandes	70
Abbildung 30: Kohorten Überlebensmodell: Übergangsfunktion und Zustandsprognose.....	76
Abbildung 31: Markov Modell	77
Abbildung 32: Lebenszyklusanalyse: Verhaltensfunktionen von Zustandsmerkmalen	81
Abbildung 33: Vergleich alternativer Prognoseansätze	83
Abbildung 34: Mögliche Gewichtung der Eigenschaften unterschiedlicher Leitungsnetze im integrativen Modellierungsprozess.....	85
Abbildung 35: Universeller Ansatz der integrativen Modellierung.....	85

Abbildung 36: Mögliche Einteilung der Linienelemente und Verkehrsflächen im integrativen Modellierungsprozess	87
Abbildung 37: Zuordnung der Linienelemente zu Verkehrsflächen im integrativen Modellierungsprozess.....	87
Abbildung 38: MSDA am Beispiel der Wassernetzerweiterung in Coimbra Alternative 1....	100
Abbildung 39: MSDA am Beispiel der Wassernetzerweiterung in Coimbra Alternative 2....	100
Abbildung 40: MSDA am Beispiel der Wassernetzerweiterung in Coimbra Alternative 3....	100
Abbildung 41: MSDA am Beispiel der Wassernetzerweiterung in Coimbra Alternative 4....	100
Abbildung 42: M.App Enterprise: Darstellung eines Wasserleitungsnetzes mit Berichten zu Leitungsart, technischer Nutzungsdauer und Baujahr	104
Abbildung 43: M.App Enterprise: Darstellung eines Kanalnetzes mit Berichten zu Haltungsart, Netzalterquote, Baujahr und Buchwert	105
Abbildung 44: M.App Enterprise: Darstellung eines integrativen Infrastrukturnetzes mit Prognoseangaben und Einzelzustände	106
Abbildung 45: Grundstücke der LH Klagenfurt nach Benutzungsarten.....	114
Abbildung 46: Stadtgebiet und -gliederung der LH Klagenfurt	114
Abbildung 47: Kanalnetz der LH Klagenfurt.....	115
Abbildung 48: Straßennetz der LH Klagenfurt	116
Abbildung 49: Datengrundlage: Kanalnetz nach Haltungsart und Funktion inkl. Knotenpunkte und Fließrichtungspfeile	118
Abbildung 50: Anteile der Kanalart bzw. -funktion am Gesamtnetz.....	119
Abbildung 51: Anteile der Haltungsmaterialien am Gesamtnetz.....	119
Abbildung 52: Bau- bzw. Sanierungsjahre des Kanalnetzes	119
Abbildung 53: Datengrundlage: Darstellung des Straßennetzes in Abhängigkeit der Straßenbreite und Zustandsbewertung	121
Abbildung 54: Anteile der Zustandsbewertungen am Gesamtnetz	121
Abbildung 55: Straßenbreiten	121
Abbildung 56: Baujahre des Straßennetzes.....	122
Abbildung 57: Prozentanteil der Baujahre nach Zustandskategorien.....	122
Abbildung 58: FME Desktop	123
Abbildung 59: GIP – Achsen.....	126
Abbildung 60: Gepufferte GIP – Achsen mit topologischer Korrektur	126
Abbildung 61: GIP – Flächen mit Schnittlinien im 10 m Abstand	126
Abbildung 62: Resultierende Straßensegmente.....	126
Abbildung 63: Darstellung der Straßensegmente nach Gesamtbewertung	130
Abbildung 64: Darstellung der Straßensegmente nach den Gesamtbewertungen 4 und 5 .	131
Abbildung 65: Darstellung der Baujahre der einzelnen Infrastrukturnetze	132

Abbildung 66: Darstellung der Straßensegmente nach den Gesamtzuständen in 10 Jahren.....	133
Abbildung 67: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung und Selektion der SW Kanäle mit einem Baujahr vor 1985.....	134
Abbildung 68: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung in 10 Jahren und Selektion der SW Kanäle mit einem Baujahr vor 1985.....	135
Abbildung 69: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung und Selektion der Straßenzustände 4 und 5.....	137
Abbildung 70: Darstellung einer räumlichen Selektion der Straßensegmente mit der Gesamtbewertung 5	138

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Integration von BIM und GIS im Anwendungsfall	14
Tabelle 2: Verwendungsbereiche von GIS im E-Government	15
Tabelle 3: Zustandsklassifizierung der Bewertungsmodelle ISYBAU 2006 und DWA-M149...	60
Tabelle 4: ISYBAU 2006: Ermittlung der vorläufigen Schadenszahl	62
Tabelle 5: ISYBAU 2006: Ermittlung der endgültigen Einzelschadensklasse	62
Tabelle 6: ISYBAU 2006: Ermittlung der endgültigen Objektklasse zur Zustandsbewertung nach ISYBAU 2006.....	63
Tabelle 7: Materialtechnische Nutzungsdauer von Abwasserleitungen	64
Tabelle 8: Materialtechnische Nutzungsdauer von Wasserleitungen.....	66
Tabelle 9: Zustandsbeurteilung der Straßenoberfläche	69
Tabelle 10: Bau- bzw statistische Einflussfaktoren auf den Alterungsprozess von Kanal- und Wasserleitungssystemen nach Kley und Caradot (2013) und Friedl (2014)	74
Tabelle 11: Parameterübersicht: Datengrundlage der Zustands- und Bewertungsmodelle.	109
Tabelle 12: Modellübersicht Kanal: Zustandsbewertungsmodelle	110
Tabelle 13: Modellübersicht Kanal: Zustandsprognosemodelle	110
Tabelle 14: Modellübersicht Wasser: Zustandsbewertungsmodelle	111
Tabelle 15: Modellübersicht Wasser: Zustandsprognosemodelle	111
Tabelle 16: Modellübersicht Straßen: Zustandsbewertungsmodelle.....	112
Tabelle 17: Modellübersicht Straßen: Zustandsprognosemodelle.....	112
Tabelle 18: Modellübersicht Integrative Bewertungsmodelle	112
Tabelle 19: Relative Häufigkeiten des Kanalhaltungsalters.....	119

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die technische Infrastruktur im Tiefbau ist maßgebend verantwortlich für die wirtschaftliche Entwicklung, Gesundheit und den Wohlstand der Gemeinden, Städte und ihrer Bevölkerung. Laut der „World Health Organization“ (WHO) kommt es in Europa täglich zu 14 Toten durch Durchfallerkrankungen, welche sich auf verunreinigte Wasserversorgung bzw. unzureichende Abwasserentsorgung zurückführen lassen. Diese Todesfälle könnten durch verbesserte Bedingungen um 25-35% reduziert werden (WHO 2017). Diese Zahlen belegen, wie bereits Meerwarth (1994) feststellt, dass die Anforderungen an funktionstüchtige Wasser- und Abwasserentsorgung genauso aktuell sind wie zu Beginn der Industrialisierung. Städte und ihre Entwicklung hängen nach Kleidorfer et al. (2013) von zwei Faktoren ab, welche für das menschliche Wohlbefinden mitverantwortlich sind: Die Zurverfügungstellung von hochwertigem Trinkwasser und die Entsorgung von Schmutz- und Regenwasser.

Aufgrund der permanenten und kostengünstigen Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur in Österreich, sinkt das Bewusstsein für den essenziellen Nutzen dieser Einrichtungen in der Bevölkerung. Hinzu kommt, dass Schäden im Tiefbau erst nach geraumer Zeit zu Tage treten und so die Quantifizierung dieser schwer möglich ist. Es ist jedoch dringend notwendig die technische Infrastruktur in den öffentlichen und politischen Blickwinkel zu bringen, um die nötige Finanzierung für Neubau- und Sanierungsmaßnahmen sicherzustellen. Ist dies nicht gegeben, kann es zu einer Verzögerung von Sanierungsmaßnahmen kommen, was einen Anstieg des Schadensrisikos zur Folge hat. Durch einen Anstieg der Schäden ist die sichere Ver- und Entsorgung nicht mehr gegeben, was zu negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt führen kann. Im Jahr 2015 waren 8% aller Leitungssysteme älter als 50 Jahre und somit in einem kritischen Alter der technischen Nutzbarkeit. Hinzu kommt eine zu geringe durchschnittliche landesweite Sanierungsquote. Im Jahr 2012 wurde eine Sanierungsquote von 0,07% errechnet. In Absolutzahlen kommt dies einer Sanierung von 59 km der gesamten öffentlichen Kanalnetzlänge von 89700 km gleich. Die geringe Rate beutet, dass Kanalleitungen eine äußerst unrealistische technische Nutzungsdauer von 1500 Jahren aufweisen müssten, um von einer möglichst schadenfreien Nutzung auszugehen. Sollte die Sanierungsrate nicht auf rund 2% ansteigen, muss in Zukunft mit höheren Investitionskosten in Folge von Kompletterneuerungen gerechnet werden (Kleidorfer et al. 2013).

Die verantwortlichen Ämter in Gemeinden und Städten, aber auch private Ver- und Entsorgungsverbände stehen in der Verantwortung, die gegebenen und zukünftigen Herausforderungen zu bewältigen, um die Ver- und Entsorgung für die gesamte Bevölkerung sicherzustellen. Da der Leitungsausbau im zentraleuropäischen Raum größtenteils vollendet ist,

verschiebt sich die Betreiberaufgabe vom Netzausbau hin zur Zustandsverbesserung und nachhaltigen Werterhaltung der Systeme. Laut einer Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) ist bei rund einem Fünftel der deutschen Kanalhaltungen mit einem kurz- bzw. langfristigen Sanierungsbedarf zu rechnen (Berger et al. 2016). Eine Herausforderung für die Verantwortlichen stellt neben dem ohnehin großen Planungsaufwand, das limitierte Budget dar (vgl. Kainz 2008). Die Umweltförderung Kommunalkredit Public Consulting (KPC) (2012) beziffert die Kosten für Infrastruktursanierungsmaßnahmen in Österreich mit einem Investitionsvolumen von 3,83 Milliarden Euro bis zum Jahr 2021. Daher müssen neue Methoden zur Kosteneinsparung und Effizienzsteigerung gefunden werden. Eine Möglichkeit diese Herausforderungen zu bewältigen stellt die integrative Betrachtung des Planungsprozesses sowie die räumliche und zeitliche Koordinierung von Sanierungsmaßnahmen dar. Der Vorteil einer Koordination liegt aufgrund der räumlichen Nähe der Infrastrukturnetze im unterirdischen Straßenraum nahe. Laut Mair et al. (2012) befinden sich 81 % der Wasser- bzw. 86% der Abwassernetze in 78% des unterirdischen Straßenraums. Ziel der integrativen Maßnahmen ist es die wirtschaftlichen, betrieblichen und funktionellen Bedingungen, sowie die Versorgungssicherheit für die Bevölkerung zu verbessern und gleichzeitig die Kosten für die Sanierung zu senken. Laut Burger und Hochedlinger (2008) ist durch einen integrativen Planungsprozess mit einer Kosteneinsparung von bis zu 25% für alle Netzbetreiber zu rechnen. Zurückzuführen ist dies auf die gemeinsamen Grabungs- und Wiederherstellungsarbeiten. Laut Meerwarth (1994) betragen die Grabungsarbeiten 57% sowie die Wiederherstellungskosten 22% der Ausgaben bei Sanierungsmaßnahmen. Durch die integrative Maßnahmenplanung ergeben sich also direkte Kosteneinsparungen, da unterirdische Leitungen und die Verkehrsflächen gemeinsam erneuert werden.

In der Praxis führen jedoch die einzelnen Netzbetreiber die anfallenden Sanierungsmaßnahmen im Tiefbau selbstständig und basierend auf den finanziellen Gegebenheiten und dem technischen Bedarf durch. Dies ist auch auf die mangelnde Kommunikation der kommunalen und privaten Betreiber zurückführbar. Die räumliche Nähe der verlegten Leitungen wird zwischen den einzelnen Betreibern nicht genutzt und somit werden mögliche Synergieeffekte und Kosteneinsparungen durch einen koordinierten und gemeinsamen Eingriff verschenkt. Bleibt eine Gesamtanalyse des Erneuerungsbedarfs aus, steigt aufgrund der sektoralen Aufgabenverteilung in der Verwaltung der Gemeinden und Städten die Anzahl der Grabungsarbeiten und so hat jeder Baulastträger neben den Verlegungskosten auch die Kosten für die Wiederherstellung der Verkehrsflächen zu tragen. Weitere negative Begleiterscheinungen sind der Anstieg der Lärmbelästigung für Anwohnende, Behinderung

des Straßenverkehrs und Belastungen, aufgrund der Wechselwirkungen, auf die technische Infrastruktur selbst.

Die Problemstellung für Sanierungsmaßnahmen im Tiefbau hat einen starken räumlichen Bezug. Das Bayerische Staatsministerium der Finanzen (StMF) (2003) geht davon aus, dass 80% der kommunalen Entscheidungen einen räumlichen Bezug aufweisen. Der Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) bei kommunalen Fragestellungen ist aufgrund dessen naheliegend. Kommunale EntscheidungsträgerInnen sind in den meisten Planungsvorhaben, wie der Infrastrukturplanung, aber auch dem Umweltmanagement, zu Entscheidungen gezwungen. Die Herausforderung mit dem Umgang der gegenwärtigen Ressourcenknappheit in Zusammenhang mit den steigenden Ansprüchen der Bevölkerung, erfordert eine Betrachtung des Gesamtzusammenhanges der Auswirkungen politischer Entscheidungen. Hierbei bieten Funktionalitäten und Methoden von GIS die Möglichkeit mehrere Alternativen in einem integrativen und partizipativen Prozess zu erarbeiten und unterstützen somit systemische Denkweisen der Zukunftsplanung. Des Weiteren lassen sich Beziehungen von Umwelt, Landnutzung und Infrastruktur modellieren, analysieren und visualisieren. Im Fokus hierbei steht die Nutzung der Möglichkeiten eines GIS im kommunalen Umfeld zur Unterstützung der Entscheidungsfindung im Planungsbereich. Die Aufgabe geht somit über Routineanwendungen wie die Erfassung, Speicherung und Analyse von Geodaten hinaus. Um den integrativen und partizipativen Prozess der Maßnahmenplanung zu gewährleisten, ist es notwendig, dass die Geodaten, welche in der Regel zu einem großen Teil in digitaler Form vorliegen, möglichst barrierefrei einer breiten Anwenderzahl zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Beschreibung einer GIS-basierten Methode, welche die Koordinierung von Planungsprozessen im Tiefbau effektiver und effizienter gestaltet. Im Speziellen betrifft dies integrative Sanierungsmaßnahmen für Wasser-, Kanalleitungen und Straßen. Die beschriebene Methode wäre grundlegend für alle städtischen Infrastrukturnetze anwendbar, da es aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden Fernwärme-, Strom- und Gasnetze nur am Rande erwähnt. Für die Umsetzung werden Modelle zur Ermittlung der Zustandsbewertungen aller Infrastrukturen sowie eine Überlagerung dieser, zur Berechnung einer Gesamtbewertung benötigt. Als Herausforderung gilt es, bestimmte Streckenabschnitte ausfindig zu machen an denen mehrere Infrastrukturelemente zeitgleich erneuert werden können. Als räumliche Einheit werden Straßensegmente mit einer vordefinierten (aber variablen) Breite und Länge herangezogen. Diesen wird ein ermittelter Wert zugewiesen, welcher sich aus der Modellierung des Gesamtzustandes basierend auf den Einzelbewertungen der Infrastrukturen berechnet. Der beschriebene Vorgang basiert auf den modellierten bzw. ziviltechnisch erhobenen Zustandsbewertung sowie den Bestandsdaten

des Leitungs- und Straßennetzes. Es werden also die IST-Werte für die Planung von integrativen Umsetzungen herangezogen, was zur Folge hat, dass sich daraus nur Sofortmaßnahmen ableiten lassen. Um die zeitliche und räumliche Koordinierung zu vereinfachen, ist eine mittel- bzw. langfristige Planung vorteilhaft. Dies setzt die Ermittlung von Zustandsprognosen durch die Modellierung von Alterungsprozessen voraus, welche im Kapitel 3.4 genauer beschrieben werden.

Es soll gezeigt werden, wie und in welchen Bereichen der Themenstellung ein GIS optimal genutzt werden kann. Dies betrifft den Einsatz zur Datenerhebung und -verwaltung in einem Leitungsinformationssystem (LIS), die Analyse bzw. Modellierung der Daten und die anschließende Visualisierung sowie statistische Auswertung für den Endnutzer. In diesem Zusammenhang wird im Kapitel 2 der Einsatz von GIS im Kommunalwesen beschrieben. Hierzu wird zuerst auf die Entwicklungen der Forschung eingegangen, im Anschluss werden die Barrieren der kommunalen GIS Nutzung sowie die Anwendungsbereiche im Allgemeinen angeführt. Der Fokus dieses Kapitels liegt hierbei auf der GIS Nutzung im Planungswesen sowie zur Leitungsdokumentation. Es wird auf eine praktische, barrierefreie Nutzung der Endergebnisse als Entscheidungshilfe und auch als Kommunikationsportal für Betreiber, im Hinblick auf die Fallstudie, besonders eingegangen.

Im Vordergrund der Arbeit steht die technische Umsetzung der GIS gestützten Planungsmethode für integrative Sanierungsmaßnahmen. Dabei wird auf den Einsatz der Modelle, die Modellierung der Gesamtbewertung und die anschließende Visualisierung besonders Rücksicht genommen. Die präsentierten Ergebnisse sollen die Basis für die Umsetzung konkreter Sanierungsmaßnahmen bilden. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der modellierten Gesamtbewertung je Straßensegment ergibt sich jedoch direkt aus den ermittelten Zustandsbewertungen der jeweiligen Infrastruktureinrichtung. Die Genauigkeit der Zustandsbewertung wiederum hängt direkt von der Datengrundlage ab. Abhängig von den Parametern der gewählten Bewertungs- bzw. Alterungsmodelle sind unterschiedliche Informationen nötig. Um die Übersicht zu wahren, wird ein Pool sämtlicher benötigter Parameter aus dem Literaturstudium der Bewertungs- und Alterungsmodelle erstellt. In der Modellbeschreibung wird angegeben, welche Parameter für die einzelnen Modelle relevant sind.

Im Anschluss wird in einer Fallstudie der zuvor beschriebene Prozess zur Umsetzung integrativer Sanierungsmaßnahmen sowie deren Visualisierung und Analyse mit Hilfe einer GIS- gestützten „Business Intelligence“ (BI) Lösung am Beispiel der Landeshauptstadt Klagenfurt umgesetzt. Als Ausgangsdaten stehen das städtische Kanalnetz sowie ein topologisch aufbereitetes Straßennetz, mit inkludierter Straßenzustandsbewertung zur

Verfügung. Aufgrund der fehlenden flächendeckenden Zustandsbewertung des Kanalnetzes, muss eine Zustandsabschätzung basierend auf den Baujahren und den Leitungsmaterialien durchgeführt werden. Dieses Verfahren wird im weiteren Verlauf der Arbeit als Alternativbewertung bezeichnet. Eine zeitlich und räumlich exakte Aussage zur Umsetzung von konkreten Maßnahmen auf detaillierter Ebene ist hierbei nicht angedacht. Trotz der ungenaueren Methode der Alternativbewertungen soll das Gesamtmodell so konzipiert werden, dass es plausible Ergebnisse liefert und zukünftig durch eine verbesserte Datengrundlage ergänzt bzw. erweitert werden kann. Des Weiteren soll es möglich sein, die konzeptionell beschriebenen Modelle, bei Bedarf durch weitere Infrastrukturnetze wie Fernwärme, Strom, usw. zu erweitern.

1.3 Forschungsfragen

Basierend auf der zuvor beschriebenen Problemstellung und Zielsetzung leiten sich für die Arbeit folgende Forschungsfragen ab:

- Wie kann GIS als Planungswerkzeug zur Koordinierung von integrativen Sanierungsmaßnahmen im Tiefbau eingesetzt werden?
 - Wie können Zustandsbewertungs- und Alterungsmodelle der Verkehrsflächen und Leitungsnetze sinnvoll in den Umsetzungsprozess integriert werden? Und wie lassen sich daraus Gesamtbewertungen basierend auf Straßensegmente modellieren von denen konkrete Umsetzungsmaßnahmen abgeleitet werden können?
 - Welche Anforderungen müssen in diesem Zusammenhang erfüllt werden, um für den Endnutzer einen möglichst barrierefreien Zugang zu den Ergebnissen und vielseitigen Nutzen zu schaffen?

1.4 Stand der Forschung und Technik

1.4.1 GIS Einsatz in der kommunalen Infrastrukturplanung

Die Planung für Sanierungsmaßnahmen gilt in der Literatur als sehr komplexes Fachgebiet und wird den wissenschaftlichen Bereichen der Raumordnung und Landschaftsplanung zugeordnet (Trülzsch 2015). Aufgrund des räumlichen Bezuges vieler Fragestellungen der Maßnahmenplanung im kommunalen Umfeld, findet GIS zwangsläufig seinen Einsatz. Für viele ingenieurtechnische Fragestellungen im Bereich des Tiefbaus sind geotechnologische Basiskompetenzen ausreichend. Als Praxisbeispiel wäre hier die Arbeit von Trülzsch (2015) zu nennen. Hier steht die ingenieurtechnische Problemlösung im Vordergrund. GIS kommt lediglich für Basisanwendungen wie Überlagerungen einzelner Geodaten und Visualisierungen dieser zum Einsatz. Spezielle topologische Herausforderungen, nutzungsorientierte Umsetzungen sowie die Anforderungen der EndnutzerInnen werden nicht genauer erläutert. Haghwerdi-Poor (2007, S. 5) behandelt in seiner Arbeit „GIS als Kernelement und wichtigsten

Bestandteil der gesamten informationstechnischen Infrastruktur der Informationsgesellschaft, das erst in einer integrativen Gestalt mit anderen IS [Informationssystemen, Anm.] seine informationellen Potenziale zu entfalten beginnt“. Im Zuge dessen untersucht er die IST und SOLL spezifischen Gegebenheiten des GIS Einsatzes in kommunalen Anwendungen. Haghwerdi-Poor (2007) kommt zu dem Ergebnis, dass sich der Fokus des GIS Einsatzes großteils auf die Erledigung von Routineaufgaben, welche laut Wolfram (2010a) die Datenaufbereitung, Analyse, Visualisierung sowie BürgerInneninformation und interne Kommunikation sind, beschränkt. So bleibt die vollständige Nutzung des Potentials zur Unterstützung in der Planungspraxis, indem Handlungsmöglichkeiten im Voraus auf Effektivität und Effizienz geprüft werden, aus.

Auf die kommunale GIS Nutzung als Forschungsgegenstand wird im Kapitel 2.1 genauer eingegangen. Als Literaturbeispiele für die erwähnten über Routineaufgaben hinausgehende GIS Nutzungen können die Arbeiten von Chakraborty und McMillian (2018) und Coutinho-Rodrigues et al. (2011) herangezogen werden, welche auf den Einsatz der GIS gestützten Szenarioanalyse in der Planungspraxis und Entscheidungsfindung eingehen. Auch Halfawy et al. (2008) beschreiben eine Implementierung eines GIS gestützten Entscheidungshilfesystems zur Unterstützung der Erneuerungsplanung von Kanalnetzen. Die beschriebenen Verfahren sollen die bestmögliche Lage und Strategie der Erneuerung identifizieren.

1.4.2 Integrative Betrachtung urbaner Infrastrukturnetze

In den meisten Literaturbeispielen urbaner Infrastrukturnetze werden einzelne Infrastruktureinrichtungen separat behandelt, eine koordinierte und integrative Betrachtung bleibt somit aus. Als Stand der Technik gilt daher die selektive Objektplanung (Trülzsch 2015). Im Bereich der Koordinierung des Planungsprozesses und der Umsetzung integrativer Planungsmaßnahmen ist derzeit noch Forschungsbedarf dahingehend vorhanden, wie sich die einzelnen Betreiber Synergieeffekte einer gemeinsamen Umsetzung zu Nutze machen sowie deren Wechselwirkungen verstehen können (Trülzsch 2015). Einen integrativen Ansatz verfolgen Kleiner et al. (2010), Nafi und Kleiner (2010), Bach et al. (2014), Meerwarth (1994), Trülzsch (2015) sowie Tscheikner-Gratl et al. (2013) und Tscheikner-Gratl (2015). Bei all diesen genannten Methoden wird im Allgemeinen eine Überlagerung der einzelnen Infrastrukturnetze durchgeführt, um eine Gesamtanalyse zu ermöglichen. Diese Methode findet bereits im „Building Information Modelling“ (BIM) im Bereich des Hochbaus Anwendung (siehe Kapitel 2.1.2). Durch Verschneidung von Gebäuden mit deren Betriebsdaten kann ein Mehrwert für Planung, Instandhaltung, Dokumentation und Kommunikation geschaffen werden (Trülzsch 2015).

Bach et al. (2014) beleuchten die letzten 30 Jahre der integrativen Modellierung städtischer Infrastrukturnetze. Die Autoren kommen zum Entschluss, dass keine allgemein gültige Definition des Begriffes „Integration“ in der fachspezifischen Literatur vorliegt. Da sich der Begriff durch eine Mehrdeutigkeit auszeichnet, wurde eine Klassifikation des Integrationsgrades erarbeitet und der Begriff unter folgenden Punkten zusammengefasst:

- Modellierung einer Vielzahl von Einzelkomponenten unterschiedlicher Herkunft (biophysikalisch, ökonomisch, ingenieurtechnisch usw.).
- Berücksichtigung akuter, chronischer und verzögerter Auswirkung quantitativer und qualitativer Prozesse in einem kurz-, mittel- und langfristigen Zeitraum.
- Fähigkeit lokale und globale Prozesse zu erkennen, um EntscheidungsträgerInnen besser zu informieren.

Trülzsch (2015, S. 112) beschreibt den Begriff der integrativen Maßnahmenplanung als „die Überlagerung der Belange der betrachteten Institutionen, um Schwerpunkte und Prioritäten für eine mögliche gemeinschaftliche Durchführung geplanter Bautätigkeiten zu ermitteln und damit die technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Randbedingungen der Beteiligten zu verbessern“. Diese Definition hebt die Kooperation und somit auch die Kommunikation als Basis für die integrative Planung hervor.

Meerwarth (1994) führte bereits die Vorteile und Herausforderungen einer koordinierten Planung von Infrastrukturnetzen an. Diese Arbeit verdeutlicht, dass die Grundlage für die Planung von Erneuerungsmaßnahmen durch die Einführung von GIS und Datenbanksystemen zu verbessern wären.

Während bei Kleiner et al. (2010) sowie Nafi und Kleiner (2010) der Fokus auf der Wirtschaftlichkeit der integrativen Umsetzung liegt, zeigt Tscheikner-Gratl (2015) in seiner Dissertation und im Folgeprojekt „REHAB“ neue Perspektiven für das Rehabilitationsmanagement städtischer Infrastrukturnetze. Im folgenden Abschnitt wird dieses Projekt näher erläutert, da es sich grundlegend von anderen Zugängen unterscheidet und als Best-Practice-Beispiel angeführt werden kann.

Integrierte Rehabilitierungsplanung von städtischen Infrastruktursystemen (REHAB)

Im Projektzeitraum von 2011 – 2013 hat sich ein Konsortium aus UnternehmensberaterInnen, SoftwareentwicklerInnen und der Universität Innsbruck mit der Entwicklung eines neuartigen und strategischen Planungstools zur integrativer Rehabilitationsmaßnahmen städtischer Infrastrukturnetze beschäftigt. In REHAB werden alternde urbane Infrastrukturen in Kombination mit veränderten Rahmenbedingungen (Klima, Landnutzung, Demographie,

Standards und Gesetzgebungen) betrachtet, um eine vorrausschauende, integrative Planung von Ver- und Entsorgungsnetzen umzusetzen (Kleidorfer et al. 2013). Es wurden Methoden zur nachhaltigen und wirtschaftlichen Sanierungsplanung erarbeitet, wobei Netzzustände, Risikountersuchungen und Prognosen für den zukünftig erforderlichen Netzausbau miteinander in Verbindung gebracht wurden. Die Interaktionen und Synergien zur Planung von Baumaßnahmen standen im Fokus und wurden mittels Entscheidungsfindungsmethoden (siehe Kapitel 3.6.2) ausgewertet. Ziel war mittels hydrodynamischer Simulationen, Schwachstellenanalysen und Modellierungsverfahren die optimale Lebensdauer der Leitungsnetze zu berechnen, um bestmögliche Sanierungsstrategien anzuwenden. Die Unsicherheiten der Zukunftsplanung wurden durch die Umsetzung unterschiedlicher Szenarien minimiert (Kleidorfer et al. 2013). Ein besonderes Augenmerk lag auf dem Umgang mit eingeschränkter Datenqualität und -verfügbarkeit. Hierfür kamen spezielle Datenrekonstruktionsmethoden zum Einsatz. Eine bildliche Zusammenfassung des Gesamtkonzeptes des Projektes REHAB ist in Abbildung 1 ersichtlich (Tscheikner-Gratl 2015):

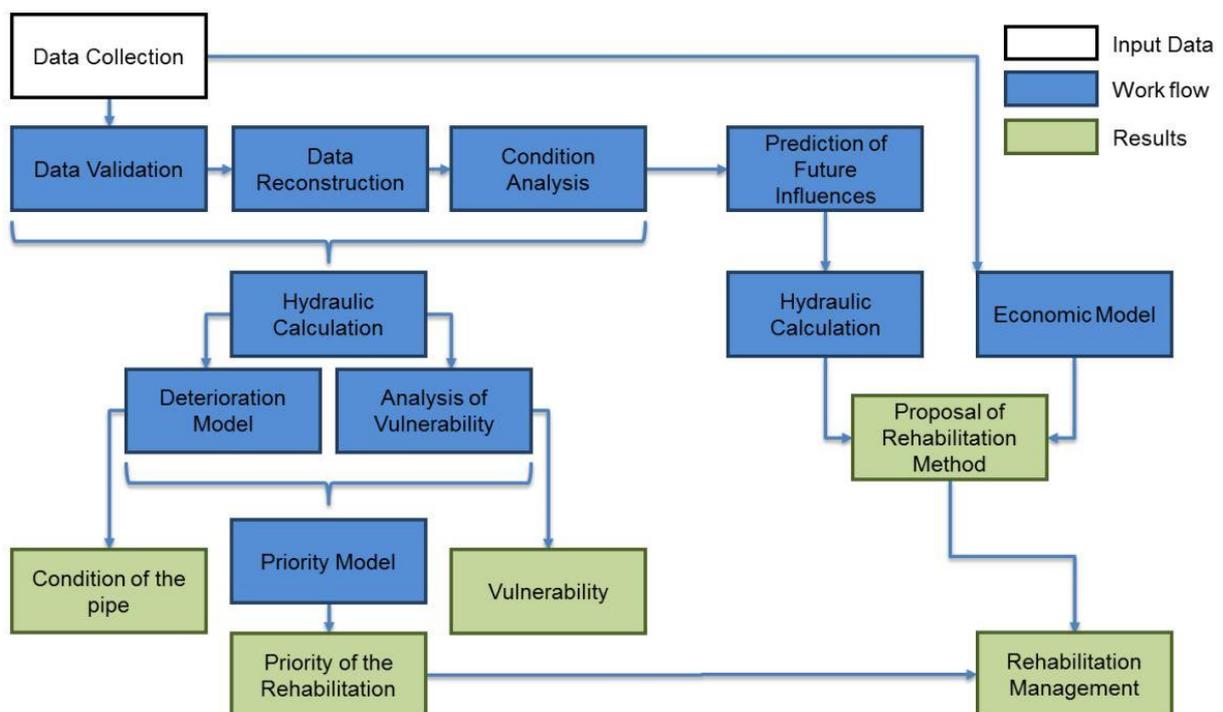


Abbildung 1: Gesamtkonzept „REHAB“ (Tscheikner-Gratl et al. 2013, S.5)

Zur Auswahl der Netzabschnitte, für die eine integrative Rehabilitation notwendig bzw. sinnvoll war, wurde ein Prioritätenmodell eingesetzt, welches sich aus den Einzelmodulen Kanal, Wasser, und Straße sowie der integrativen Betrachtung zusammensetzt. Die verwendeten Module werden in dieser Arbeit im Kapitel 3.5.3 genauer beschrieben. Das Prioritätenmodell wurde auf jedem Straßenabschnitt eingesetzt, um eine Reihung der Wichtigkeit für eine Sanierung zu erhalten.

REHAB wurde in einer alpinen Stadt mit 125 431 EinwohnerInnen und einer Fläche von 2076 ha getestet. Aus den Ergebnissen der Modellierung der Zustandsverschlechterung ging hervor, dass die größten Einflussfaktoren das Alter, der Durchmesser, die Länge und das Leitungsmaterial sind. Die treibende Kraft der Sanierungsplanung ist das Straßennetz, weswegen es auch die höchste Gewichtung erhielt, im Anschluss folgte das Kanal- und dann das Wassernetz (Tscheikner-Gratl et al. 2016b).

Eine große Herausforderung stellte die Evaluierung der Ergebnisse aufgrund des Mangels an langfristigen strategischen Sanierungsplänen, welche auf einer integrativen Sichtweise basieren, dar. Zusätzlich existiert keine eindeutige, als vollkommen korrekte anzusehende Entscheidung, als Referenz. Daher wurden die Ergebnisse evaluiert, indem die verschiedenen Entscheidungsgrundlagen, deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede mit allen Beteiligten zusammen diskutiert wurden.

1.4.3 Inspektions- und Bewertungsmethoden

Die Grundlage einer Sanierung bildet die auf Basis einer Zustandserhebung durchgeführte Zustandsbewertung. Die Methoden der Zustandserhebung haben sich unter Berücksichtigung des technischen Fortschrittes im Laufe der Zeit nicht wesentlich verändert. Hochtechnologisierte Verfahren zur messtechnischen Zustandsermittlung von Verkehrsflächen mittels Radar bzw. hochauflösenden Kameras finden in der Praxis, aufgrund des enormen finanziellen und zeitlichen Aufwandes, nur in Ausnahmefällen Anwendung. Hier steht noch immer die visuelle Zustandserhebung im Zuge einer Begehung bzw. Befahrung im Vordergrund. Im Falle der Kanalleitungen wird die Zustandserhebung ebenfalls durch eine optische Inspektion mittels ferngesteuerter Kamera durchgeführt. Im Zuge einer solchen Befahrung werden Videos und Bilder aufgezeichnet, wonach anschließend eine Zustandsbewertung einer fachkundigen Person durchgeführt werden kann. Eine Ausnahme stellt hierbei die Ermittlung der Zustände von Wasserleitungen dar. Aufgrund der kleineren Dimensionen und der hygienischen Bestimmungen ist eine optische Untersuchung des Innenraumes von Wasserleitungen kaum möglich. Liu und Kleiner (2012) geben in ihrer Arbeit eine Zusammenfassung des aktuellen Standes der Zustandserhebung und Bewertung von Wasserleitungen. Moderne Anwendungen wie „Smart Pipes, augmented reality“ und intelligente Roboter kommen jedoch aufgrund der hohen Kosten ebenfalls nur in Ausnahmefällen zum Einsatz. Eine bereits bewährte Alternative von Zustandsbewertungen ohne Inspektionen des Innenraumes bieten computergestützte Modelle. Als Beispiel wäre hier die Software „PiReM“ (siehe Kapitel 3.3.2) anzuführen, welche ein Entscheidungshilfesystem für die Erneuerungsplanung von Rohrnetzen auf Basis effizienter Weiterverarbeitung bestehender Geo-Informationsdaten darstellt (GUEP Software 2015). Die Genauigkeit solcher Systeme hängt jedoch direkt von der Vollständigkeit und Qualität der Bestandsdaten ab.

In der Praxis wird aufgrund des hohen zeitlichen und finanziellen Aufwandes häufig auf flächendeckende Zustandsermittlungen verzichtet. Dies hat zur Folge, dass fundierte Zustandsbewertungsmethoden, wie in Kapitel 3.3 genauer beschrieben, nicht anwendbar sind. Diese fehlenden Zustandsinformationen erschweren eine gemeinsame Betrachtung der Infrastrukturnetze, wodurch koordinierte Maßnahmen meist ausbleiben. Um dies zu vermeiden wird in dieser Arbeit eine Alternativbewertung nach der Methode von Trülsch (2015) beschrieben und in der Fallstudie eingesetzt. Bei der Alternativbewertung erfolgt eine Zustandsabschätzung auf Basis der Bestandsdaten Material, Baujahr und durchschnittlicher technischer Nutzungsdauer.

2 Geoinformation im Kommunalwesen

2.1 GIS Einsatz im kommunalen Umfeld als Forschungsgegenstand

Zum besseren Verständnis sollte zu Beginn der Begriff Kommune im Allgemeinen definiert werden. Der Begriff Kommune wird in dieser Arbeit als Überbegriff für Gemeinden, Märkte, Städte und Bezirke verwendet. Das Kommunalwesen umfasst alle Themengebiete welche Kommunen betreffen.

Aus verschiedenen Literaturquellen geht hervor, dass 80% der kommunalen Entscheidungen einen räumlichen Bezug haben, wodurch der Einsatz und die Bedeutung von GIS naheliegend sind (StMF 2003). Im folgenden Abschnitt wird auf das Forschungsgebiet GIS im kommunalen Einsatzbereich eingegangen. Nach einer einführenden Beschreibung der Entwicklung des Forschungsfeldes wird ein kurzer Überblick aktueller Forschungstendenzen und dem Stand der Forschung in der Literatur gegeben. Als spezielles Beispiel wird auf das „Building Information Modelling“ (BIM) eingegangen.

2.1.1 Die Entwicklung des Forschungsfeldes

Bereits in den 1970ern kam GIS zur Beantwortung räumlicher Fragestellungen im kommunalen Umfeld zum Einsatz, weshalb Kommunen auch als Pioniere der GIS Nutzung bezeichnet werden (Donaubauer 2004). Die kommunale GIS Nutzung als Forschungsgegenstand geht auf die 1990er Jahre zurück. Aufgrund der praxisnahen Anwendungen standen jedoch von Beginn an empirische Interessen im Fokus der Forschung. Die Zusammenhänge und deren Wechselwirkungen zwischen der institutionellen Nutzung, Gesellschaft, Verwaltung und Politik wurden nur wenig untersucht (Marc Wolfram 2010). Bereits 1996 erkannte Masser, dass die starke Verbreitung sowie das Potential zur Veränderung der Verwendung von Informationen, gezielte Forschung der Einflüsse der GIS Nutzung auf Gesellschaft und Politik erfordert. In seiner Arbeit analysiert Masser (1996) die Verbreitung von GIS im kommunalen Umfeld in 9 europäischen Ländern und die Einflüsse auf Gesellschaft und Politik. Laut Masser (1996) sollte die Einführung technischer Innovationen sowie deren Verbreitung immer kritisch hinterleuchtet werden und deren Vorteile den Risiken gegenübergestellt werden. Dies wird auch von Wolfram (2010a) hervorgehoben, denn einerseits ermöglicht der Zugang zu Geodaten sowie deren Verarbeitung in Geoinformationssystemen die Verbesserung und Modernisierung von Arbeitsabläufen und trägt zur Transparenz und Bürgerbeteiligung bei. Andererseits ist ein hohes Maß der Informationskontrolle gefordert, da Geodaten einen großen Einfluss auf den Prozess der Entscheidungsfindung in der Verwaltung und Politik haben und in Zuge dessen zur Meinungsmanipulation und zur Verfolgung bestimmter Interessen und Motivationen verwendet werden können (Wolfram 2010b).

2.1.2 Aktuelle Entwicklungen

Das Buch von Masser (1996) gilt zwar als richtungsweisendes Werk im Bereich der kommunalen GIS Nutzung sowie deren Auswirkung. Aufgrund der rasanten Entwicklungen im Bereich Software, Hardware sowie Kommunikations- und Informationstechnologien ist es aber nicht mehr zeitgemäß. Wolfram (2010b) beschreibt die empirischen Untersuchungen im Allgemeinen als überholt. Aufgrund dessen wurde in dieser Arbeit auf Literatur spezieller Themenfelder, wie der Nutzung von Geoinformationen im E-Government, der Regional- und Umweltplanung sowie der allgemeinen Marktentwicklung in der Geoinformation zurückgegriffen. Ergänzend stehen im deutschsprachigen Raum zahlreiche Praxisleitfäden zur Umsetzung und Anwendung von GIS im kommunalen Umfeld zur Verfügung, wie jener zur Wirtschaftlichkeit von GIS im kommunalen E-Government von Gotthardt (2006). Laut Donaubauer (2004) besteht Forschungsbedarf „im Bereich der anwendungsspezifischen und nutzerorientierten Zusammenführung und Kombination bestehender Geodatenbanken und Systeme“. Die Herausforderungen belaufen sich heutzutage weniger in der Erfassung, Speicherung und Analyse der Geodaten, sondern in der Verbreitung und im barrierefreien Zugang zu diesen. Die Komplexität der Analyse und Speicherung soll für den Nutzer bzw. die Nutzerin in der Kommunalverwaltung verborgen bleiben, um eine möglichst breite Anwenderzahl zu erschließen. Diese Forderungen können mit modernen Web – Services, welche in der Richtlinie „Infrastructure for Spatial Information in the European Community“ (INSPIRE) verankert sind, umgesetzt werden. Diese werden im Kapitel 2.2 näher beleuchtet.

Die Rolle der Informationstechnologie in politischen und planerischen Anwendungsbereichen startete mit der Verwendung von GIS in den Kommunen. Grundlegend verändert haben sich jedoch die beeinflussenden maßgebenden Faktoren. Diese belaufen sich nach Wolfram (2010b) auf die gesellschaftliche Durchdringung der Kommunikations- und Informationstechnologie sowie moderne Planungsansätze und Formen der politischen Steuerung. Haghwerdi-Poor (2007) beschreibt in seiner Arbeit die Rolle von GIS in der Planungs- und Systementwicklung. Hierbei wird neben einem Einblick in die Auswirkungen des GIS Einsatzes in der Praxis, auch ein Überblick über die gesamtorganisatorischen Hintergründe für die GIS Planung von der Entwicklung bis zum Einsatz gegeben. Die IST und SOLL- spezifischen Gegebenheiten des GIS Einsatzes wurden hierbei empirisch untersucht.

Building Information Modelling (BIM)

Als Beispiel zur aktuellen Entwicklung in der kommunalen Anwendung von GIS soll auf das „Building Information Modelling“ (BIM) eingegangen werden. Bei dem Prozess des BIM bestehen bestimmte Ähnlichkeiten zum Planungsablauf integrativer Sanierungsmethoden. Es bestehen ähnliche Herausforderungen in Bezug auf die Datenerfassung, den Umgang mit unvollständigen und fehlerhaften Datenquellen sowie der Interoperabilität unterschiedlicher

Systeme. Ebenfalls überschneiden sich einige Vorteile beider Anwendungen, da bei beiden die Nutzung der Synergieeffekte sowie die Förderung der Zusammenarbeit aller Stakeholder präzisiert wird. Auch Trülzsch (2015) beschreibt den positiven Effekt der Überlagerung von Einzelplanungen und bezieht sich hierbei auf Anwendung von BIM in Hochbau, wo es mit Hilfe der Verschneidung von Gebäuden mit Betriebsdaten, ohne großen Mehraufwand, zu einer effizienten Nutzung kommt. Volk et al. (2014, S. 111) beziehen sich bei der Definition auf internationale Standards und definieren BIM als "shared digital representation of physical and functional characteristics of any built object [...] which forms a reliable basis for decisions". Die Anwendungsbereiche von BIM betreffen Arbeitsfelder der Architektur, Ingenieur-, Bau- und Konstruktionswesen sowie dem Gebäudemanagement, wobei hier immer ein effizientes Ressourcenmanagement im Vordergrund steht. BIM repräsentiert reale Gebäude über ihre gesamte Lebensdauer als ein virtuelles und semantisches Gebäudemodell. Die Umsetzung wird in der Regel mit einer objektorientierten Software, in welcher die benötigten Parameter zur Beschreibung aller Gebäudekomponenten integriert sind, organisiert. Diese Komponenten setzen sich aus geometrischen und thematischen Attributen zusammen (Volk et al. 2014).

Anwendungen der 3D Modellierung, basierend auf „computer-aided design“ (CAD) in Kombination mit Analysen und objektbasierter Modellierung, gehen in den verschiedensten Industriebereichen bis auf die 1970er Jahre zurück. Im Bau- und Konstruktionswesen hingegen griff man lange auf die 2D Modellierung zurück. Erst in den 2000er Jahren wurde BIM in erste Pilotprojekte integriert. In den letzten Jahren jedoch stieg das Interesse, da man sich dem effizienten und ressourcenschonenden Einsatz in der Design-, Planungs- und Konstruktionsphase bewusst wurde. Auch der Fokus der Forschung verschob sich laut Volk et al. (2014) in Richtung Verbesserung der Szenarioplanung, des Designs, des Konfliktmanagements, der Visualisierung, der Quantifizierung sowie des Kosten- und Datenmanagements. Als Herausforderung gilt die Umsetzung von BIM bei bereits existierenden Gebäuden, was vor allem Industriestaaten betrifft, da hier der Neubau von großen Gebäuden bereits eine kleinere Rolle spielt als die Sanierung. Dies bildet eine weitere Parallele zu integrativen Sanierungsmaßnahmen, da in Industriestaaten die Verlegung von Wasser- und Kanalleitungen größtenteils abgeschlossen ist. Außerdem ist die Datengrundlage bei älteren Leitungsnetzen ebenfalls oft nicht eindeutig und unvollständig.

Die Vorteile eines erfolgreich eingesetzten BIM bei Neubauten, aber auch bei bereits bestehend Gebäuden, sind folgende: Koordinierung der Zusammenarbeit aller Stakeholder mit einem geeigneten Konfliktmanagement, übersichtliche Verwaltung der Bestandsdokumentation, integrierte Kostenrechnung sowie ein vereinheitlichtes und effizientes Design, Visualisierung, Qualitätskontrolle, Monitoring, Energiemanagement und Raummanagement. Im Falle von bereits bestehenden Gebäuden sind hier noch die Bewertung der

Gebäudesubstanz sowie die Instandhaltungs- und Umbauplanung zu nennen. Dem gegenüber stehen folgende Herausforderungen: Anpassung traditioneller Methoden der Prozessabwicklung (Design-bid-build) an ein in BIM integriertes Projektmanagement, die Datenerfassung und Umgang mit fehlerhaften und unvollständigen Gebäude- und Einrichtungsinformationen, die Aktualisierung und Verwaltung der Daten und die Interoperabilität zwischen BIM Modellen, Objekteigenschaften und Instandhaltungsprozessen verschiedener Generationen (Volk et al. 2014).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein BIM zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Verbreitung von Einrichtungs- und Gebäudedaten mit einem vertikalen Raumbezug verwendet wird. Ergänzend hierzu ermöglicht eine GIS Integration die Speicherung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von Daten bezüglich des Stadtraums mit horizontalem Raumbezug. Die Integration von GIS und BIM ist im Falle von Smart Cities essentiell, da hier Einrichtungs- und Gebäudedaten mit Informationen des Stadtraums in Kombination verwendet werden. Hierbei kommt es zu enormen Datenmengen unterschiedlicher Typen: Bestandsdaten und aktuell erfasste, statische sowie dynamische, geometrische und semantische sowie klein und großmaßstäbige Daten (Ma und Ren 2017).

Tabelle 1 gibt einen Überblick der Integration von BIM und GIS in allen Bauphasen:

Tabelle 1: Integration von BIM und GIS im Anwendungsfall (Ma und Ren 2017)

Planung und Design	Standortwahl, Energie-, Verkehrs-, Akustik-, Klimakonzepte und Performanceevaluierung.
Konstruktion	Management von Lieferketten, Terminmanagement, Vorbereitung und Entscheidungsfindung.
Instandhaltung	Denkmalschutz, Risiko-, Energie-, Raummanagement sowie der Indoornavigation.
Abriss	Durch Integration von Transportnetzwerken sowie Materialinformationen können die Abfallentsorgung und die benötigten LKWs zum Abtransport organisiert werden.

electroninc government (E-Government)

E-Government ist eine Bezeichnung für eine multimediale und effiziente Modernisierung in der Verwaltung. Auf EU-Ebene wird E-Government als „Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in öffentlichen Verwaltungen in Verbindung mit organisatorischen Änderungen und neuen Fähigkeiten definiert, um öffentliche Dienste und demokratische Prozesse zu verbessern sowie die Gestaltung und Durchführung staatlicher Politik zu erleichtern.“ (Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (BMDW) 2018). Das Koordinations- und Strategiegremium „Plattform Digitales Österreich“

des Bundeskanzleramts, welches die Gesamtkoordination von E-Government in Österreich innehat, koordiniert seit 2005 alle laufenden E-Government Projekte in Österreich (BMDW 2018). E-Government hat die Aufgabe die internen geschäftlichen Prozesse in der Politik und Verwaltung mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechniken möglichst effizient abzuwickeln (Gotthardt 2006).

GIS stellt eine zentrale Rolle im E-Government dar, da es als interne Servicefunktion für viele Fachbereiche sowie unterstützend in Entscheidungsprozessen fungiert. Außerdem fördert es eine bessere Informationsbereitstellung und Auskunftsmöglichkeiten für Bürgerinnen- und Bürgerpartizipation (Gotthardt 2006). Geodaten und Informationsgrundlagen bilden die Basis für die Handlungsfähigkeit der Verwaltung. Ein GIS im kommunalen Einsatz eignet sich nicht nur zur Verwaltung und Visualisierung dieser Informationen, sondern kann auch die drei großen Datengruppen - Einwohner, Finanzen und Erde - über den Raumbezug miteinander in Beziehung setzen (Werner 2016). Laut Werner (2016) wird jedoch die gemeinsame Nutzung von GIS im E-Government wenig thematisiert. Auch Rose und Scheu (2005) beschreiben einen beschränkten Einsatz der Kombination beider Technologien im kommunalen Bereich. Die Gründe hierfür lassen sich auf die nicht flächendeckende Verfügbarkeit von Geodaten sowie die technischen und finanziellen Herausforderungen zurückführen (Rose und Scheu 2005). Diese Herausforderungen kommen vor allem bei kleineren und finanziell eingeschränkteren Gemeinden zum Ausdruck. Ein weiteres Problem ist das fehlende Bewusstsein des enormen Geodatenbestandes und des Vorteils eines GIS Einsatzes in den Kommunen (Graeff und Schneeberger 2005).

Tabelle 2: Verwendungsbereiche von GIS im E-Government (Gotthardt 2006, S. 19)

Verwaltung	Visualisierung von demographischen, sozioökonomischen Infrastrukturen als Planungsgrundlage Erfüllen von Berichtspflichten Genehmigungsverfahren Stadt- und Regionalentwicklungsplanung Verkehrsplanung
Politik	Führungsinformationen Visualisierung strategischer Planungsgrundlagen
Wirtschaft	Planungsgrundlagen für Bauplanung, Marktentwicklung, Standortentscheidung, etc. Grundlage für flächenbezogene Förderanträge
Bürger	Informationsbereitstellung (Bauplanungsgrundlagen, Wohnortwahl) Informationsgrundlage für Partizipation (Arbeitskreise, Agenda 21, Dorferneuerungen, Bürgerinitiativen)

2.2 Entwicklungen in der Geoinformation zum Abbau von Barrieren und zur interoperablen Nutzung von Geodaten

2.2.1 Barrieren in der kommunalen Nutzung von Geoinformation

Die im folgenden Kapitel beschriebenen Techniken und Entwicklungen in der Informationstechnologie bilden den technischen Rahmen der praktischen Umsetzung in dieser Arbeit.

Da die Entwicklung der GIS Nutzung im kommunalen Umfeld in die 70er Jahre zurückreicht, kam es aufgrund spezialisierter Anforderungen sowie dem Fehlen bestimmter Standards und Normen, zu individuellen Insellösungen. Diese führten zu heterogenen Datenbeständen, welche den allgemeinen Zugang sowie die Nutzung der Geodaten erschwerten.

Donaubauer (2004) führt bei der kommunalen Nutzung von Geodaten folgende Barrieren an:

- Mangelnde Verfügbarkeit amtlicher Geobasisdaten
- Kosten für die Anschaffung und den Betrieb von Geoinformationssystemen
- Fehlendes Know-how
- Heterogenität der vorhandenen Geodatenbestände

Ein Mehrwert der GIS Nutzung kann jedoch nur erfolgen, wenn diese Barrieren weitgehend eliminiert werden. Eine Möglichkeit, auch für kleinere Gemeinden mit geringeren Budgets, muss geschaffen werden, um den Zugang zu GIS und homogenisierten Geodaten zu schaffen. Ein konkreter Nutzen für Gemeinden besteht nur dann, wenn amtliche Geobasisdaten mit Fachdaten aus verschiedenen Fachbereichen kombiniert werden können. Diesen Ansatz verfolgt die europäische Richtlinie INSPIRE.

Ein wesentlicher Bestandteil der INSPIRE Richtlinie ist der nationale Aufbau einer Geodateninfrastruktur sowie die Bereitstellung von Geodaten via Geodatendienste. Somit wird möglichst vielen Nutzern ein einfacher Zugang zu Geodaten ermöglicht. Da Geodaten zu einem großen Teil bereits in digitaler Form vorhanden sind, geht es um die Förderung der Verbreitung und Nutzung dieser. Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie, GIS Software, Ortungs- und Positionierungstechnologie sowie der Standardisierung beeinflussen die aktuellen Entwicklungen der GIS Nutzung im kommunalen Umfeld. Das allgegenwärtige Vorhandensein sowie die einfache und kostengünstige Nutzung machen das Internet zur Basistechnologie für Verwendung und Austausch von Geodaten. In diesem Zusammenhang steht auch die Entwicklung von der Nutzung eines Desktop-GIS, hin zu einer Verwendung eines Web-GIS. Dieses ist meist kostengünstiger und kann ohne besondere GIS Kenntnisse verwendet werden (Donaubauer 2004).

Im folgenden Abschnitt sollen die wichtigsten Entwicklungen welche einen breiten, kostengünstigeren und einfachen Zugang zu Geodaten und GIS Funktionalitäten ermöglichen beschrieben werden. Diese betreffen im Allgemeinen die Anwendung von Geodatendiensten, anwendungsfreundliche und kostengünstigste Systeme wie Web – GIS sowie die Standardisierung und Interoperabilität.

2.2.2 Geodatendienste

Ein interner Datenaustausch unterschiedlicher Behörden erfolgt bereits seit den 1990er Jahren. Damals war dieser Austausch durch aufwendige und mehrstufige Prozesse mittels Bestellformulare und anschließenden Konvertierungen geprägt. Nicht selten kam es hierbei zu Datenverlusten. Diese umständliche Vorgehensweise wurde mit der Einführung von Geodatendiensten erleichtert. Der Zugriff über standardisierte Schnittstellen im World Wide Web (WWW) erlaubt es zusätzlich, dass die gesamten Datenbestände zentral gespeichert und gewartet werden können. Dadurch wird eine Mehrfachnutzung ermöglicht sowie ineffiziente Duplikate vermieden. Ein weiterer Vorteil ergibt sich laut Donaubaer (2004) nachdem der Betrieb eines kostspieligen GIS sowie Fachwissen zur Nutzung nicht zwingend nötig sind.

Open Geospatial Consortium (OGC)¹ konforme Geodatendienste ermöglichen einen automatisierten Geodatenaustausch über einheitliche und normierte Schnittstellen im Internet. Die Softwareanwendung unterstützt eine interoperable Vorgehensweise zwischen Rechnern im WWW und verbessert dadurch die Verteilung von Geodaten. Das Funktionsprinzip startet mit einer Anfrage des Clients an einen Webserver. Dieser leitet die Anfrage an einen Mapserver weiter, auf welchen sich die Geodaten befinden. Am Mapserver werden die Geodaten in standardisierte Formate aufbereitet und an den Client retourniert. Gängige Geodatendienste, welche einen einfachen und standardisierten Zugriff auf beliebige Geodaten im WWW ermöglichen, sind WebMapService (WMS) und WebFeatureService (WFS) (Lange 2013). Bei einem WMS wird nach der Clientanfrage eine georeferenzierte Karte in einem standardisierten Datenformat (z.B. JPEG) im Browser oder einem Desktop GIS dargestellt. Auch wenn eine Anfrage an vektorbasierte Geodaten gestellt wird, wird nur eine starre Karte ausgegeben. Zusätzlich zu den Geodaten befindet sich eine Layout- bzw. Informationsdatei am Mapserver, welche die Steuerung des WMS in Bezug auf Projektion, kartografische Darstellung und Darstellungsmaßstab steuert. Für eine vielseitigere Nutzung der Karte im Browser sind Softwarekomponenten wie JavaScript Bibliotheken oder Openlayers Funktionen notwendig. Diese ermöglichen Basisanwendungen wie zoomen oder verschieben der Karte aber auch vielzählige weiterführende Methoden. Eine weitere Möglichkeit georeferenzierte

¹ Das OGC ist eine gemeinnützige Organisation, die durch die Schaffung von allgemeingültigen Standards, zu einer besseren Interoperabilität von Geodaten beiträgt (OGC 2018).

Geodaten über Webservices zu beziehen ist der WFS. Hierbei werden neben Metadaten auch Vektordaten als GML Datei geliefert. Diese kann ebenfalls im Browser mittels einer Zusatzapplikation wie GeoViewer oder in einem Desktop GIS visualisiert werden (Lange 2013).

Zur Nutzung von Geoverarbeitungsprozessen wie Pufferbildungen und Verschneidungen im Browser stehen standardisierte Web Processing Services (WPS) zur Verfügung. WPS erlaubt es mittels javabasierten Zusatzapplikationen vektor- und rasterbasierte Geodaten clientseitig im Browser systemübergreifend zu analysieren. Durch nutzerabhängige Funktionsanpassung wird eine benutzerfreundliche Analysemöglichkeit ohne speziellen GIS Kenntnissen bzw. Softwarelösungen ermöglicht (Lange 2013).

2.2.3 Web GIS

Aktuell werden Geodaten im kommunalen Umfeld meist über Desktop oder Web-GIS zur Verfügung gestellt. Desktop Systeme bieten die Möglichkeit Geodaten zu erzeugen und zu verwalten und komplexe Analysen durchzuführen. Die Nutzung eines Desktop-GIS stellen klassische Expertenarbeitsplätze dar, weshalb die Anzahl der NutzerInnen stark beschränkt ist. Web – GIS bieten zwar aufgrund der einfacheren Nutzung die Möglichkeit Geodaten einem

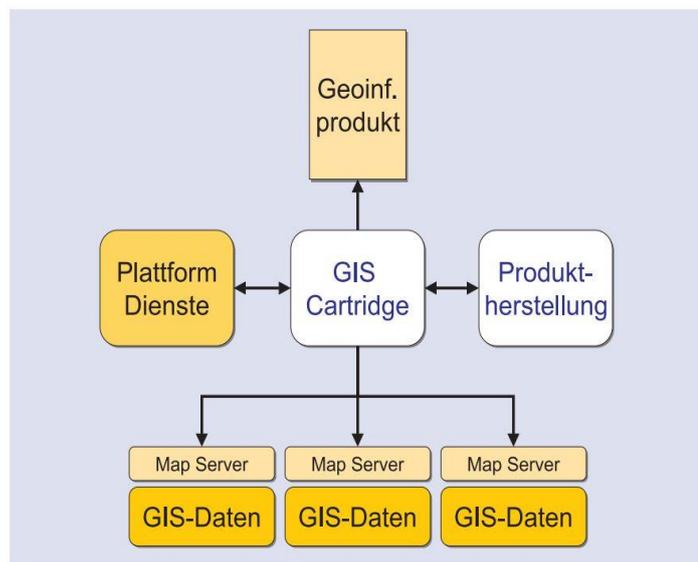


Abbildung 2: Funktion eines GIS Cartridge (Rose und Scheu 2005, S. 9)

breiten Anwenderfeld bereitzustellen, verfügen jedoch nicht über die funktionale Ausstattung eines Desktop GIS und sind meist spezifischen Themenstellungen angepasst. Eine Möglichkeit die Vorteile beider Systeme zu vereinen, effiziente und angepasste Lösungen zur Verfügung zu stellen, führt über die beschriebenen Geodatendienste im Kapitel 2.2.2. Beachtet werden muss hierbei jedoch, dass es sich meist nur um Rohdaten handelt. Die benötigten spezifischen Informationen stammen in der Regel aus unterschiedlichen Fachbereichen und Quellen. Um diese benötigten komplexen Geodaten den Fachanwendern zur Verfügung zu stellen und Insellösungen zu vermeiden, empfiehlt sich die Anwendung von GIS Cartridge (siehe Abbildung 2). Deren Aufgabe ist es Geoinformationsprodukte in der Serverumgebung anzufertigen und diese über genormte Kommunikationswege den jeweiligen Fachanwendern zur Verfügung zu stellen. Die Anfragen der Fachanwender werden über einen Mapserver verarbeitet. Die Geoinformationsprodukte werden im Anschluss innerhalb des Business Tier präsentiert, wodurch sie mehreren Anwendern zur Verfügung stehen. Die Geodaten müssen

somit nicht in einzelnen Insellösungen verarbeitet werden, sondern werden als Infrastrukturleistungen in komplexen Systemen zur Verfügung gestellt. (Rose und Scheu 2005).

Die Bezeichnung Web – GIS beschreibt Geoinformationssysteme welche alle 4 – Komponenten des EVAP Prinzips (Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation) erfüllen und den WWW Dienst nutzen. Die Architektur stellt eine Client – Server Struktur dar, wobei der Internetbrowser der Client ist, in dem bestimmte Funktionen aufgerufen werden, welche im Anschluss von einem Mapserver, der auf die Daten in der Geodatenbank zugreift, bearbeitet werden. Nach der Verarbeitung werden die Daten an den Client zurückgeschickt, dieser präsentiert die Ergebnisse (siehe Abbildung 3). Es kann hierbei zwischen einem „Thin-Client“ und „Thick-Client“ unterschieden werden. Bei einer „Thin-Client“ Architektur wird die komplette Geoprocessing serverseitig ausgeführt. Der Client dient nur zur Kommunikation mit dem Server und der anschließenden Visualisierung der Ergebnisse. Im Unterschied hierzu stehen beim „Thick-Client“ zusätzlich clientseitige Geoprocessingfunktionen mit Hilfe von bestimmten Plug-ins zur Verfügung (Lange 2013).

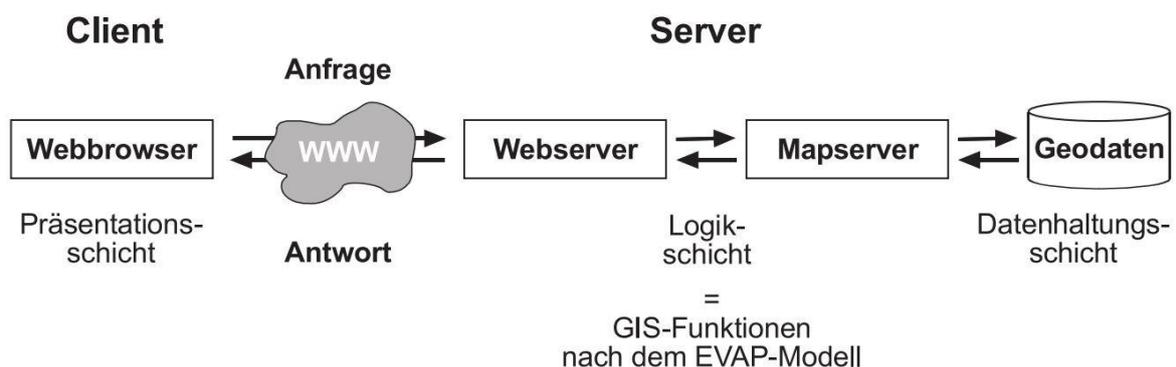


Abbildung 3: Typisches Funktionsprinzip eines Web - GIS (Lange 2013, S. 343)

Grundsätzlich lässt sich die Architektur im kommunalen Umfeld in folgenden Kategorien unterscheiden: Desktop – GIS, Thien/Thick Client Web – GIS und Mobiles GIS. Die wichtigsten Funktionen betreffen Erfassung, Aktualisierung, Qualitätsverbesserung, Modellierung, Verknüpfung, Speicherung, Mehrfachnutzung, Recherche, Analyse, Simulationen, Auskunft und Präsentation räumlicher Informationen. Welche spezielle GIS Anwendung zum Einsatz kommt, hängt von den individuellen Anforderungen, der Kommunengröße, der vorhandenen Hard- und Software und dem GIS know-how ab. Grundsätzlich gilt, dass für einen Großteil der MitarbeiterInnen die Auskunftsfunktionen sowie Präsentation der Ergebnisse ausreicht. Ziel soll es sein die vorhandenen Geodaten einfach und intuitiv für möglichst viele MitarbeiterInnen zugänglich zu machen (StMF 2003).

2.2.4 Standardisierung und Interoperabilität

Interoperabilität wird im österreichischen Bundesgesetzblatt (BGBl) I Nr. 14/2010 über eine umweltrelevante Geodateninfrastruktur des Bundes, Geodateninfrastrukturgesetz (GeoDIG) im §3 wie folgt definiert:

„im Falle von Geodatensätzen ihre mögliche Kombination und im Falle von Geodatendiensten ihre mögliche Interaktion ohne wiederholtes manuelles Eingreifen und in der Weise, dass das Ergebnis kohärent ist und der Zusatznutzen der Geodatensätze und -dienste erhöht wird.“

Eine Definition mit technischen Aspekten wird von Lange (2013, S. 232) gegeben:

„Interoperabilität umschreibt die Fähigkeit, auf verteilte Datenressourcen zuzugreifen und die Daten nutzen zu können, die in unterschiedlichen Softwaresystemen erzeugt werden, in verschiedenen, d.h. vor allem proprietären Datenformaten vorliegen und die unterschiedlich modelliert sein können. Interoperabilität ist Datenaustausch und Datennutzung über Systemgrenzen“.

Aus beiden Definitionen geht das Ziel der Mehrfachnutzung von Geodaten sowie der Abbau von Barrieren zum Geodatenzugang hervor. Die kostspielige Geodatenerfassung im kommunalen Umfeld ist zu einem Großteil abgeschlossen. Aufgrund der historischen Entwicklung kam es jedoch zu einem heterogenen Datenbestand. Dieser Zustand erschwert sowohl die Nutzung als auch den Zugang der Geodaten und verursacht ineffiziente Redundanzen in den Geodatenbeständen (Donaubauer 2004). Bereits Wilmersdorf (1994) beschreibt einen erhöhten Aufwand der Geodatennutzung aufgrund heterogener Geodatenbestände, die auf das Fehlen von Normen und Standards zurückzuführen sind.

Die Voraussetzungen für die Mehrfachnutzung, sowie der Gewährleistung eines vollständigen und verlustfreien Datenaustausches, sind neben der Führung standardisierter Metadatenkataloge, auch die Übernahme von Standards, sowohl für die Datenanbieter als auch für die Datennutzer. Dies betrifft neben der Geometrie auch die Topologie, Metadaten und gegebenenfalls die graphische Ausprägung der Daten (Lange 2013). Grundsätzlich muss zwischen de-facto Standards und de-jure Standards unterschieden werden. Als de-facto Standards, so genannte Industriestandards, werden anerkannte Formate und Regeln, wie DXF oder Shape Dateien bezeichnet, welche durch wirtschaftliches Interesse gekennzeichnet sind. Normierungsinstitute (ISO, OGC, usw.) sorgen dafür, dass ausgewählte de-facto Standards in eine herstellerunspezifische Norm überführt werden. In diesem Fall spricht man von einem de-jure Standard (Lange 2013). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Normen und Standards die Grundregeln einer gemeinsamen Sprache vorgeben und so einen effizienten

Datenaustausch ermöglichen. Sie legen die Kompatibilität zwischen Hardware- und Softwaresystemen fest.

Die Verwendung von Standards und Normen setzt bestimmte Anforderungen an ein GIS voraus. Dies betrifft neben der Verarbeitung von standardisierten Datenformaten auch die Integration bestimmter Schnittstellen und Datenmodelle sowie die Kommunikation mit anderen Softwaresystemen. Des Weiteren sollte das GIS den direkten Zugriff auf verteilte und heterogene Datenbestände ermöglichen wie es in 2.2.2 beschrieben wurde (StMF 2003).

2.2.5 Die Europäische Richtlinie INSPIRE zum Aufbau einer Geodateninfrastruktur

Im Allgemeinen beschreibt eine Geodateninfrastruktur (GDI) im kommunalen Umfeld die barrierefreie Nutzung unterschiedlicher Geodaten, die sich aus Basis- und Fachdaten zusammensetzen, über das Internet. Das Hauptziel ist es, Geodatenbestände verschiedener Herkunft, interoperabel, breit, zuverlässig und schnell zur Verfügung zu stellen (Lange 2013).

Zur Umsetzung einer GDI auf europäische Ebene, wurde vom europäischen Parlament und Rat 2001 die Richtlinie 2007/2/EG INSPIRE ins Leben gerufen. Diese hat das Hauptziel die Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der europäischen Gemeinschaft, um die Herausforderungen einer gemeinsamen Umweltpolitik besser bewerkstelligen zu können. Da man hierbei vor einer großen Herausforderung bezüglich der Verfügbarkeit, Qualität, Organisation, Zugänglichkeit und gemeinsamen Nutzen steht, ist eine Koordinierung zwischen Geodatenutzern und Anbietern notwendig. Die INSPIRE Richtlinie stützt sich auf die nationale GDI und hat zum Ziel diese auf verschiedenen Verwaltungsebenen kompatibel zu machen. Dazu müssen interoperable Geodaten und -dienste über alle Verwaltungsebenen verfügbar gemacht werden. Im Zuge dieser Umsetzung sollen die Mitgliedsstaaten alle Barrieren beseitigen, welche die Behörden auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene bei der Ausführung ihrer öffentlichen Aufgaben mit Bezug zur Umwelt haben (EU-Richtlinie 2007/2/EG). Für Politik und Verwaltung auf allen Ebenen, gehen bei der Umsetzung der Richtlinie vielseitige Pflichten aber auch Chancen einher. Diese betreffen vor allem den Verwaltungssektor, welcher aufgrund der Modernisierung mit einer Reorganisation umzugehen hat, da bestimmte Geschäfts- und Entscheidungsprozesse optimiert werden müssen. Eine Effizienzsteigerung ergibt sich dadurch, dass die Richtlinie das Nutzen von Synergieeffekten vorsieht. Erhobene Daten sollen mehrfach und über Grenzen hinweg nutzbar gemacht werden. Daraus ergeben sich verbesserte Zugänge zu Geodaten für die Verwaltung selbst aber auch für Bevölkerung, Wissenschaft und Wirtschaft (AG Geodaten 2012).

Das GeoDIG regelt auf nationaler Ebene die Bereitstellung von Geodaten und Geodiensten öffentlicher Geodatenstellen. Dies betrifft den Aufbau eines Metadatenkatalogs nach

Mindestanforderungen der INSPIRE Richtlinie aller zur Verfügung gestellten Geodaten und Geodienste sowie die Sicherstellung der interoperablen Nutzung. Des Weiteren wird im Gesetz die Bereitstellung von Geodatendiensten sowie Nutzungsbeschränkungen und etwaige anfallende Kosten der Nutzung auf Bundesebene geregelt (BGBl I Nr. 14/2010).

Die Einhaltung der Vorgaben von INSPIRE sichert die Vermeidung von teuren Insellösungen, die Nachhaltigkeit von Investitionen und ermöglicht tiefgreifende Erneuerungen und Verbesserungen in der öffentlichen Verwaltung. Im Zuge dessen sollen Geschäfts- und Entscheidungsprozesse optimiert werden sowie das Dienstleistungsangebot aber auch die Partizipation für BürgerInnen verbessert werden. Die Aufgaben der Kommunen belaufen sich neben der Gewährleistung der Interoperabilität von Geodaten auch auf die Bereitstellung der Daten über Webdienste und das Führen von Metadaten (AG Geodaten 2012). Für eine effiziente Umsetzung und der bestmöglichen Nutzung der Synergieeffekte empfiehlt das Kommunale Koordinierungsgremium Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) (2012) interkommunale Kooperationen. Aufgrund der hohen Anforderungen zur Umsetzung der Richtlinie und dem Verkennen des Potentials von Geodaten im kommunalen Umfeld, kommt die Umsetzung der INSPIRE Richtlinie nur langsam in Schwung.

2.3 Haupteinsatzgruppen von GIS

In einer Marktanalyse des Geoinformationsmarktes in Bayern zeigte Schilcher et. al (2000), dass die Haupthindernisse der Einführung eines GIS für kommunale Tätigkeiten die flächendeckende Verfügbarkeit von Geodaten sowie die Kosten für Soft- und Hardware-systeme sind. Diese Hindernisse gelten heutzutage als überwunden, da der Großteil der Geodaten erhoben wurde, nationale und europäische Richtlinien den Aufbau einer Geodateninfrastruktur erfordern sowie technische Entwicklungen die Soft- bzw. Hardwarekosten senken konnten. Ein wirtschaftlicher Betrieb eines GIS ist demnach aufgrund moderner Datenhaltung, -nutzung sowie unterschiedlichen GI Systemen möglich (Gotthardt 2006).

Im Allgemeinen ermöglicht der Einsatz eines GIS die Kombination von räumlichen Daten mit Fachdaten, wobei der Raum direkt über Koordinaten oder indirekt über Grundstücke oder Adressen definiert werden kann. Diese Kombination hat aufgrund der wichtigen Rolle des Raumbezuges bei Routineaufgaben und Entscheidungsprozessen einen enormen Vorteil für Gemeinden und wird im folgenden Abschnitt in 3 Haupteinsatzgruppen zusammengefasst (StMF 2003).

➤ Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung

Einerseits ergeben sich Kosteneinsparungen durch die Automatisierung bzw. Effizienzsteigerung alltäglicher Anwendungsgebiete, andererseits durch eine verbesserte Wirtschaft-

lichkeit aufgrund der Minimierung von Arbeitsauslagerungen an externe Dienstleistungen sowie Personaleinsparungen. Durch das Vorhandensein digitaler Geodaten sowie Planungsgrundlagen entfällt die aufwendige und kostspielige Führung und Aktualisierung analoger Pläne. Die Mehrfachnutzung sowie flexible Bearbeitungsmöglichkeiten optimieren bestimmte Routineaufgaben. Das freigestellte Personal steht dadurch für andere Aufgaben zur Verfügung.

➤ **Verbesserte Entscheidungsfindung**

Aktuelle und digitale Planungsgrundlagen ermöglichen statistische Auswertungen und Analysen. Durch die Unterstützung einer graphischen Darstellung können komplexe örtliche Sachverhalte sowie deren Wechselwirkungen besser erkannt werden. Diese Faktoren führen zu einer besseren Entscheidungsgrundlage und einer schnelleren Abwicklung von Genehmigungsverfahren. Auf die Herausforderungen der politischen Entscheidungsfindung und die Möglichkeiten der GIS gestützten Entscheidungsfindung wird im Kapitel 3.6 genauer eingegangen.

➤ **Stärkere BürgerInnennähe und kundInnenorientierte Verwaltung**

BürgerInnen profitieren in direkter Form von einem kommunalen GIS Einsatz durch schnellere und aktuellere geodatengestützte Auskunft. Ein indirekter Profit für BürgerInnen ergibt sich durch eine erhöhte Transparenz in der Verwaltung, welche sich in Form von kartengestützten Präsentationen bei BürgerInnenversammlungen zeigen kann, sowie einer Optimierung der Flächennutzung, wodurch sich Standortvorteile für die eigene Kommune ergeben. Außerdem führt der GIS Einsatz zu einer erhöhten Akzeptanz von BürgerInnen bei bestimmten Entscheidungen. Die Bedeutung der GIS Einsatzgebiete kann aus Abbildung 4 entnommen werden. Die Daten entstammen einer durchgeführten Telefonumfrage bayrischer Gemeinden. Die Abbildung zeigt, dass die Hauptnutzung in der Verwaltung die Auskunft des Eigentums und topographischen Gegebenheiten von Grundstücken ist. Grundsätzlich muss zwischen öffentlicher und interner Datenbereitstellung unterschieden werden. Interne Datenbereitstellung bezeichnet die zur Verfügungstellung von Geodaten für Behörden, Verwaltung, Vermessungsingenieuren, Ziviltechnikern und weiteren ausgewählten Nutzerkreisen zur integrativen Aufgabenwahrnehmung. Auch der Öffentlichkeit sollten einfache und barrierefreie Zugänge zu kommunalen Geodaten wie Kataster- und Flächenwidmungsplänen gewährleistet werden, da diese auch in der Regel durch öffentliches Steuergeld finanziert werden. "Erst wenn Behörden ihre qualitativ hochwertigen Geodaten der Allgemeinheit zur Verfügung stellen, kann man von einem erfolgreichen Geodatenmanagement sprechen" (GDI-DE 2012, S. 28). Als weiteren großen Anwendungsbereich ist der GIS Einsatz bei der Bauleitplanung zu erwähnen. Hierbei kommen Flächenwidmungspläne und Bebauungspläne in digitaler Form zu

tragen (StMF 2003). Ein weiterer entscheidender Anteil geht auf die Infrastrukturdokumentation zurück. Wobei hier der Fokus auf der Durchführung und Aktualisierung von Kanal- und Wasserleitungskataster liegt. Dieses Themenfeld wird im folgenden Kapitel detailliert behandelt.

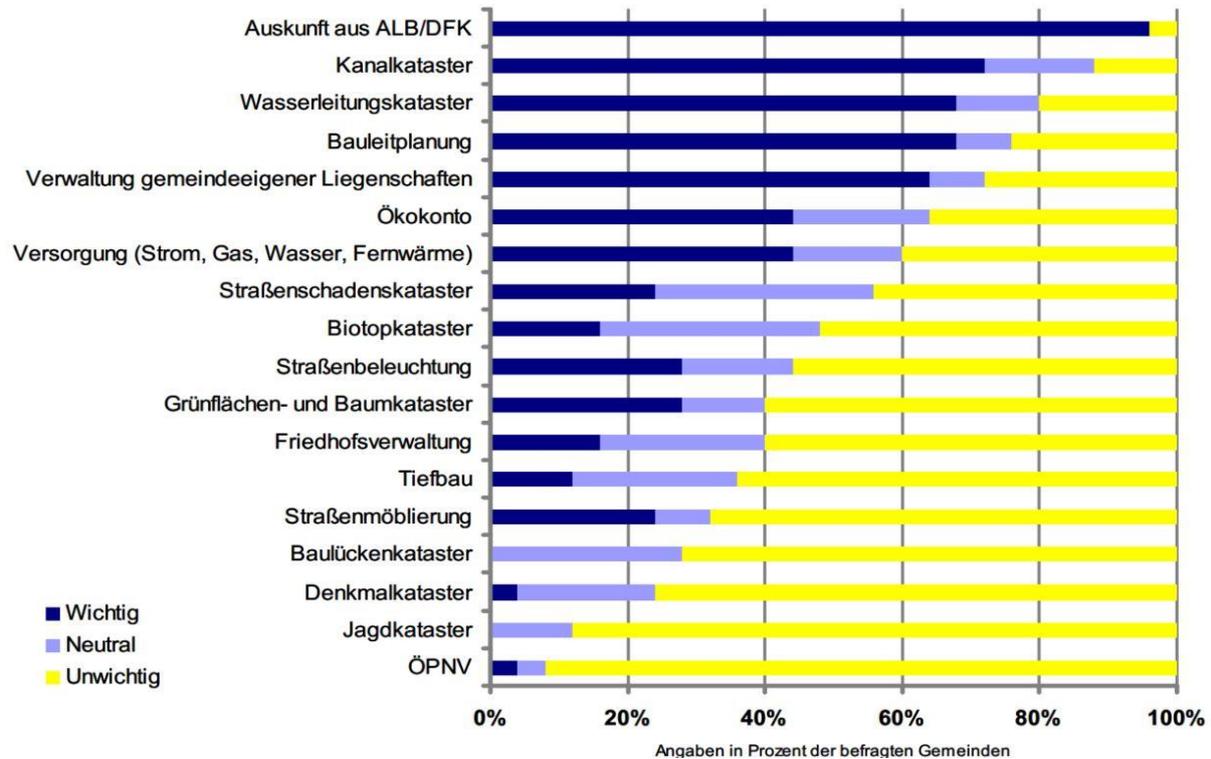


Abbildung 4: Bedeutung einzelner GIS-Anwendungen für bayrische Gemeinden (StMF 2003, S. 8)

2.4 Leitungsdokumentation als Hauptanwendungsgebiet

Angelehnt an Abbildung 4 soll im folgenden Kapitel der GIS Einsatz zur Leitungsdokumentation genauer erläutert werden. Hierfür wird zu Beginn auf die Grundlagen des Netzbetriebes eingegangen, um die wichtigsten Begriffe und Merkmale der Infrastrukturnetze zu klären.

2.4.1 Grundlagen des Netzbetriebes

Kanalbetrieb

Grundlegend können Abwassersysteme in Mischsysteme und Trennsysteme unterschieden werden. Mischwassersysteme haben den Vorteil kostengünstiger in Bau und Betrieb zu sein, da nur eine Kanalhaltung für Schmutz- und Regenwasser verwendet wird. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass weniger Platz des unterirdischen Straßenraums beansprucht wird. Als Nachteil sind aufgrund der größeren Wassermassen zusätzlich zu errichtende Regenentlastungsbauwerke und höhere Pumpkosten anzusehen. Ein weiteres Risiko besteht bei Mischwassersystemen für die Gewässergüte. Bei einem Trennsystem werden Regenwasser und Abwasser in getrennten Leitungsnetzen befördert. Dies hat den Vorteil, dass Regen-

wasserkanäle in geringerer Tiefe und in kürzeren Kanalabschnitten bis zur Entwässerung in den Vorfluter verlegt werden können, wodurch Kosten gespart werden.

Eine weitere Unterteilung kann nach der Art der Kanalhaltung getroffen werden. Hierbei unterscheidet man zwischen Freispiegelleitungen und Druckleitungen. Bei Freispiegelleitungen fließt das Abwasser mit dem natürlichen Gefälle ab. Bei Druckleitungen hingegen sind, aufgrund der topografischen Gegebenheiten, Pump- bzw. Hebewerke vorhanden, wodurch das Abwasser in unter Druck stehenden Leitungen in Kläranlagen oder anderen Freispiegelleitungen befördert wird. Die Rohrleitungen an sich, können nach ihren Materialien unterschieden werden. Diese werden in biegesteife (Steinzeug, Stahlbeton, Asbest-/ Faserzement, Beton, Polymerbeton) und biegeeweiche Materialien (Polyethylen, Glasfaserkunststoff, Polypropylen, Polyvinylchlorid sowie Grauguss und duktiler Guss) unterteilt. Zusätzlich treten Rohrleitungen in verschiedenen Profilen (Kreis-, Maul- und Eiprofil) auf. Kanalschächte werden im Allgemeinen im Abstand von 50 bis 100 Meter errichtet und dienen beim Betrieb zur Inspektion, Reinigung und Belüftung. Des Weiteren werden sie bei Richtungsänderungen; Vereinigung mehrerer Haltungen; Wechsel von Gefällen, Materialien, Profilen oder Leitungsdurchmessern eingebaut. Das gesamte Entsorgungsnetz beinhaltet neben Kanalhaltungen und -schächten auch noch Sonderbauwerke. Hierzu zählen Absturzbauwerke zur Vermeidung von zu starken Gefällen, Regenbecken als Überbegriff für die Sammlung von Niederschlagswasser, Auslassbecken und Pumpwerke (Bölke 2013).

Wasserbetrieb

Das gesamte Wasserleitungsnetz besteht im Allgemeinen aus Anlagen zur Wassergewinnung und Wasseraufbereitung, den Leitungen zum Wassertransport bestehend aus Transport, Versorgungs- und Hausanschlussleitungen, sowie Armaturen (Schieber, Ventile und Hydranten), welche einen sicheren Betrieb gewährleisten. Mehrere Leitungen im Verbund bilden einen Leitungsstrang, welcher für seine Vollständigkeit Elemente, wie Verbinder, Bögen, Abzweiger und Übergangstücke, benötigt.

In der Regel ist für die Versorgung von urbanen Gebieten die Speicherung des Wassers in Wasserreservoirs in Form von Seen, Grundwasser, Talsperren oder Flüssen notwendig. Das benötigte Wasser wird in naheliegenden Wasserwerken nach bestimmten Vorgaben aufbereitet und über das Transportleitungssystem zu den einzelnen Versorgungsunternehmen geleitet. Diese sind für die weitere Verbreitung zuständig und verteilen das Wasser über Zubringerleitungen und Hauptleitungen in ihrem Versorgungsgebiet. Im Anschluss erfolgt die Versorgung der EndverbraucherInnen über das Versorgungsleitungsnetz, an dem die Hausanschlussleitungen angeschlossen sind (Horlacher 2018).

Die erwähnten Leitungsarten unterteilen sich in Fallleitungen und Pumpdruckleitungen. Erstere bestehen aus einem Empfangsbehälter, der über Rohrleitungen aus dem Hochbehälter gespeist wird. Vergleichbar mit den Freispiegelleitungen beim Kanal erfolgt der Transport ausschließlich über die vorhandene Druckhöhendifferenz. Bei Pumpdruckleitungen erfolgt die Überwindung von Steigungen durch den Einsatz von Pumpen. Aufgrund der unterschiedlichen Steigungen im Versorgungsnetz ergeben sich unter Betrachtung des Höhenprofils unterschiedliche Druckzonen, welche sich aus der Bemessungsdruckhöhe und der geodätischen Höhe ergeben. Abhängig von der jeweiligen Druckzone werden Leitungen und Armaturen für einen sichereren Betrieb bemessen.

Straßenaufbau

Grundsätzlich besteht der Straßenaufbau aus einem Oberbau, welcher bekannterweise aus einer asphaltierten oder ungebundenen Tragschicht besteht, und dem Unterbau wie dem Dammkörper. Zum gesamten Straßenbetrieb zählen auch noch Bauwerke wie Brücken, Tunnel und Verkehrsleitsysteme. Die vorherrschende Bauweise sowohl für Straßenflächen, als auch für Gehsteige und Radwege ist ein gebundener Oberbau in Form von Asphalt. Betonierte Straßenflächen kommen in Bereichen mit sehr hohen Verkehrsaufkommen wie bei Kreuzungen zum Einsatz. Des Weiteren werden auch Pflasterungen und Platten für Gehsteige, Plätze und Fußgängerzonen sowie ungebundene Befestigungen in Form von Schotterdecken bei untergeordneten Straßen verwendet (Weninger-Vycudil et al. 2013).

2.4.2 Leitungsinformationssysteme (LIS)

Ein Leitungsinformationssystem (LIS) bzw. ein Netzinformationssystem (NIS) sind spezielle Anpassungen eines Geoinformationssystems an die NutzerInnenanforderungen der im LIS integrierten Leitungsnetze. Neben der geographischen Lage der einzelnen Leitungsnetze beinhaltet ein vollständiges LIS weitere Informationen wie technische und betriebswirtschaftliche Daten. Zusätzlich sollte es über Möglichkeiten zur Datenerfassung, nutzerInnenorientierten Analysen und Präsentationen verfügen. Zum Einsatz kommt ein LIS in der Planung und Verwaltung im kommunalen Umfeld sowie bei Ver- und Entsorgungsunternehmen (EVU) mit dem Ziel alle benötigten räumlichen Daten redundanzfrei zu integrieren. Die Einführung kann aufgrund der Umstellung verschiedener Arbeitsprozesse und der ersten Datenerfassung sehr komplex sowie zeit- und kostenintensiv verlaufen. Diese Investitionen rechtfertigen sich jedoch nur, wenn die Möglichkeit geschaffen wird, dass die integrierten Informationen an alle zuständigen Fachbereiche verbreitet werden und auf deren Anforderungen eingegangen wird. Ein erfolgreicher Einsatz ist gewährleistet, wenn das LIS die Prozessoptimierung und bestimmte Geschäftsprozesse unterstützt. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein breiter, zweckgebundener LIS - Einsatz mit dem Fokus auf konkrete Anwendungsmöglichkeiten. LIS und NIS zählen zu den größten Anwendergruppen von GIS, was auf das

breite Einsatzgebiet zurückzuführen ist. Die digitale Dokumentation der technischen und betriebswirtschaftlichen Daten sowie der räumlichen Lage verschiedenster Leitungsgruppen in Kombination mit den integrierten Geobasisdaten hat einen großen Nutzen in verschiedensten Arbeitsbereichen zur Folge (Stürmer 2007):

- Gerichtsfester Nachweis der Leitungsverläufe für Revisionen und Prüfungen
- Auskunft für internen Nutzen, wie bei der Planung von Netzerweiterungen, dem Netzbetrieb und der Instandhaltung
- Auskunft für externen Nutzen bei Bauausführungen mit Grabungsarbeiten
- Abgabe von digitalen Kanal- bzw. Wasserkatastern zum Erhalt von Bundes- und Landesförderungen (siehe 2.4.3)

Ein vollständiges LIS soll die individuellen Anforderungen der AnwenderInnen erfüllen. Ein Beispiel für eine gelungene LIS Umsetzung bietet die Stadtgemeinde Liezen in der Steiermark. Die Anforderungen hierbei waren die Integration der kommunalen Bereiche Bauamt, Meldeamt, Finanzverwaltung sowie sämtlich benötigter Leitungsträger. Ziel war die Verknüpfung der Verwaltungsdaten mit grafisch bzw. räumlichen Informationen in einer Internetlösung. Die Mindestanforderungen der Attribute des Trinkwasserleitungsnetzes sowie der Schmutz- und Regenwasserentsorgung ging aus den Anforderungen zur Abgabe eines Kanal- bzw. Wasserkatasters beim Land Steiermark hervor (siehe 2.4.3) (Schattauer 2008).

Geomedia SmartClient

Abbildung 6 zeigt ein webbasiertes LIS am Beispiel Liezen, umgesetzt mit der java-basierten „Thick Client“ Anwendung Geomedia SmartClient (GMSC). Die Client Anwendung basiert zwar auf den bekannten Webprotokollen wie http, läuft jedoch unabhängig vom Web Browser in einem eigenen Fenster wodurch es als Fusion eines Web bzw. Desktop GIS gesehen werden kann. Die Kommunikation zwischen Client und Servern erfolgt über den de-facto Standard des World Wide Web Consortiums (W3C) Simple Object Access Protocol (SOAP) (Intergraph 2012). Dies ermöglicht den Zugang zu Geodaten auch für eine große Gruppe von Anwendern ohne spezielles GIS Fachwissen. Sämtliche an NutzerInnen und Arbeitsprozesse angepassten Einstellungen, wie die Darstellung von Objekten, Rechte- und Rollenvergabe sowie der Formulierung von Abfragen, werden im Vorfeld mit Hilfe des GMSC Administrator definiert. Für spezielle Anforderungen unterschiedlicher Fachabteilungen im kommunalen Umfeld verfügt der GMSC über einen konfigurierbaren Workflow Manager, womit aufgabenbezogene Arbeitsprozesse definiert werden können (siehe Abbildung 5). Dies ermöglicht beispielweise zuständigen Personen in der Wasser- und Kanalverwaltung selbstständig Geometrien und deren Attribute zu erfassen, die anschließenden in der zentralen Datenbank gespeichert und im GMSC visualisiert werden können.

☰ Neues Element > Knoten neu

Kanal Knoten

MSLINK: *

Bezeichnung:

Art: * ▼

Typ: * ▼

Kanalnetz: * ▼

Betreiber: * ▼

Überdeckung:

DOK:

Abstich:

Sohle:

Lage: ▼

Abmessungen:

Baulicher Zustand:

Deckelart: ▼

Deckelkonstr.: ▼

Deckelmaterial: ▼

Deckeldurchm.: ▼

Deckelklasse: ▼

Deckel belüftet: ▼

Deckel verschraubt: ▼

Deckelzustand:

Bauabschnitt: ▼

Baudatum: ▼

Baufirma: ▼

Infofeld:

Anmerkung:

Schachtprotok.: * ▼

🔄 📄

Abbildung 5: Workflow Manager im GMSC zur Geometrie- und Attributerfassung (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)

Das User Interface des GMSC setzt sich aus dem Menüfenster [1], den Konstruktionshilfen [2], den Snapping Einstellungen [3], dem Datenfenster [4], der Legende [5], der Übersichtskarte und der Abfragefunktion [6], den Navigationstools [7] sowie dem Kartenfenster zusammen (siehe Abbildung 6). Das Hauptaugenmerk der Software liegt auf dem Kartenfenster, da dies eine interaktive Karte und die visuell aufbereiteten Geobasis- sowie Fachdaten beinhaltet. Im Menüfenster [1] befinden sich sämtliche Standardfunktionen wie Drucken, Suchen und Messen in der Karte. Zusätzlich werden in diesem Bereich auch Schaltflächen für die oben beschriebenen Workflows und Plugins zur Funktionserweiterung des GMSC dargestellt. Mit Hilfe der Konstruktionshilfen [2] können temporäre Geometrien zur Karte hinzugefügt werden, welche nach dem Beenden des Programmes gelöscht werden. Dies bietet vor allem bei Leitungskonstruktionen basierend auf einer analogen Plangrundlage nützliche Funktionen,

da die im Plan angegebenen Maße digital übernommen werden können und dadurch die Genauigkeit der Leitungsdigitalisierung erhöht wird. Die Snapping Einstellungen [3] ermöglichen die Definition der Art und Weise, wie der Zeiger der Maus automatisch von bestimmten Objekten gefangen wird, wenn er sich in einer bestimmten Distanz zum Objekt befindet. Diese Funktion unterstützt bei der Digitalisierung und Messungen um beispielsweise Elemente des geodätisch vermessenen Naturbestandes möglichst exakt heranzuziehen. Im Datenfenster [4] sind die Attribute der selektierten und abgefragten Geometrien ersichtlich. Die Definition der Abfrage und die Auswahl der Attribute wird bei den Einstellungen im GMSC Administrator durch die Datenbanksprache SQL festgelegt. Nach Selektion der gewünschten Geometrien können diese Abfragen mit Hilfe der Suchfunktion [6] ausgeführt werden. Das Legendenfenster [5] ermöglicht die Verwaltung der Sichtbarkeit, Layerreihenfolge und Selektierbarkeit der Elemente im Kartenfenster. Nur jene Elemente, welche in der Legende aktiv geschaltet sind, können auch abgefragt werden. Somit lässt sich die Darstellung nutzer-Innenspezifisch anpassen, wodurch die Übersichtlichkeit in der Karte gewahrt bleibt. Die Übersichtskarte [6] dient der groben Orientierung und Maßstabseinstellung im Projektgebiet. Mit Hilfe der Navigationsschaltflächen [7] kann die nutzende Person die Zoomstufen festlegen sowie in der Karte navigieren.

CAD-Import Drucken Einstiegssuche Friedhof GIP Zustandsbewertung GPS GeOrg Kanal Messen Standard WF Straßenbewertung Schnellsuche (Strg+Q)

Adresse bearbeiten Adresse erstellen

Suche

Legende

Übersicht

M = 1 : 1.500

7

270.422,35 m

5

Legende

- Kanal
- Kanal (Alternivdarstellung)
- Kanal (Altbestand)
- Leitungseinmessung
- Licht
- Licht (Altbestand)
- Wasser
- Wasser Beschriftung Le...
- Wasser Beschriftung Sc...
- Wasser Messpunkt
- Wasser Knoten
- Wasser Leitung (Lage u...
- Wasser Leitung
- Wasser Sonstiges
- Wasser Schacht
- Wasser Schutzrohr
- Wasser Knoten (nicht v...

6

3

4

[24401] Wasser Leitung - 03 Info Wasser Leitung(en) (Datensätze: 712) X

IB...	LÄNGE AUF PLAN	LAGE	MATERIAL	DIMENSION	PN	INFELD	BAUABSCHNITT	BAUDAT...	VERLEGEFIR...	PLANNUMMER	DATENERST
X	1,44	konstruiert - aus SEBA-Plänen	GG	80	10		BA00	-1950		79/4a	SEBA
X	0,28	konstruiert - aus SEBA-Plänen	GG	80	10			-1950		79/4a	SEBA
X	5,89	konstruiert - aus SEBA-Plänen	GG	80	10			-1950		79/4a	SEBA
X	1,45	konstruiert - aus SEBA-Plänen	GG	80	10			1995	Stadt Liezen	79/4a	SEBA
X	12,85	konstruiert - aus Handskizzen	PVC	80	10			1995	Stadt Liezen	79/4a	Stadt Liezen
X	8,43	konstruiert - aus SEBA-Plänen	GG	80	10		BA00	-1950	Duller&Co	79/4a	SEBA

Standard

Bookmarks

AKtive Objekte mit Punkt selektieren

GK_M31 M = 1 : 1.500 68.643.12 : 270.422.35

Abbildung 6: Darstellung eines webbasierten LIS am Beispiel Liezen (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)

2.4.2.1 Geobasisdaten

Neben den Fachdaten wie Leitungsnetzen sollten auch bestimmte aktuelle Geobasisdaten wie die digitale Katastermappe (DKM), Orthophotos, Flächenwidmungspläne und Naturbestandsvermessungen in einem LIS integriert sein (siehe Abbildung 7). Orthophotos und Flächenwidmungspläne tragen zur besseren Übersicht im LIS bei, aber die Integration der DKM in Kombination mit einer Naturbestandsvermessung ist unumgänglich. „Nur in der DKM werden die Verhältnisse an Grund und Boden rechtsverbindlich abgebildet“ (Kalasek 1997, S. 4). Die DKM wird von Vermessungsbehörden (z.B. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) bzw. von Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen nach bestimmten Anforderungen, mit Ziel eines möglichst homogenen Datenbestandes hoher Qualität erstellt (Kalasek 1997). Zu beachten ist jedoch, dass dies nur Grenzpunkte von Grundstücken und politischen Grenzen betrifft. Gebäude werden auf Basis von Luftbildern digitalisiert, weshalb hier die Genauigkeit sowie der aktuelle Stand der Bebauung nicht den Ansprüchen eines LIS entspricht. Die Gebäude und weitere topologische Objekte wie Wasserschieber, Kanalschächte, Straßenkanten, uvam. müssen durch geodätische Vermessungen im Zuge der Naturbestandsaufnahme erhoben werden. Die Abweichung zwischen Gebäuden in der DKM und vermessenen Naturbestandsgebäuden ist in Abbildung 7 ersichtlich. In der alltäglichen Verwendung eines LIS erfolgen die raumbezogenen Zugriffe auf die integrierten Geodaten nicht über Koordinaten, sondern über Adressinformationen wie Straßennamen, Hausnummern bzw. Grundstücksnummern. Erforderlich ist jedoch, dass diese räumlichen Einheiten im Hintergrund durch exakte Koordinaten definiert sind, wie es in der DKM der Fall ist. Auch bei den Leitungsnetzen an sich spielt die koordinative Lage eine untergeordnete Rolle, betrachtet wird in der Regel die relative Lage zu realen topografischen Objekten oder Grenzen. Diese topografischen Objekte werden bei der Naturbestandsaufnahme exakt vermessen. Die Genauigkeitsanforderungen an diese Vermessung sind, im Vergleich zu anderen GIS Anwendungen, sehr hoch. Der Grund für die hohen Lage- und Genauigkeitsanforderungen liegt darin, dass die Leitungsnetze unterirdisch und somit nicht sichtbar verlaufen. Im Falle von Grabungsarbeiten müssen diese jedoch auch ohne spezielle Vermessungsmethoden durch einfache Abmessungen (Sperrmaße, usw.) aufgefunden werden können.



Abbildung 7: Darstellung der Geobasisdaten in einem LIS am Beispiel Liezen (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)

2.4.2.2 Fachdaten und deren Erfassung

Die Fachdaten eines LIS setzen sich aus unterschiedlichen Leitungsnetzen (Abwasser-, Regenwasserentsorgung, Trinkwasserversorgung, Breitband, Beleuchtung, Fernwärme, etc.) zusammen und bilden das Herzstück eines jeden LIS. Neben einer möglichst exakten Abbildung des Verlaufs, sollten technische und betriebswirtschaftliche Attribute wie Leitungsmaterial, -dimensionen, Verlegedatum, Zustandsklassifizierungen, Bewilligungsbescheide etc. integriert sein. Neben der Abgabe eines digitalen Leitungskatasters bei der Landesbehörde (siehe 2.4.3), werden diese Informationen zur regelmäßigen Wartung und Instandhaltung der Leitungsnetze zur nachweisbaren Verlängerung der technischen Lebensdauer der Leitungsnetze verwendet. Zur späteren Nutzung der Fachdaten im LIS geht deren Datenerfassung voran, welche als wichtigster Bestandteil der digitalen Leitungsdokumentation in einem LIS gilt. Die Hauptaufgaben beziehen sich auf

- die Digitalisierung analoger Planwerke inklusive deren Attributaufnahme,
- geodätische Leitungsvermessungen (wenn möglich) bei offener Künette und deren anschließende Integration ins LIS,
- Korrekturen und Aktualisierungen der Daten nach einem zyklischen Verlauf sowie der
- Qualitätssicherung.

Zu allen aufgezeigten Hauptaufgaben sollte die Qualitätssicherung als übergeordnet angesehen werden. Fehlende bzw. falsche Informationen in einem LIS können einen enormen zeitlichen und finanziellen Mehraufwand zur Folge haben. Eine gute, jedoch auch zeitlich intensive Möglichkeit einer flächendeckenden Qualitätskontrolle, sollte bei der Ersterfassung der Daten, also in der Regel bei der Überführung analoger Planwerke in den digitalen Datenbestand, wahrgenommen werden. Bestimmte Rechtsprechungen² verpflichten EVU und Kommunen zwar zur Leitungsdokumentation, die Art und Weise, wie diese stattzufinden hat, ist jedoch nicht festgelegt. Grundsätzlich sollte jedoch das Ziel eines jeden Betreibers sein, dass deren interne Vorgaben die rechtlichen Verpflichtungen übersteigen.

Im folgenden Abschnitt wird auf die digitale Leitungsdokumentation bestimmter Leitungsarten eingegangen. Es bestehen unterschiedliche Möglichkeiten wie die digitale Dokumentation erfolgen kann. Zum einen können diese Tätigkeiten an bestimmte Dienstleistungsunternehmen abgegeben werden. Die Kommunen bzw. EVU müssen so nur jeweilige Bestandspläne sowie Leitungsverlegungen und Änderungen an dieses Dienstleistungsunternehmen weitergeben, um den aktuellen Stand über ein Web GIS abrufen zu können. Eine weitere Möglichkeit der Datenerfassung und -verwaltung, wie es meist bei größeren

² BGBl II Nr. 304/2001: Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität (Trinkwasserverordnung-TWV)

Kommunen und Betrieben wie Stadtwerken vorkommt, ist die selbstständige Dokumentation und Verwaltung. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Fachabteilungen, haben sich spezielle Fachschalen etabliert, denen ein eigenständiges, aber standardisiertes Datenmodell zugrunde gelegt wird. Fachschalen ermöglichen Kommunen und Unternehmen die Integration einzelner Leitungsbetreiber für die Datenerfassung und Datenhaltung. Die spezifischen Anforderungen und Aufgabenstellungen der Netzdokumentation können so in einem Prozess vereint werden, wodurch redundante Datenerfassung vermieden wird.

Wasserversorgung

Im besten Fall bildet die Datengrundlage eine geodätische Vermessung der Leitung sowie der Leitungsanlagen (Wasserschächte, Hydranten, Schieber, usw.) bei offener Künette. Hierbei ist die größtmögliche Genauigkeit gegeben und die Daten liegen bereits in digitaler Form vor, was die Integration in das LIS vereinfacht. Auch die genaue Einbautiefe der Leitung kann so erhoben werden. Vor allem bei der Ersterfassung des Leitungsnetzes aber auch bei der Aktualisierung von Hausanschlüssen, bilden oft analoge Planwerke auf Basis der DKM die Grundlage. Hierbei ist es zwar möglich die sichtbaren Anlageteile im Nachhinein zu vermessen, die genauen Verläufe der unterirdischen Wasserleitungen können jedoch nicht aufgenommen werden. Eine weitere Ungenauigkeit ist gegeben, da die zu vermessenden Schieberdeckel nicht exakt über den Leitungen liegen müssen. Digitalisiert man also die Wasserleitung von Schieberdeckel zu Schieberdeckel muss man sich einer geringen Abweichung bewusst sein. Abbildung 8 zeigt das Wasserleitungs- und Kanalnetz mit einer Leitungsbeschriftung eines Ausschnittes in Liezen.

Die technischen Attribute wie das Leitungsmaterial, Leitungsdimension, Baujahr, Leitungsart usw. sollten im Zuge der Datenerfassung aufgenommen werden. Diese bilden in weiterer Folge die Grundlage für hydraulische Analysen und Zustandsklassifikationen. Bei Wasserleitungen ist aufgrund hygienischer Bestimmungen und der geringen Dimensionen eine Zustandserhebung im Innenraum der Leitungen nicht möglich, wodurch eine alternative Zustandsklassifizierung gefunden werden muss (siehe Kapitel 3.2.2 bzw. 3.3.2). Die Mindestanforderungen im Sinne eines förderfähigen Wasserleitungskatasters ist jedoch die Bestimmung des durchschnittlichen Wasserverlustes in Prozent sowie eine Funktionsüberprüfung der Wasserschieber und Hydranten.

Schmutzwasser- und Regenwasserentsorgung

Mit Ausnahme von Druckleitungen wird bei der Verlegung von Kanalhaltungen auf biegesteife Materialien wie Polyvinylchlorid (PVC) Kanalrohrsysteme zurückgegriffen. Dadurch kann von

einer exakten Digitalisierung ausgegangen werden, wenn die vermessenen Schächte miteinander verbunden sind, da die unterirdische Verbindung in der Regel direkt verläuft. Für Druckleitungen gelten aufgrund der meist biegeweichen Materialien dieselben Herausforderungen wie bei Wasserleitungen. Ein weiterer Unterschied zum Wasserleitungsnetz besteht bei der Beachtung der Digitalisier- bzw. Fließrichtung des Netzes. Während Wasserleitungen unter Druck stehen und sich die Fließrichtung im Falle von Ringleitungen bedarfsabhängig ändern kann, sind Entsorgungsnetze streng vom Anfallort zur Kläranlage in Fließrichtung zu digitalisieren. Nur so ist eine topologisch korrekte Modellierung gegeben. Die Fließrichtungspfeile des Kanalnetzes sind in Abbildung 8 ersichtlich. Zusätzlich ist eine farbliche Unterscheidung der Kanalfunktion in Abwasser – betrieblich, Abwasser – Hauptkanal, Abwasser – häuslich und Druckleitung dargestellt.

Die Voraussetzung eines vollständigen Entwässerungsnetzes ist eine durchgeführte Kanalinspektion, die die Grundlage einer Zustandsklassifikation der Kanalhaltungen und Schächte darstellt. Die gängigen Verfahren hierbei sind Videobefahrungen bei Kanalhaltungen sowie Druckprüfungen bei Druckleitungen und in Fällen wo eine Videobefahrung nicht möglich ist (siehe Kapitel 3.2.1). Die Vorteile der Kanalinspektion sind vielseitig:

- Verortete Aufnahme von Haltungsschäden.
- Auf Basis der Inspektion und der aufgenommenen Schäden kann eine ziviltechnisch durchgeführte Zustandsklassifikation abgegeben werden, welche eine Voraussetzung für die Förderfähigkeit eines Kanalkatasters ist.
- Aufnahme von technischen Attributen im Zuge der Inspektion.
- Bei Inspektion der Kanalschächte wird deren Abstich aufgenommen, wodurch die Verlegetiefe der Haltungen ermittelt werden kann.
- Die aufgenommenen Inspektionsvideos und Fotos können im LIS den jeweiligen Objekten zugeordnet werden.
- Unterirdische Änderungen der Leitungsverläufe durch Bögen werden aufgenommen, wodurch der digitalisierte Leitungsverlauf angepasst werden kann.

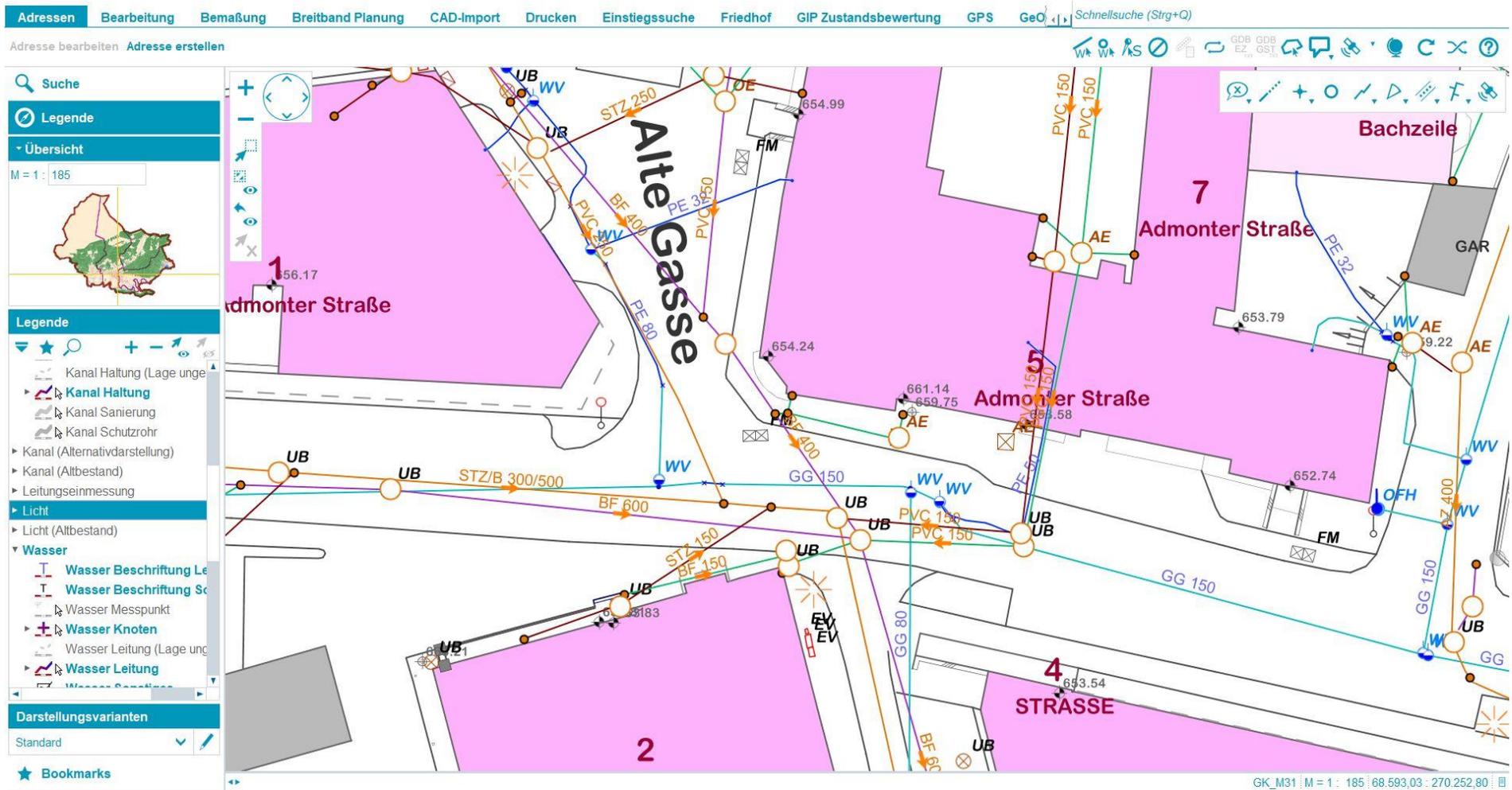


Abbildung 8: Darstellung der Fachdaten einem LIS am Beispiel Liezen (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)

Breitband

Als Breitband wird eine Internetnutzung mit hoher Datenübertragungsrate verstanden. Im speziellen betrifft das eine Datenübertragung als Lichtwellen (LWL) durch ein Glasfaserkabel. Hierbei ist eine theoretische Datenübertragung über 100 Kilometer von bis zu 100 Gbit/s möglich. Aufgrund dessen gilt die Glasfasertechnologie als Kommunikationsinfrastruktur der Zukunft (Amt der Steiermärkischen Landesregierung (AdLReg Stmk) 2016).

Im Vergleich zur Trinkwasserversorgung und der Schmutzwasser- bzw. Regenwasserentsorgung stellt Breitband noch ein recht junges Thema dar. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass bei guter Koordination zwischen Leitungsverlegern und Verantwortlichen in den Kommunen eine Lagevermessung bei offener Künette möglich ist. Des Weiteren können aktuelle und zukünftige Bauprojekte wie Straßensanierungen, Wasser- und Kanalnetzsanierung usw. für den Breitband-Ausbau genutzt werden. Dadurch minimieren sich die Grabungskosten für die Breitbandverlegung, welche ca. 60% der Projektkosten ausmachen.

In diesem Zusammenhang wurde im Bezirk Weiz mit Hilfe der beschriebenen Software GMSC eine Lösung zur kosteneffizienten Breitbandverlegung als integrative Planungsmaßnahme im gesamten Bezirk umgesetzt. Am Projekt beteiligt sind sämtliche Gemeinden im Bezirk, die Breitband Betreibergesellschaft, ein Ingenieurbüro sowie Materiallieferanten. Hierzu wurden im GMSC notwendige Geobasisdaten wie DKM, Orthofotos und das Straßennetz integriert. Des Weiteren wurde der Breitbandatlas hinzugefügt, welcher ein zentrales Informationsmedium der Bundesregierung zur aktuellen Breitbandversorgung in Österreich darstellt (siehe Abbildung 9). In diesem werden jene Gebiete unterschieden für welche bereits eine Breitband – Förderung beantragt (rote Kacheln) und jene wo noch kein Förderansuchen beantragt wurde (blaue Kacheln). Von einem Ingenieurbüro wurde ein Masterplan erstellt, der den Gesamtbestand aller benötigten Kabel und deren Dimensionen und Materialien für einen flächendeckenden Breitbandausbau im Bezirk erfasst. Die Verläufe basieren auf der DKM und laufen entlang der Straßen. Ziel ist es, dass Gemeinden bei einer geplanten Grabungsaktivität wie bei einer Kanalverlegung oder -sanierung, diese durch eine linienhafte Markierung im GMSC kennzeichnen. Im Anschluss kann die Gemeinde einen Puffer angeben, welcher der ungefähren Breite der Künette entspricht (siehe Abbildung 10). Dieser Puffer wird mit dem Masterplan verschnitten, wodurch sich eine Materialliste für eine entsprechende Mitverlegung der Breitbandleitung generieren lässt. Der Vorteil dieser Umsetzung ist, dass alle Beteiligten auf die gleiche Datenbank einsehen und diese im Falle von Neuverlegungen auch editieren. Die Folge des integrativen Breitbandausbaus ist eine Kostenersparung aller Beteiligten, aufgrund effizienter Koordination und geteilter Grabungskosten.



Abbildung 9: Breitbandprojekt des Bezirks Weiz (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)



Abbildung 10: Breitbandprojekt des Bezirks Weiz. Pufferfläche einer geplanten Leitungsverlegung (eigene Aufnahme GMSC, 11.10.2018)

Straßennetz

Das Straßennetz kann je nach ihrem Einsatzgebiet in der Planung zu Geobasisdaten oder Fachdaten zugeordnet werden. In der weiteren Arbeit werden sie als Fachdaten behandelt, da auf Zustandsbewertungen eingegangen wird und sie Teil der integrativen Sanierungsmaßnahmen bilden. Eine geeignete Datengrundlage des bundesweiten Straßennetzes bildet die Graphen Integrations Plattform (GIP).

Die GIP ist ein lineares Modell des realen Verkehrsnetzes, welches in der untersten Ebene als Knoten-Kanten-Struktur vorliegt. Der Fokus liegt hierbei auf den topologischen Eigenschaften. Der modellierte Straßenverlauf ist für genaue Messungen nicht konzipiert und dient der Visualisierung des Straßennetzes. Die Erfassungsgenauigkeit ist so festgelegt, dass eine sinnvolle Darstellung bei einem Maßstab von 1 : 2000 gewährleistet wird. Die Kilometrierung hat somit mit einer Genauigkeit von 5 Meter zu erfolgen. In anderen Worten darf es zu einer maximalen Längenabweichung von 5 Meter im Vergleich zur Realität kommen. Die GIP bündelt wesentliche Informationen der Verkehrsinfrastruktur und umfasst alle Verkehrsarten. Dadurch bietet die GIP der öffentlichen Verwaltung und den Behörden einen Gesamtüberblick der Verkehrsinfrastruktur. Durch einen gemeinsamen Referenzgraphen ist eine redundante Datenhaltung überflüssig. Die bei Magistraten, Behörden, Länder und Gemeinden vorliegenden Daten zum Fließverkehr, öffentlichen und ruhenden Verkehr werden durch E-Government Prozesse gemeinsam verwaltet und laufend aktualisiert. Die Vorteile der AnwenderInnen im kommunalen Umfeld sind weitreichend (Heimbuchner 2018):

- Tagesaktueller Datenbestand zu allen Verkehrsmaßnahmen
- Rasche Auskunft durch einfachen Datenzugang
- Verfahrensbeschleunigung bei Verwaltungsbehörden aufgrund der Minimierung von Verhandlungen vor Ort
- Qualitätssteigerung durch Sichtbarmachung von inhaltlichen Widersprüchen.

Früher wurde Netzdokumentation meist auf analogen Planwerken verwirklicht. Aufgrund unterschiedlicher Anforderungen bezüglich Maßstäbe, Detailliertheitsgraden usw. war eine kostspielige redundante Datenhaltung unumgänglich. Die Leitungsdokumentation konnte eher durch Datenarchivierung und nicht durch Informationsbereitstellung beschrieben werden. Die Entwicklung zur digitalen Leitungsdokumentation ermöglichte die Verwendung von Datenbanken, was eine zentrale nicht redundante Datenhaltung zur Folge hatte. Das Ziel dezentrale Daten und Anwendungen jenen Nutzern zu dem Zeitpunkt und Ort wo sie gebraucht werden zur Verfügung zu stellen, konnte somit verwirklicht werden. Ein barrierefreier Zugang zu den Geodaten für alle NutzerInnen kann so durch eine angepasste Methode (Webdienste, Web GIS, etc.) umgesetzt werden.

Die Entwicklung der Datenbanken lief Anfangs von relationalen über objektorientieren zu schlussendlich objektrelationalen Datenbanken wie Oracle und PostGIS. Diese ermöglichen es neben der Speicherung, Verwaltung und Verknüpfung von räumlichen Informationen bestimmte rechenintensive Funktionen auf der Datenbankebene auszuführen, wodurch sich die gesamte Verarbeitungsgeschwindigkeit erhöhen lässt. Als Beispiel einer solchen Funktion

kann eine Prüfroutine verstanden werden, welche eine Datenerfassung nach bestimmten Normen sowie die Datenkonsistenz überprüft.

Das zugrundeliegende Datenmodell eines LIS muss die Realität der Leitungsnetze möglichst exakt wiedergeben. Im Speziellen ist hiermit die Modellierung der Leitungen, deren Anlagen und die Beziehung zueinander zu verstehen. Die Netzstruktur an sich ist bei Leitungsnetzen sehr wichtig, weshalb die Topologie nicht über Geometrien, sondern explizit, durch individuelle semantische Regeln, umgesetzt wird. Die Netztopologie bezeichnet hierbei die realen physikalischen Strukturen, welche durch logische und digitale Datenstrukturen in einem LIS abgebildet werden. Es muss gewährleistet sein, dass ein vollständig geschlossener Stofftransport von der Quelle bis zum Abnehmer, im Falle eines Wasser- oder Energienetzes, und vom Anfallort bis zur Kläranlage, im Falle eines Entwässerungsnetzes, gegeben ist (Stürmer 2007). Als Herausforderung hierbei gelten die dynamischen Nachbarschaftsverhältnisse der Objekte. Es müssen also zeitlich variable Topologien definiert werden, um bestimmte Anlagen wie Kanalschächte oder Wasserschieber, deren Funktion darin besteht topologische Verknüpfungen herzustellen aber auch zu unterdrücken, modellieren zu können (Stürmer 2007). Aufgrund der Netzwerktopologie ergeben sich spezielle Anforderungen an die Datenstruktur sowie der Qualitätssicherung der Daten. Die Komplexität der Netzwerktopologie ergibt sich aus den Anforderungen der AnwenderInnen. Eine spezielle Anwendung, wo diese topologischen Anforderungen gegeben sein müssen, ist im Bereich des Störungsmanagement bei der Netzverfolgung gegeben. In Fall eines Leitungsbruches können die betroffenen AbnehmerInnen nur ermittelt werden, wenn die Stellung der Wasserschieber sowie die Fließrichtung genau und topologisch korrekt modelliert wurden.

2.4.3 Leitungskataster

Die im Kapitel 2.4.2 beschriebene Datenerfassung bzw. -haltung im Sinne eines vollständigen LIS richtet sich nach den individuellen Anforderungen der Informationsverwaltung von Leitungsdaten der Kommunen bzw. EVU. Aufgrund eines notwendigen standardisierten Prozesses der Förderabwicklung eines Leitungskatasters, sind jedoch bestimmte Normen und Mindestanforderungen einzuhalten. Es kann jedoch angenommen werden, dass die individuellen Anforderungen jene eines förderfähigen Leitungskatasters übersteigen. Im folgenden Kapitel wird auf den Prozess der Förderabwicklung, sowie Ziele und Voraussetzungen der Landes- und Bundesförderung für die Erstellung eines digitalen Leitungskatasters eingegangen.

Grundsätzlich muss zwischen Bundesförderung, welche vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) erstattet wird, und der Landesförderung, die vom jeweiligen Amt der Landesregierung ausbezahlt wird, unter-

schieden werden. Die Landesförderungen basieren, unter Einbezug gesetzlicher Landesbestimmungen, auf den Förderungsrichtlinien für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft des Bundes (BMLFUW 2016). Als Förderwerber im Allgemeinen gelten u.a. Gemeinden, Verbände, Genossenschaften und Unternehmen, welche öffentliche Anlagen der Trinkwasserleitungsnetze und Schmutz- bzw. Regenentwässerungsnetze errichten bzw. betreiben.

Im folgenden Absatz soll kurz auf das Verfahren des Förderungsansuchens für Bundes- und Landesförderung eingegangen werden. Eine detaillierte Beschreibung zu den benötigten Unterlagen sowie dem Förderungsverfahren, ist aus den jeweiligen Richtlinien zu entnehmen (BMLFUW 2016). Sowohl für die Landes- als auch für die Bundesförderung ist ein Ansuchen des Förderwerbers am zuständigen Amt der Landesregierung zu stellen. Anmerkend soll hierzu erwähnt werden, dass der Förderwerber die Möglichkeit hat, nur eine aber auch beide Förderungen zu beantragen. Vorzulegende Unterlagen sind unter anderem das Ansuchersformblatt, Datenerfassungsblatt, technischer Bericht, Übersichtslageplan, Katalog der Anlagenteile und zusätzlich, für den Erhalt der Landesförderung, Unterlagen zu Gebühren-, Abgaben bzw. Entgeltregelung der Abwasser- und Trinkwasserleitungen sowie Kosten und Leistungsrechnungen des letzten abgeschlossenen Rechnungsjahres. Nach stattgegebener Entscheidung des BMLFUW im Falle eines Bundesförderungsansuchens sowie dem jeweiligen Amt der Landesregierung im Falle eines Landesförderungsansuchens, hat die jeweilige Abwicklungsstelle einen schriftlichen Fördervertrag mit dem Förderwerber abzuschließen. Die Voraussetzungen zum Erhalt der Förderung sind unter anderem

- ein öffentliches Interesse an den Maßnahmen des Trinkwasserleitungsnetzes sowie Abwasser- und Regenwasserentsorgungsnetzes,
- eine Steigerung bzw. Gewährleistung der Sicherheit des Gemeinwohls,
- Maßnahmen welche ohne Erhalt der Förderung nicht bzw. nicht im notwendigen Ausmaß möglich sind,
- Ökologische, volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Verträglichkeit,
- Wasserrechtliche Bewilligungen des Leitungsbaus sowie
- Eine Umsetzung der Maßnahmen innerhalb von 3 Jahren nach dem Förderansuchen nach aktuellstem Stand der Technik.

Folgende Kosten gelten unter Einhaltung der oben genannten Voraussetzungen als förderbar:

- Errichtung bzw. Reinvestition von Wasserversorgungs- und Kanalsorgungsanlagen
- Planungs- und Beaufsichtigungskosten
- Maßnahmen interkommunaler Zusammenarbeit

- Erstellung eines digitalen Leitungsinformationssystems (LIS)
- Maßnahmen zur Wiederherstellung nach Umweltkatastrophen

Die Basisförderung sowohl der Landes- als auch der Bundesförderung beträgt unter Vorbehalt bestimmter Aufschlagsfaktoren 10 % der förderbaren Investitionskosten. Die Förderung eines digitalen LIS beträgt 2€ pro Laufmeter Leitungsnetz mit einem Maximum von 50% der förderbaren Kosten.

Die Förderung der Trinkwasserversorgung hat zum Ziel den Schutz des ober- und unterirdischen Wassers vor Verunreinigung sowie die Sicherstellung der Versorgung der Bevölkerung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser zu gewährleisten. In weiterer Folge soll ein sparsamer Gebrauch des Trinkwassers gewährleistet werden, wodurch sich auch der Abwasseranfall vermindert. Im Falle der Abwasserentsorgung soll die Förderung zur Minimierung der Umweltbelastung für Gewässer, Luft und Boden beitragen (AdLReg Stmk 2015b).

Für die Förderung eines digitalen LIS müssen die Daten des digitalen Wasserleitungs- oder Kanalkatasters nach bestimmten Richtlinien an das zuständige Amt der Landesregierung übergeben werden. Diese Richtlinien dienen einerseits einer standardisierten und somit effizienten Übergabe des Leitungskatasters in digitaler Form und andererseits dem bzw. der AntragstellerIn als Mindestanforderung zur Umsetzung eines sinnvoll einsetzbaren LIS. Daher überschneiden sich die individuellen Anforderungen eines LIS mit den Richtlinien zur Übergabe digitalen Leitungskataster sehr stark. Im folgenden Abschnitt soll auf die wichtigsten Punkte der Richtlinien eingegangen werden. Eine detaillierte Beschreibung ist aus AdLReg Stmk (2015a) und AdLReg Stmk (2015b) zu entnehmen.

Sowohl der Wasserleitungskataster als auch der Kanalkataster basiert auf einer geodätischen Vermessung der sichtbaren Teile. Der Leitungsverlauf ergibt sich im Anschluss aus den vermessenen Objekten bzw. aus vorhandenen Plänen und Skizzen. Die Einbautiefe der Leitung ergibt sich ebenfalls durch die vermessenen Abstiche zur Sohlhöhe der Bauwerke und Schächte. Sind vermessene Leitungspunkte im Falle einer geodätischen Vermessung bei offener Künette vorhanden, ist deren Information heranzuziehen. Bei der Darstellung des Kanalnetzes werden die Haltungen vom Mittelpunkt des vorangegangenen Schachtes bis zum Mittelpunkt des nachfolgenden Schachtes digitalisiert. Zur Ermittlung der tatsächlichen Haltungslängen ist darauf zu achten, dass im Anschluss der Schachtdurchmesser abgezogen wird. In beiden Fällen erfordert die Knoten-Kanten Struktur der Leitungsnetze ein Datenmodell, in dem Wasserleitungen bzw. Kanalhaltungen ein eindeutiger Wert (ID) des vorangegangenen und nachfolgenden Knotenpunktes zugewiesen wird. Bei den Kanalhaltungen ist in diesem Zusammenhang darauf zu achten, dass die Digitalisierungsrichtung der Fließ-

richtung entspricht. Eine weitere Anforderung zum Erhalt der Förderung ist eine Leitungszustandserhebung auf Basis einer Wasserverlustanalyse im Falle des Wasserleitungskatasters sowie einer Dichtheitsprüfung bzw. Kamerabefahrung bei einem Kanalkataster.

3 Methodischer Vorgang im integrativen Planungsprozess

Der Planungsprozess von Sanierungsmaßnahmen lässt sich nach Meerwarth (1994) in vier Bereiche unterteilen:

1. Vorbereitung
2. Ermittlung der Bestands- und Zustandsdaten
3. Beurteilung der Infrastrukturnetze
4. und die Bestimmung der Erneuerungsprioritäten.

Auch Trülzsch (2015) beschreibt in seiner Dissertation einen ähnlichen Ablauf, legt den Fokus zur Ermittlung von Handlungsschwerpunkten für integrative Maßnahmen jedoch mehr auf die Überlagerung der Einzelbewertungen der Infrastrukturnetze. Hieraus wird ein Gesamtindikator zur Priorisierung einzelner Straßenabschnitte abgeleitet.

In diesem Kapitel soll eine Methode abgeleitet aus der Fusion der Ansätze von Meerwarth (1994), Trülzsch (2015) und dem Projekt „REHAB“ beschrieben werden. Abbildung 11 zeigt den schematischen Ablauf, sowie die einzelnen Komponenten des integrativen Planungsprozesses. Die Basis des Gesamtprozesses bildet das Datenmanagement (Abschnitt 3.1), welches sich aus der Datenakquisition und -aufbereitung zusammensetzt. Ausschlaggebend für die Aussagekraft der ermittelten Ergebnisse ist die Definition einer minimal notwendigen („must-have“) und einer bestmöglichen („nice-to-have“) Datengrundlage. Eine gute Basis für die darauffolgenden Schritte stellt ein vollständig durchgeführter Kanal- bzw. Wasserleitungskataster (siehe Kapitel 2.4.3) dar, da diese Informationen zu Alter, Material und Zustand beinhalten. Wurde bei Wasserleitungs- und Kanalnetzen kein Kataster erstellt oder liegen keine Zustandsinformationen zu anderen Infrastrukturnetzen wie Straßen, Fernwärme oder Strom vor, sollte eine Erhebung des Netzzustandes nach bewährten Inspektionsmethoden, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, erfolgen. Auf Basis der Zustandserhebung erfolgt eine Zustandsklassifikation der jeweiligen Infrastrukturnetze anhand festgelegter Methoden (Abschnitt 3.3). Da in der Praxis jedoch oft auf die zeitlich und finanziell aufwendigen Zustandserhebungen verzichtet wird, werden im Abschnitt der Zustandsbewertung auch Alternativbewertungsmethoden vorgestellt, welche auf einer in der Regel verfügbaren Datengrundlage aufbauen. Nach der Bestimmung des Ist-Zustandes ermöglichen Alterungs- bzw. Verschlechterungsmodelle eine mittel- und langfristige Prognose des Netzzustandes (Abschnitt 3.4). Im Schritt der integrativen Modellierung (Abschnitt 3.5) erfolgt eine Zusammenführung der Einzelbewertungen aller Netze und der prognostizierten Zustände zur Ermittlung eines Gesamtzustandes. Hier werden unterschiedliche Modellansätze beschrieben, welche sich zwar in ihren Datenanforderungen und Komplexitätsgrad unterscheiden, aber grundlegend auf der Überlagerung der Einzelnetzzustände basieren. Die

Qualität der Gesamtbewertung hängt hierbei direkt von der Genauigkeit der bewerteten Einzelzustände und den Prognosen, sowie der Gewichtung der jeweiligen Netze ab. Bei der Entscheidungsfindung soll gezeigt werden, wie die gewonnenen Informationen zu einer endgültigen Entscheidung von integrativen Sanierungsmaßnahmen führen. Hierzu werden im Abschnitt 3.6 auf die Methoden der „multicriteria decision analysis“ sowie auf die Kombination dieser mit einem GIS („spatial decision support systems“) eingegangen. Die Visualisierung spielt hierbei sowohl im Vorfeld eine Rolle, da auf Basis dieser Entscheidungen getroffen werden, als auch nach der Entscheidungsfindung, da sie zur Präsentation der ermittelten Ergebnisse für die EntscheidungsträgerInnen bzw. der Öffentlichkeit genutzt werden kann. Hierzu werden die Möglichkeiten von „Business Intelligence“ (BI) in Kombination mit GIS genauer beschrieben.

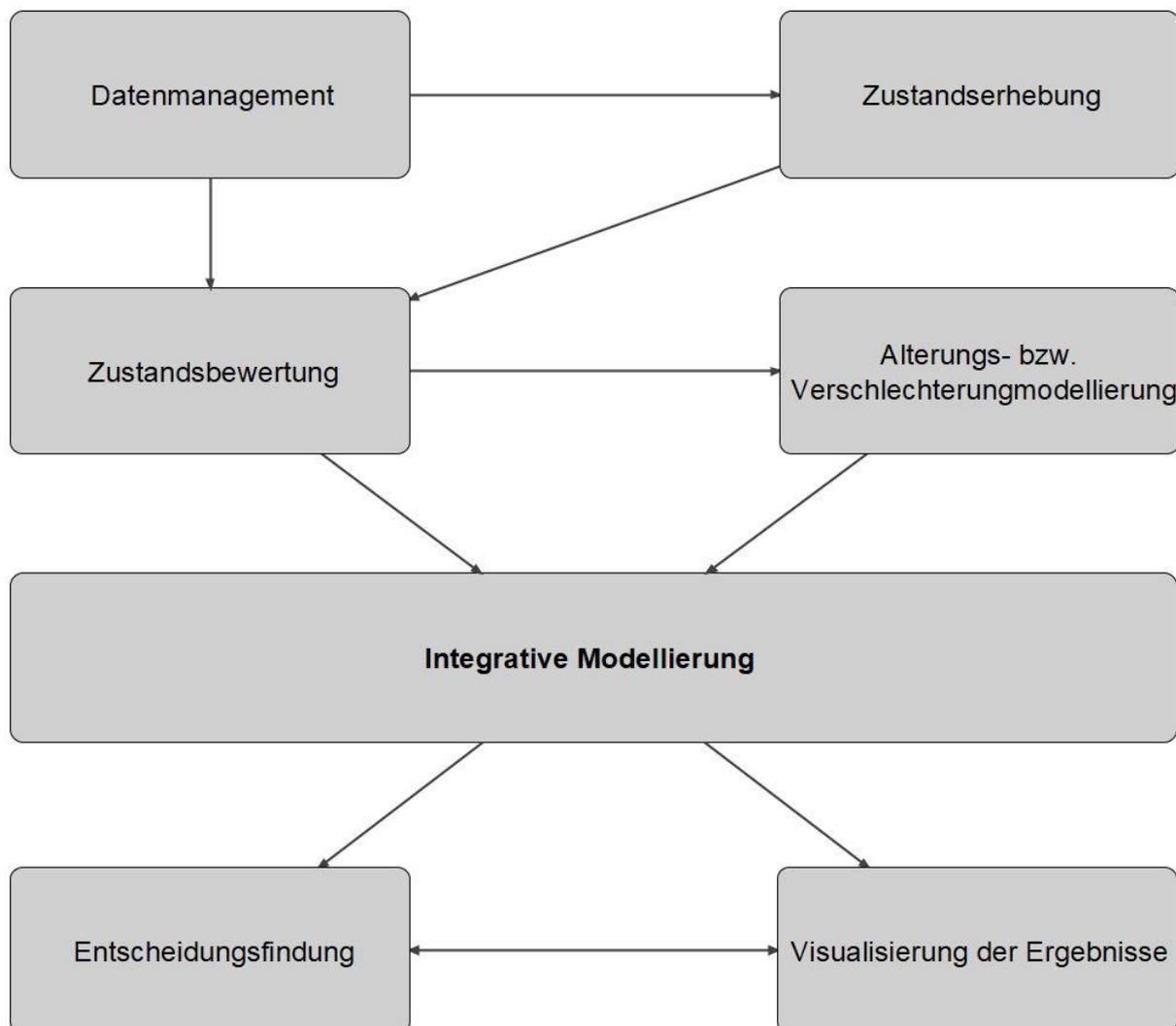


Abbildung 11: Methodischer Ablauf des integrativen Planungsprozesses (eigene Darstellung, 11.10.2018)

3.1 Datenmanagement

Die endgültige Entscheidungsfindung von (integrativen) Sanierungsmaßnahmen, ist maßgebend von der Verfügbarkeit und Qualität der Daten abhängig. Dies ist vor allem auf die Zustands- und Alterungsmodellierung zurückzuführen, da plausible Ergebnisse nur bei entsprechender Datenqualität erreicht werden. Nach Tscheikner-Gratl et al. (2015a) bildet ein erfolgreiches Datenmanagement die Grundlage der integrativen Betrachtungsweise, da damit die notwendigen Informationen zur Modellierung von Alterungsprozessen, der Prognose von Investitionskosten und den Prozess der Entscheidungsfindung als Ganzes effizient gesammelt, ausgewertet und überlagert werden können. Ein gelungenes Datenmanagement ermöglicht neben der Qualitätssteigerung der Modellergebnisse und der darauf aufbauenden Entscheidungsfindung, die Definition eines Datensets, welches den Mindestanforderungen zur Umsetzung von technisch und wirtschaftlich sinnvollen Sanierungsmaßnahmen entspricht. Ziel eines effizienten Datenmanagements ist es, aussagekräftige Ergebnisse mit möglichst kostengünstiger Datenakquisition und -aufbereitung zu erzielen. Dies setzt voraus, dass nur jene Daten erhoben werden, welche für die gewählte Sanierungsstrategie benötigt werden. Die Erhebung, Aufbereitung und Evaluierung aller organisations- und planungsrelevanter Daten, stellt die Grundlage für einen effizienten und transparenten Entscheidungsprozess bei der Sanierungsplanung dar (BMLFUW 2013).

Ahmadi et al. (2014) untersuchten welche Faktoren im Kanalnetz den größten Einfluss auf die Modelle haben, sowie die unterschiedlichen Auswirkungen unvollständiger und unpräziser Datengrundlagen. Der Einfluss der Datenqualität wurde mittels numerischer Simulationen untersucht. Durch den Vergleich mehrerer unvollständiger und unpräziser Datenbanken mit einem optimalen Datenset konnte gezeigt werden, dass eine unpräzise Datengrundlage einer unvollständigen vorzuziehen ist. Im konkreten Beispiel konnte so beim Fehlen der Altersinformationen des Kanalnetzes, auf das Konstruktionsjahr der Straßenoberfläche zurückgegriffen werden, ohne das Ergebnis maßgeblich zu verfälschen.

Tscheikner-Gratl et al. (2016a) setzen für eine vernünftige Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen ein Datenmanagement mit Hilfe eines Informationssystems wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, voraus. Auf Basis des Informationssystems kann eine strategische und einheitliche Vorgehensweise zur Datenakquisition durch alle Beteiligten entwickelt werden. Da die Datenakquisition in der Regel den teuersten Teil des Planungsprozesses darstellt, sollten Daten von möglichst vielen AnwenderInnen genutzt werden. Neben der Herausforderung, dass die Datensammlung an unterschiedlichen Institutionen (Kommunalverwaltung, Ingenieurbüros, Vermessungsbüros, usw.) erfolgt, erschwert die Anpassung der Datenmodelle und -strukturen der jeweiligen Fachdisziplinen an die unterschiedlichen Problemstellungen

den Datenaustausch. Fuchs und Ertl (2006) identifizieren folgende Anforderungen an das Datenmanagement:

➤ Datenstruktur

Liegen alle Daten in ausreichender Qualität für die notwendigen Anwendungen vor?

➤ Datentransfer

Erfolgt die Informationsübergabe an die jeweilige Anwendungssoftware in ausreichender Datenqualität?

➤ Datenfluss

Wurden die Daten auf Plausibilität, Genauigkeit und Konsistenz überprüft und wie erfolgt die Aktualisierung der Daten?

Tscheikner-Gratl et al. (2015a) und Di Michele und Daniela (2011) definieren eine optimale Datengrundlage für die Umsetzung GIS-basierter Planungsmaßnahmen integrativer Sanierungsmaßnahmen:

➤ Netzwerkdaten

Attribute zu den vermessenen Leitungsnetzen und ihrer Knotenpunkte, dies ist in Österreich durch den Aufbau eines LIS nach ÖWAV Regelblatt 40 geregelt.

➤ Zustands- und Schadensaufzeichnungen

Eine Zustandsbewertung erfolgt auf Basis einer durchgeführten Kanalinspektion. Zur Implementierung dieser Informationen in ein GIS wurde als Standard die ISYBAU XML Schnittstelle festgelegt (siehe Kapitel 3.3.1). Beim Wassernetz sollte eine Schadensaufzeichnung, welche alle relevanten Daten über das Schadensereignisse beinhalten, nach ÖVVGW W100 erfolgen.

➤ Umgebungsdaten

Georeferenzierte Informationen zur Verkehrsinfrastruktur, wichtigen Gebäuden, Einflüssen durch die Stadtentwicklung, Grundwasserverhältnisse, Bodenart, usw.

Auch wenn das definierte optimale Datenset in der Praxis nur in Ausnahmefällen zur Verfügung steht, muss ein Minimum der Datenqualität für eine plausible Entscheidungsfindung vorhanden sein. Nach Tscheikner-Gratl (2015) müssen bei Wasserleitungen Informationen zum Leitungstyp (Versorgungsleitung, Hausanschlussleitung, Transportleitung, etc.), Leitungsmaterial, Leitungsdurchmesser, Leitungslänge, Baujahr, Druckstufe und eine langjährige Aufzeichnung und Verortung von Schadensfällen vorhanden sein. Die Anforderungen der Datenqualität an das Kanalnetz unterscheiden sich dahingehend, dass anstatt der Schadensaufzeichnung eine Zustandsbewertung basierend auf einer Kanalinspektion sowie die Kanalart (Schmutzwasser, Regenwasser, Mischwasser) vorhanden sein muss. Im Falle des Straßennetzes ist die Mindestvoraussetzung das Vorhandensein einer

Zustandsbewertung, basierend auf einer visuellen Überprüfung. Genauere Informationen zur Zustandserhebung erfolgen im Kapitel 3.2.

Aufgrund der Herausforderung des Aufbaus einer entsprechenden Datengrundlage für eine plausible Prozessdurchführung, ist neben der Datenakquisition und -aufbereitung auch die Datenrekonstruktion als wichtige Methode des Datenmanagements zu nennen. Es gibt unterschiedliche Methoden zur Datenrekonstruktion, die genaueste und zuverlässigste wäre hierbei die manuelle Bearbeitung durch ExpertInnen, diese ist jedoch aufgrund des enormen Zeitaufwandes in der Praxis kaum umzusetzen. Eine weitere Methode stellt die Extrapolation von Informationen eines repräsentativen Ausschnittes dar, diese ermöglicht jedoch keine Qualitätsbestimmung eines einzigen Netzelementes. Tscheikner-Gratl et al. (2016a) entwickelten eine semi-automatische Methode zur Datenrekonstruktion mit dem Ziel, fehlende Leitungseigenschaften und Schadensraten mit plausiblen Werten zu rekonstruieren. In einem manuellen Aufbereitungsschritt wurde die Datenstruktur durch die Reorganisation einzelner Netzelemente, basierend auf der Netzwerktopologie, verbessert. Die konkrete Datenrekonstruktion erfolgt im Anschluss automatisiert, indem die Verteilung von Leitungsinformationen und -schäden durch Kreuzvergleiche verbessert wurde. Aber auch diese Methode ermöglicht keine Bestimmung des genauen Schadenstyps einzelner Infrastrukturelemente und setzt eine bestimmte Datenverfügbarkeit voraus. Mair et al. (2012) entwickelten einen Ansatz zur Identifizierung von Netzwerksimilaritäten verschiedener Infrastrukturnetzen auf einer „multi-utility“ Basis. Hier steht die Verbesserung der Datenqualität von Ver- und Entsorgungsnetzen sowie die Rekonstruktion fehlender Informationen im Vordergrund. Es werden Netzwerkähnlichkeiten identifiziert, die die Interaktion zwischen Straße, Wasserversorgung und Kanalnetz in einem graphentheoretischen und geometrisch-analytischen Ansatz beschreiben.

3.2 Zustandserhebung von Infrastrukturnetzen

Laut Trülzsch (2015, S. 58) bedeutet der Begriff Inspektion „die Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Einheit. Hierzu gehören insbesondere die Erfassung und Analyse möglichst umfangreicher Informationen zum bestehenden System“. In dieser Arbeit werden die beiden Methoden der Inspektion, Zustandserhebung und Zustandsbeurteilung, separat behandelt. Nach Erhebung des Zustandes erfolgt die Zustandsbewertung, von der sich in weiterer Folge der technische Handlungsbedarf ableitet. Die meist aufwendigen und kostspieligen Verfahren der Zustandserhebung bilden also neben dem Datenmanagement den Grundstein der (integrativen) Planung von Sanierungsmaßnahmen.

Laut Bölke (2013) kann man in Österreich und Deutschland davon ausgehen, dass 35% der erhobenen Daten aufgrund menschlicher Fehler und fehlenden Fachkenntnissen falsch sind.

Deshalb erfüllt die Zustandserhebung, neben der Gewährleistung der Betriebssicherheit und hohen Standards der Trinkwassergüte, die wichtige Rolle der Erhebung, Überprüfung und Korrektur von Bestandsdaten. Durch ein frühzeitiges Erkennen von Störungen können weitreichende Schäden wie Trinkwasser- oder Bodenkontamination, Wasserverluste usw. verhindert werden. Bei der Inspektion von Ver- und Entsorgungsnetzen wird im Allgemeinen die Auffindbarkeit, Zugänglichkeit, Dichtheit, Funktionsfähigkeit und der Betriebszustand sowie die Trinkwasserbeschaffenheit überprüft.

Obwohl verschiedenste moderne Techniken zur Zustandserhebung und -dokumentation der Infrastrukturnetze vorhanden sind, fehlt es an einer einheitlichen Vorgehensweise. Dies ist bereits bei den vielen unterschiedlichen Methoden³ der baulichen Zustandserfassung ersichtlich. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Instandhaltung der Leitungsnetze Wasser und Kanal, bilden das BGBl Nr. 215/1959, Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) und das BGBl Nr. 186/1996, Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV 1996). Die gesetzliche Grundlage zur Erhaltung des Straßennetzes in Österreich bildet das allgemeine bürgerliche Gesetzbuch (ABGB). In allen Gesetzesgrundlagen wird jedoch nicht explizit erwähnt in welcher Form eine Erhebung bzw. Bewertung des Netzzustandes zu erfolgen hat. Festgehalten wird nur, dass die Dokumentation der Ergebnisse der Funktionsfähigkeitsüberprüfung immer in Hinblick auf die Nutzung für die strategische Sanierungsplanung durchgeführt werden muss.

3.2.1 Kanalnetz

Im AAEV 1996 §3 Absatz 5 wird festgehalten, dass die Kanalisation in regelmäßigen Zeitabständen kontrolliert, gewartet sowie auf Bestand und Funktionsfähigkeit überprüft werden muss. In diesem Zusammenhang ist auch eine Dokumentation der Überprüfung und deren Ergebnisse durchzuführen. In der Regel wird eine Kanalinspektion alle 10 Jahre durchgeführt, damit von den Betreibern gewährleistet wird, dass bei Schäden rechtzeitig gehandelt wird. Zusätzliche Inspektionen sind nach der Kanalverlegung sowie nach Sanierungsmaßnahmen notwendig (AAEV 1996). Die Überprüfungen des Kanalnetzes kann auf Basis der ÖNORM EN752-5 in bauliche (Begehung, Schachtinspektion, Kamerabefahrung), hydraulische und umweltrelevante (Dichtheitsprüfung) unterschieden werden (Fuchs und Ertl 2006). Ein vollständiger Zustandserhebungsprozess setzt sich aus folgenden Arbeiten zusammen (Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU) 2010):

³ ISYBAU, ATV-M 143-2, DWA M 149-3, ÖNROM EN 13508-2/A1 (BMLFUW 2013, S. 30).

➤ Vorarbeiten

- Auswahl des Untersuchungsgebietes
- Werden Hausanschlüsse und Schächte separat oder gar nicht inspiziert?
- Erstellung von Inspektionsplänen mit IDs zur eindeutigen Zuordnung von Kanalhaltungen und Schächten.
- Festlegung des Datenformates

➤ Inspektion

- Der Inspektion geht unmittelbar eine Reinigung voraus.
- Automatisierte bzw. manuelle und visuelle Zustandserhebung
- Während der Inspektion sollte bei Unstimmigkeiten, wie dem Leitungsverlauf immer eine Kommunikation mit den Betreibern stattfinden.

➤ Dokumentation

- Die bei der Inspektion angefertigten Haltungs- und Schachtprotokolle sowie Schachtfotos und Haltungsvervideos können aufgrund der vergebenen IDs den Objekten eindeutig zugeordnet und im Anschluss in ein LIS eingepflegt werden.

Bei der Inspektion an sich kann wiederum eine Unterteilung nach dem jeweiligen Inspektionsprogramm getroffen werden (Ahmadi et al. 2014):

➤ Ideale Inspektion

Theoretisches Konzept, da hierbei nur genau jene Kanalelemente untersucht werden, welche einen Schaden aufweisen.

- Alle Bestandsdaten und zustandsbeeinflussenden Faktoren sowie der Leitungsverlauf sind zur Gänze dem Betreiber bekannt. Die anschließende Inspektion baut auf diesen Informationen auf.

➤ Jährlich fortschreitenden Inspektion

Hierbei wird in regelmäßigen Abständen ein festgelegtes Untersuchungsgebiet zur Gänze inspiziert. Diese Methode kommt in der Praxis am häufigsten zum Einsatz.

➤ Inspektion nach Zufallsprinzip

Abbildung 12 zeigt die Einzelemente der Kanalinspektion, sowie deren Abhängigkeiten. Auf der linken Seite sind die Wechselwirkungen zwischen Fachingenieur, Kanalreinigung und Inspektion dargestellt. Die rechte Seite der Abbildung zeigt die Bestandsaufnahme gegeben durch den Kanalkataster und die Netzvermessung. Die Bestandsaufnahme stellt eine wichtige Basis des Gesamtkonzeptes dar, da wichtige Kanal- und Schachtdaten gesammelt

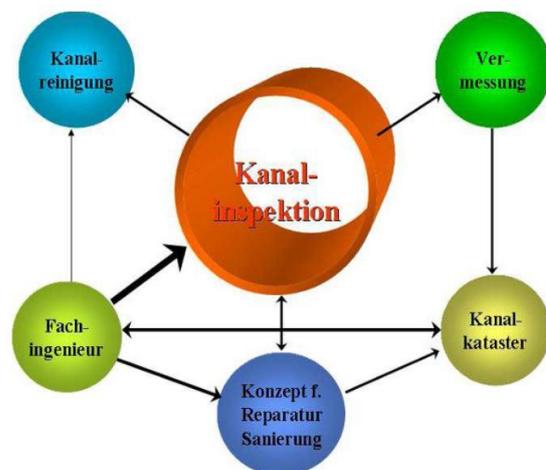


Abbildung 12: Abhängigkeiten bei der Kanalinspektion (Bölke 2013, S. 3)

werden. Nur wenn alle Punkte sinnvoll und sachgemäß abgeschlossen und dokumentiert sind, kann eine effiziente Sanierungsplanung durchgeführt werden (Bölke 2013).

Überblick gängiger Inspektionsmethoden (Fuchs und Ertl 2006)

➤ Kanalbegehung

Eine Inspektion von Kanalhaltung in Form einer Begehung kann nur bei entsprechend großen Leitungsdimensionen erfolgen. Hierbei erfolgt die Inspektion durch eine fachkundige Person mit einer Handkamera. Durch die Kombination der persönlichen Betrachtung und der digitalen Aufzeichnung ergibt sich eine hochwertige Inspektion.

➤ Elektronische Spiegel

Ein elektronischer Spiegel besteht aus einer TV-Kamera, die an einem Stab befestigt in den Schacht gelassen wird. Mittels eines Spezialzooms kann in die Haltung hineingezoomt werden. Das Verfahren ist jedoch nur bei axialem Verlauf der Haltung möglich. Ein Vorteil dieser Methode ist, dass die Haltung ohne Reinigung inspiziert werden kann, wodurch sich der betriebliche Zustand unverfälscht erkennen lässt.

➤ Dreh und Schwenkkopfkamera

Eine dreh- und schwenkbare TV-Kamera befindet sich auf einem manuell steuerbaren Roboter, welche in den Schacht gelassen wird. Durch den beweglichen Teil der Kamera kann die Haltung vom Scheitel über die Seitenbereiche bis zur Decke inspiziert werden.

➤ Panorama System

Bei dem Panorama System wird die TV-Kamera durch einen 3D Kugelbildscanner ersetzt. Es befindet sich jeweils ein digitales Aufnahmegerät vorne und hinten am System, wobei alle 5cm Einzelbilder aufgenommen werden. Mittels einer Software werden die Einzelbilder zu einem Kugelbild zusammengeführt.

➤ Scansystem

In einem gleichmäßigen und unterbrechungsfreien Aufnahmeverfahren wird in einem 190° Winkel eine Komplettansicht des Rohrsystems erstellt. Eine Software generiert im Anschluss aus den analogen Videoaufnahmen eine zweidimensionale Ansicht der Rohrwand sowie eine Frontansicht.

➤ Hausanschlüsse

Obwohl die Länge der Hausanschlüsse meist den größten Teil der Gesamtlänge eines Kanalnetzes ausmacht, spielen sie bei der Inspektion eine untergeordnete Rolle. Dies lässt sich auf historische Gründe zurückführen, da zu Beginn der Kanalinspektion die technischen Mittel

fehlten bei kleinen Haltungsdimensionen eine Inspektion durchzuführen. Eine weitere Herausforderung stellt die meist schwierige Zugänglichkeit und der verwinkelte Verlauf der Hausanschlussleitungen dar. Mittlerweile existieren Kamerasysteme, welche ab einem Leitungsdurchmesser von 50mm eingesetzt werden können.

➤ Druckprüfungen

Bei jenen Leitungen wo aufgrund eines starken Gefälles, geringer Leitungsdurchmesser oder bei Druckleitung keine TV-Inspektion möglich ist, kommen Druckprüfungen zum Einsatz. Undichtheit einer Kanalhaltung zeigt sich in Form von Wasserinfiltration oder Schmutzwasserexfiltration. Das Ausmaß bzw. Auswirkungen dieser ist abhängig von der Haltungsart und der Lage des Grundwasserspiegels. Die Dichtheit einer Kanalhaltung lässt sich mittels einer TV-Inspektion nicht feststellen, weshalb die Dichtheitsüberprüfung neben der Funktionsüberprüfung ein wichtiges Werkzeug für die Zustandsbeschreibung des Kanalnetzes ist. Bei der Druckprüfung kommen folgende Methoden zum Einsatz:

Wasservollfüllung: Diese Methode kommt bei Hausanschlüssen und Schächten zum Einsatz, bei denen kein Druck aufgebaut werden kann. Nachdem die Haltung mit Wasser vollgefüllt wurden, zeigt sich eine Exfiltration durch das Absinken des Wasserspiegels.

Wasserdruckprüfung: Der zu prüfende Teil einer Haltung wird mit Abdichtkörpern verschlossen. Im Anschluss wird die Haltung mit Wasser vollgefüllt, wobei eine Wassersäule von fünf Meter aufgebaut wird. Während der Prüfzeit darf der Wasserverlust einen bestimmten Wert nicht übersteigen.

➤ Schachtbegehung

Wie bei der Inspektion begehrbarer Kanalhaltungen erfolgt hier die Untersuchung durch eine fachkundige Person mit einem Aufnahmeggerät. Das Problem der bemannten Schachtinspektion besteht bei der Sicherheit sowie der Dokumentation der Inspektion, da eine übersichtliche Aufnahme nur vom Schachtdeckel aus möglich ist. Aufgrund der Qualität und der fachlichen Aussage sind die Ergebnisse der Schachtbegehung mit den oben beschriebenen Verfahren der Haltungsinspektion nicht kompatibel.

➤ CUS Roboter

Der CUS Roboter war das erste System zur computergestützten Schachtinspektion. Mittels einer Spezialvorrichtung, welche direkt über den geöffneten Schacht errichtet wird, wird eine Spezialkamera in den Schacht hinabgeführt. Ein integrierter Vermessungslaser ermittelt die Schachtgeometrie und zeitgleich wird ein Video zur Schachtinspektion aufgezeichnet.



Abbildung 13: Kanalbegehung (<http://www.s-u-p-consult.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)

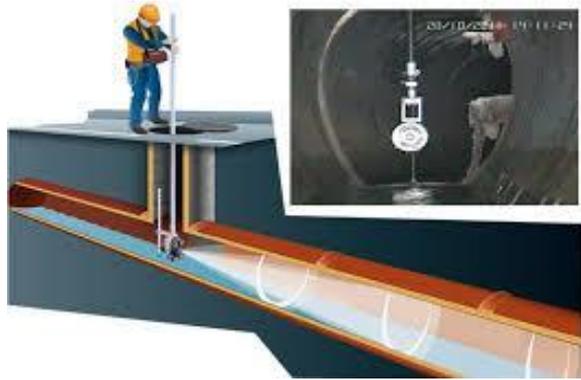


Abbildung 14: Elektronischer Spiegel (<https://www.messen-nord.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)



Abbildung 15: Dreh- und Schwenkkopfkamera (<https://www.ibak.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)



Abbildung 16: Panoramasystem (<https://www.ibak.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)



Abbildung 17: 3D Kugelbildscanner (<https://www.kanal-beyerle.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)

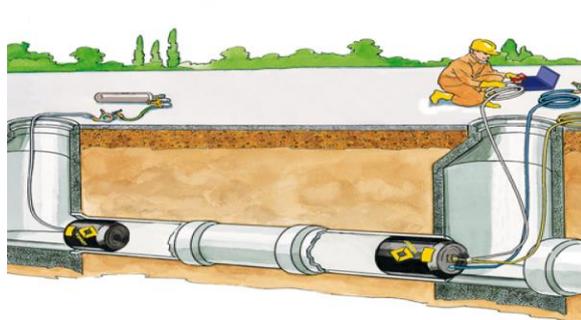


Abbildung 18: Dichtheitsprüfung (<https://www.schwab-rohrundkanal.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)

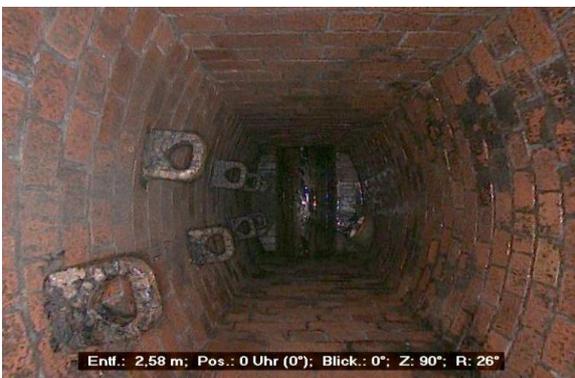


Abbildung 19: Schachtinspektion (<http://www.loenne.de>, letzter Zugriff: 05.08.2018)



Abbildung 20: CUS Roboter (<http://www.bodemann.com>, letzter Zugriff: 05.08.2018)

3.2.2 Wasserversorgungsnetz

Im WRG 1959 §50 Absatz 1 wird geregelt, dass die Betreiber der Wassernetzinfrastruktur ihre Benutzungsanlagen einschließlich der dazugehörigen Leitungen, Gerinne, Wasseransammlungen und allen weiteren Vorrichtungen im entsprechenden Zustand zu erhalten und bedienen haben. Nach § 50 Absatz 3 haben Überprüfungen in Zeitabständen von höchstens fünf Jahren zu erfolgen, sofern besondere Umstände keine kürzeren Zeitabstände erfordern (WRG 1959). Aufgrund der hohen Anforderungen an die Versorgungs- und Betriebssicherheit des Wasserleitungsnetzes, sind Betreiber verpflichtet die Planung, den Bau, Betrieb und die Überwachung aller Anlagenteile nach anerkannten Techniken und Regeln auszuführen. Hierzu zählt die kontinuierliche Dokumentation und Überprüfung der Durchflüsse, Drücke und Daten zur Wassergüte (Horlacher 2018).

Nach Liu und Kleiner (2012) können die Zustandserhebungsverfahren in direkte und indirekte Überprüfungsverfahren unterschieden werden. Bei direkten Methoden erfolgt eine automatische oder manuelle visuelle Inspektion zur Aufnahme der Schadensindikatoren. Bei indirekten Methoden wird das Schadensrisiko durch Wasseruntersuchungen, Schadensstatistiken, Durchflussmessungen und Messungen des Bodenwiderstandes mittels mathematischer Modellierung bestimmt, weshalb auch die Trennung zwischen Zustandserhebung und -bewertung nicht eindeutig definiert werden kann. Im Gegensatz zur Zustandserhebung von Kanalnetzen ist eine optische bzw. direkte Inspektion, aufgrund der hygienischen Bestimmungen und geringeren Leitungsdurchmessern nur bedingt möglich. Eine grobe Bestimmung des äußeren Zustandes kann bei offener Künette in Folge von Baumaßnahmen erfolgen. Bei metallischen Leitungsmaterialien kann mit Hilfe von Ultraschallgeräten die Wanddicke der Leitungen gemessen werden und so Rückschlüsse auf Korrosionserscheinungen gezogen werden. Eine weitere Möglichkeit zur Zustandsfeststellung stellen Leckortungsgeräte wie Ultraschall-, Winkelstrom- oder Magnetstromflussmolche dar. Der Einsatz dieser Geräte kann jedoch nur bei jenen Leitungsnetzen erfolgen, bei denen für die Absperrarmaturen Keilschieber verwendet werden, welche im offenen Zustand den Durchgang der Molche nicht behindern. Diese stellen beim Wasserleitungsnetz aber die Ausnahme dar, weshalb die genannten Leckortungsgeräte meist nur bei Öl- und Gasleitungen zum Einsatz kommen (Gangl 2008), daher werden im folgenden Abschnitt ausschließlich indirekte Erhebungsmethoden beschrieben.

Überblick gängiger Inspektionsmethoden

➤ Schadensrate

Die Schadensrate ist definiert als die jährliche Anzahl der Schäden je Rohrleitungskilometer. Bei Hausanschlüssen und Armaturen bezieht sich die Schadensrate auf eine festgelegte Anzahl

(z.B: 1000 Stück). Neben der digitalen und lagemäßig korrekten Aufzeichnung des Leitungsnetzes erfolgt, nach einer Umfrage von Gangl (2008), bei den meisten Betreibern eine Schadensaufzeichnung seit Mitte der 70er bzw. 80er Jahre. Die Schadenshäufigkeit wird von vielen Betreibern als signifikant für den Netzzustand angenommen, weshalb sie auch die Basis für Sanierungsplanungen darstellt. Nach Horlacher (2018) können Schäden in allen Phasen der Nutzung auftreten. Der Verlauf der Schadenshäufigkeit einer Wasserleitung kann empirisch belegt als „Badewannenkurve“ beschrieben werden (Meerwarth 1994). In der ersten Phase, der Verlegephase, ist aufgrund von Bau- und Materialfehlern mit einer relativ hohen Schadensrate zu rechnen. In der zweiten Phase, die operationelle Nutzung, bleibt der technische Zustand in der Regel konstant. Die dritte Phase beschreibt das Ende der technischen Nutzungsdauer, welche mit einem Anstieg der Schäden einhergeht (Tscheikner-Gratl 2015). Der Funktionsverlauf bildet die Basis vieler Zustands- und Alterungsmodellierungen von Wasserleitungs-, Kanal- aber auch anderen Leitungsnetzen.

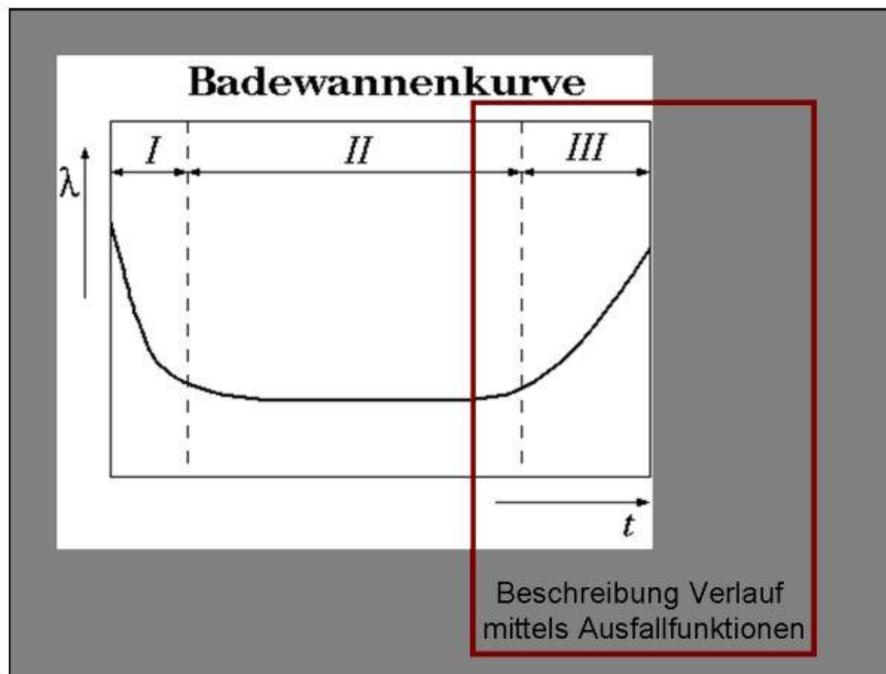


Abbildung 21: Verlauf von Schadenshäufigkeiten bei Leitungsnetzen (Fuchs-Hanusch o.J., S. 2)

Sowohl bei den Leitungen als auch den Armaturen sollte die Dokumentation der Schadensereignisse in Schadensberichten mit Angaben zu Ort, Zeit, Werkstoff, Art, Ursache und Folgen sowie einer ausreichenden Bilddokumentation erfolgen. Die Datenerfassung sollte vollständig, kontinuierlich, ohne Interpretation und für jedes Versorgungsgebiet einheitlich durchgeführt werden. Bei der Überprüfung von Armaturen werden die Merkmale, Funktionsfähigkeit, Zugänglichkeit, Bedienbarkeit, Fremdeinwirkung, Korrosion, Werkstoffalterung, Undichtheit und weitere Defekte durch fachkundige Personen vor Ort erhoben. Laut Horlacher (2018) gilt die Funktionstätigkeit der Armaturen als das wesentlichste

Zustandsmerkmal. Zusammen mit den Bestandsdaten zum Leitungsnetz ermöglicht die gemeinsame Verwaltung in einem GIS bzw. LIS eine spätere Netzbewertung (Horlacher 2018). Die aufgezeichneten Schäden ermöglichen Aussagen über zukünftige Entwicklungen von Leitungsschäden bezogen auf deren Leitungsmaterialien, was zur Bestimmung von Erneuerungsprioritäten führt. Zusätzlich bietet die Aufzeichnung von Schadensraten die Möglichkeit, Parameter mathematischer Bewertungsmodelle zu kalibrieren, wodurch örtliche Gegebenheiten des Schadensverhaltens einzelner Leitungsgruppen besser abgebildet werden können (Gangl 2008).

➤ Wasserverlustanalyse

In der Praxis stellt neben der Erhebung der Schadensrate, die Wasserverlustmessung in Form von Durchflussmessungen die häufigste Methode zur Ermittlung des Netzzustandes dar. Der Wasserverlust ist ebenfalls ein maßgebender Indikator für die Bestimmung des Netzzustandes. Um einen Vergleich und eine mengenmäßige Einordnung des Wasserverlustes zu ermöglichen, erfordert es normierte Vorgaben für Richt- und Grenzwerte, welche von nationalen⁴ und internationalen⁵ Organisationen festgelegt werden. Eine internationale vergleichbare Bestimmung des Wasserverlustes erfolgt über die dimensionslose Kennzahl *ILI* (Infrastructure Leakage Index), welcher wie folgt berechnet wird:

$$ILI = \frac{TIRL}{UARL}$$

TIRL (Technical Indikator real losses) beschreibt die realen Wasserverluste je Haushalt. In diesem fließen die Parameter Anzahl der Hausanschlüsse, durchschnittliche tägliche Wasserverluste sowie die Zeit, in der das Leitungssystem unter Druck steht, ein. *UARL* (Unavoidable average real losses) bezeichnet den technischen, unvermeidbaren realen Wasserverlust. Dieser wird mit folgender empirischer Formel bestimmt:

$$UARL = \frac{Lm}{Nc} + 0,8 + 25 * \frac{Lp}{Nc} * P^n$$

Wobei *Lm* die Länge der Haupt- bzw. Versorgungsleitungen, *Nc* die Anzahl der Hausanschlüsse, *Lp* die Länge der Hausanschlussleitungen, *P* die durchschnittliche Betriebsdruckhöhe und *n* den Einflussfaktor der Rohrmaterialien angibt. Die Bedingung für die Berechnung des *ILI* ist, dass mindestens 3000 Hausanschlüsse im Netz vorhanden sind und dass die Eingangsdaten in einer entsprechenden Qualität vorliegen (Gangl 2008).

⁴ Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW)

⁵ International Water Association (IWA)

3.2.3 Verkehrsnetz

Die Zustandserfassung der Straßennetze wird in der Regel periodisch alle 3-5 Jahre in Abhängigkeit von der Straßenkategorie und -anforderungen durchgeführt (Trülzsch 2015). Die Zustandserhaltung der Straßenflächen stellt einen sehr hohen Investitionsbedarf dar. Um die Finanzmittel für die meist aufwendigen Straßenflächensanierungen möglichst sinnvoll einzusetzen und die zukünftigen Auswirkungen durch (Schwer-)verkehrsbelastung und Klimawandel kalkulierbar zu machen, ist eine genaue Kenntnis über den Straßenzustand notwendig (Weninger-Vycudil et al. 2013). Der Straßenzustand kann mit Hilfe verschiedener Merkmale und den in Zusammenhang stehenden Schäden beschrieben werden. Merkmale sind neben dem Oberflächenmaterial auch die Straßenkategorie, Verkehrsmenge, der Verkehrsfluss und die Verkehrszusammensetzung. Schadensmerkmale werden anhand der Indikatoren Ebenheit, Griffigkeit und Substanz beschrieben (Trülzsch 2015). Schäden treten in diesem Zusammenhang in unterschiedlichen Ausprägungen und Umfang auf, so dass eine Vielzahl an Informationen im Zuge der Zustandserhebung aufgenommen werden müssen.

Überblick gängiger Inspektionsmethoden (Weninger-Vycudil et al. 2013)

➤ Visuelle Zustandsaufnahme

Die visuelle Zustandsaufnahme in Form einer Begehung bzw. Befahrung des Untersuchungsgebietes durch ein fachkundiges Personal, kommt meist bei kleineren Straßennetzen zum Einsatz. Die kostengünstigere Methode erfolgt durch eine sensitive Beurteilung der Schadensauswirkungen. Die visuelle Schadensaufnahme kann entweder durch Protokollierung mit entsprechender Fotodokumentation oder durch eine Videoaufnahme und anschließender EDV-gestützter Auswertung erfolgen.

➤ Einsatz von Messgeräten

Bei größeren Netzen oder im Falle hoher Qualitätsansprüche, hat sich die Methode der visuellen Zustandsaufnahme als unwirtschaftlich erwiesen. Der Einsatz von Messgeräten zur Schadenserfassung von Straßenflächen führt zu einer erhöhten Objektivität, Reproduzierbarkeit und ermöglicht eine zusätzliche Informationsaufnahme durch die Positionierung aller Messdaten wie Verkehrszeichen und Bodenmarkierungen. Zudem erfolgt eine kontinuierliche Aufnahme hochauflösender Bilder und Videos der gesamten Straßenoberfläche, welche zur nachträglichen Kontrolle der Auswertung zur Verfügung steht. Die eingesetzten Werkzeuge sind Messlatte und Keil, Planum (Profilschreiber), Lasersysteme, Planographen, Georadar sowie kontinuierliche Messungen mittels schnellfahrender Messfahrzeuge. Zusätzlich kann eine Ermittlung der Länge und Breite der Schäden mittels eines Messrades erfolgen.



Abbildung 22: Visuelle Zustandserhebung (<https://www.bs-ing.ch/referenzen/?gf=&ort=&jahr=&referenzid=1553>, letzter Zugriff: 07.08.2018)



Abbildung 23: Zustandserhebung mittels Planum (39471359-Griffigkeit-und-ebenheit-von-deckbelaeagen-und-fgso.html, letzter Zugriff: 07.08.2018)



Abbildung 24: Zustandserhebung mittels Messlatte (<https://www.kleinezeitung.at/steiermark/muerztal/> letzter Zugriff: 07.08.2018)



Abbildung 25: Zustandserhebung mittels Planograph (47069566-Bauliche-ausgabe-di-r-veit-egeberer-di-dr-m-buchta-di-p-furtner-eine-grundlage-fuer-das-erhaltungs-management-der.html, letzter Zugriff: 07.08.2018)



Abbildung 26: Zustandserhebung mittels Georadar (http://www.geoleipzig.de/images/file/gf2010_f3_2.pdf, letzter Zugriff: 07.08.2018)



Abbildung 27: Zustandserhebung mittels Schnellfahrender Messsysteme (https://mwvlw.rlp.de/fileadmin/isim/Unsere_Themen/Verkehr/Dokumente/Erlaeuterungen_zur_ZEB_2012.pdf, letzter Zugriff: 07.08.2018)

3.3 Zustandsbewertung von Infrastrukturnetzen

Im folgenden Kapitel werden die Methoden und Modelle der Zustandsbewertung der einzelnen Infrastrukturnetze beschrieben. Im Optimalfall kann zur Durchführung von integrativen Sanierungsmaßnahmen auf eine Zustandsbewertung durch ExpertInnen auf Basis einer im Kapitel 3.2 beschriebenen Zustandserhebungsmethode zurückgegriffen werden. Da dieser Optimalfall in der Praxis aufgrund der hohen Anforderungen an die Datenverfügbarkeit und Datenqualität bei vielen Betreibern nicht gegeben ist, wird zusätzlich auf Alternativbewertungsmethoden eingegangen. Hierbei wird versucht, auf Basis der materialabhängiger Nutzungsdauer, einen Netzzustand zu ermitteln.

3.3.1 Kanalnetz

Im Anschluss der zuvor beschriebenen Zustandserhebungen erfolgt eine Auswertung der erstellten Protokolle, Videoaufnahmen und Fotos eines Fachingenieurs in Form einer Beurteilung. Die hierfür verwendeten Bewertungsmodelle können in Substanzwertmodelle und Modelle zur Bewertung des größten Einzelschadens eingeteilt werden. Bei Substanzwertmodellen wird die Gesamtsubstanz des Kanalobjektes betrachtet, wobei alle Schäden in die Bewertung miteinfließen. Der detaillierten Bewertung der Gesamtbetrachtung, steht ein hoher Arbeitsaufwand gegenüber. Als Beispiel wäre das Bewertungsmodell „STATUS“ zu nennen. Der hierbei vorgenommenen Zustandsbeschreibung folgt eine Schadensklassifizierung, wobei die festen Grenzen der Zustandsklassen durch kontinuierliche Übergänge ersetzt werden, um einer realitätsnahen Zustandsabbildung näherzukommen. Der Zustand des Kanalobjektes wird von der Schwere des Einzelschadens abgeleitet. Bei der „Bewertung des größten Einzelschadens“ ist der Einzelschaden mit den größten Auswirkungen maßgebend für die schlussendliche Zustandsklassifikation des Kanalobjektes. Im Anschluss an die Zustandserhebung erfolgt eine gesonderte Zustandsklassifizierung für jeden Einzelschaden bezüglich Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit in Abhängigkeit von der Schadensart und dem Schadensausmaß. Der hier schlechteste ermittelte Zustandswert führt zur Gesamtbewertung des Kanalobjektes. Diese Bewertungsmodelle führen im Allgemeinen zu weniger genauen Ergebnissen als Substanzwertmodelle (Trülzsch 2015).

Als Stand der Technik der Zustandsbewertung von Entwässerungssystemen in Deutschland aber auch in Österreich gilt die europäische Norm EN 13508-2 zur „Erfassung des Zustandes von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Codiersysteme für die optische Inspektion“. Die Norm definiert ein verbindliches Codiersystem zur Dokumentation der Zustände im Zuge der optischen Inspektion von Kanalhaltungen, -leitungen, -schächten und Inspektionsöffnungen. Der EN-Code besteht aus einem dreistelligen Hauptcode, einer Spezifizierung der Zustände, einer Angabe zur Lage des Schadens mit Uhrzeitreferenz und einer Bezugnahme zur Rohrverbindung sowie einer Anmerkung der Begutachterin bzw. des

Begutachters. Die auf Basis des erhobenen EN-Codes durchgeführte Klassifizierung hat durch einen Fachingenieur bzw. einer Ziviltechnikerin zu erfolgen. Hierbei sei erwähnt, dass es trotz der europäischen Norm keine vereinheitlichte Klassifizierungsmethode gibt. Die am häufigsten eingesetzten Klassifizierungsmodelle sind das DWA-M 149-3 und ISYBAU 2006. Die beiden Modelle sind zwar im Grundaufbau identisch, unterscheiden sich jedoch in einer gegenläufigen Nummerierung der Zustandsklassen und in bestimmten inhaltlichen Aussagen (siehe Tabelle 3). Die Zustandsklassifizierung erfolgt in beiden Modellen auf Basis von Kriterienmodellen, in denen Grundkriterien zur Materialbeschaffenheit, Nennweite, Undichtheit etc. vorgeschrieben werden, welche für die Klassifizierung des Einzelschadens herangezogen werden. Im Anschluss kann mit Hilfe von Berechnungsschemata eine Gesamtklassifizierung der Kanalobjekte durchgeführt werden. Nach EN 13508-2 erfolgt diese Klassifizierung nach den bereits erwähnten Kriterien: Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit (Bölke 2013).

Tabelle 3: Zustandsklassifizierung der Bewertungsmodelle ISYBAU 2006 und DWA-M 149-3 (Fischer und Scholz 2013)

ISYBAU 2006	Zustandsklasse	DWA-M 149-3
Kein Handlungsbedarf - mängelfrei	0	Starker Mangel (Gefahr in Verzug)
Ohne unmittelbaren Handlungsbedarf	1	Starker Mangel
Langfristiger Handlungsbedarf	2	Mittlerer Mangel
Mittelfristiger Handlungsbedarf	3	Leichter Mangel
Kurzfristiger Handlungsbedarf	4	Geringfügiger Mangel
Umgehender Handlungsbedarf	5	Keine Mängel

ISYBAU 2006

ISYBAU umfasst neben des bereits erwähnten Bewertungsmodells ein standardisiertes Austauschformat für einen datenverarbeiteten Austausch zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Das ISYBAU-Austauschformat im XML-Format hat zum Ziel hohen fachlichen und gesetzlichen Anforderungen zur Erfassung und zum Austausch von abwassertechnischen Daten, im Hinblick einer einheitlichen Bestandsdokumentation, Folge zu leisten (Fischer und Scholz 2013).

Nach ISYBAU 2006 unterscheidet man im Bewertungsprozess zwischen bautechnischer und hydraulischer Zustandsklassifizierung. Die hydraulische Zustandsklassifikation soll mit Hilfe möglichst weniger Kennzahlen die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes beschreiben. Die bautechnische Zustandsklassifizierung und -bewertung berücksichtigt bauliche, betriebliche und umweltrelevante Gefährdungsaspekte. Deren Ziel ist es einen

Überblick des Netzzustandes, basierend auf den erhobenen Daten der optischen Inspektion und den daraus generierten EN-Codes der DIN EN 13508-2, zu gewinnen.

Abbildung 28 zeigt die Vorgehensweise der Zustandsklassifizierung und -bewertung nach ISYBAU 2006. Grundsätzlich kann der Ablauf in die Schritte Zustandsklassifizierung zur Klassifizierung des Einzelzustandes, Zustandsbewertung zur Bewertung der Randbedingungen des Einzelzustandes und der eigentlichen Zustandsbeurteilung des Kanalobjektes eingeteilt werden.

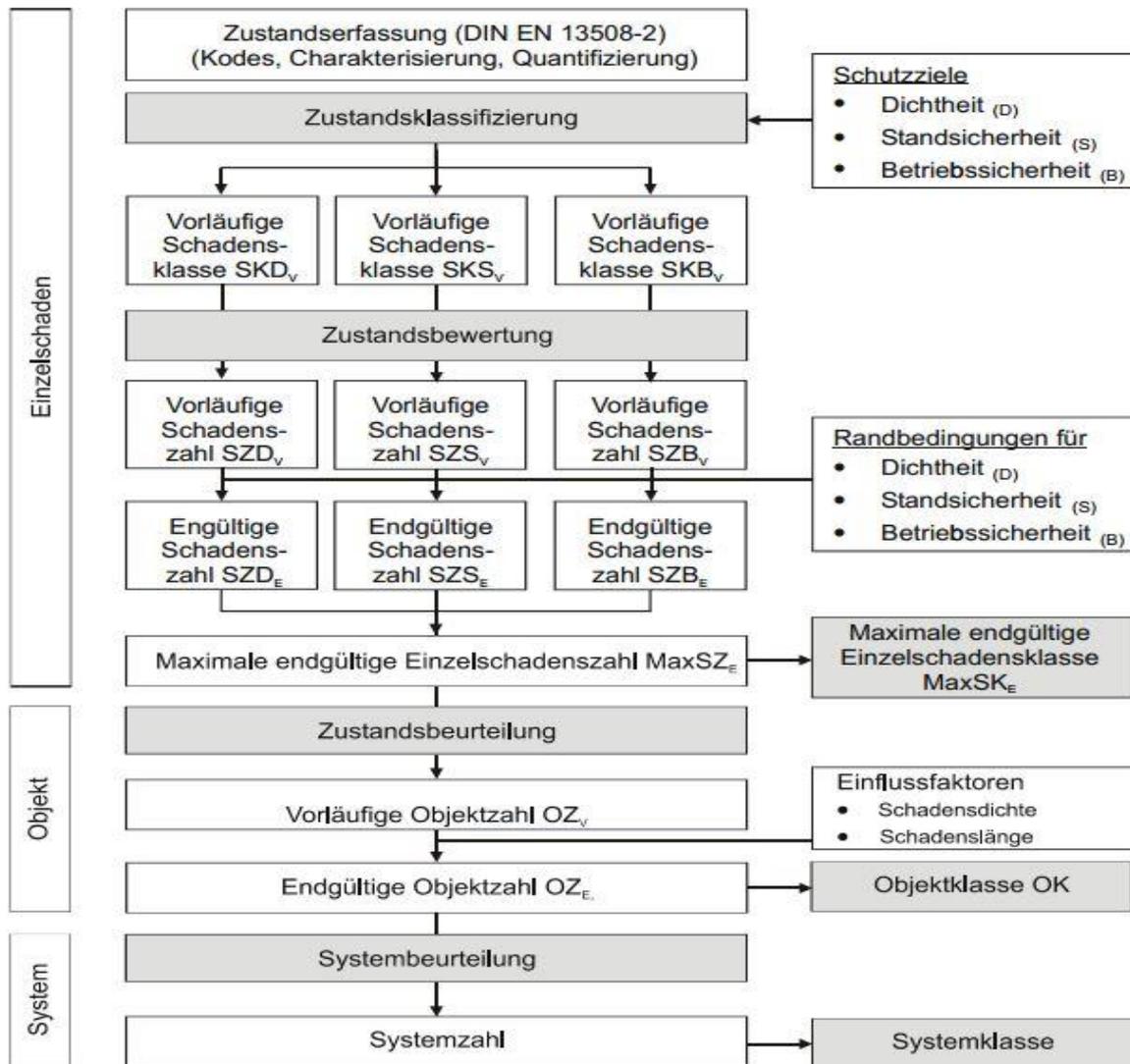


Abbildung 28: ISYBAU 2006: Vorgehensweise bei der Zustandsklassifizierung und -bewertung (Fischer und Scholz 2013, S. 205)

Bei der Zustandsklassifizierung erfolgt jeweils eine Zustandsbeschreibung für die genannten Schutzziele Dichtigkeit, Standsicherheit und Betriebssicherheit, in Abhängigkeit der Schadensart und dem Schadensausmaß. Das Ergebnis sind vorläufige Schadensklassen im Schulnotensystem. Die anschließende Transformation der vorläufigen Schadensklassen in vorläufige Schadenszahlen SZD_v (Dichtigkeit), SZS_v (Statik), und SZB_v (Betrieb) ist in Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: ISYBAU 2006: Ermittlung der vorläufigen Schadenszahl (Fischer und Scholz 2013, S. 207, 208)

Vorläufige Schadensklasse	Vorläufige Schadenszahl
1	10
2	100
3	200
4	300
5	400

Zur vorläufigen Schadenszahl werden auf das Schutzziel bezogene und in Abhängigkeit von den lokalen Randbedingungen (Entwässerungsart, Abwasserart, Wasserschutzzonen, Grundwasserabstand, etc.) Zusatzpunkte addiert. Die dadurch erhaltenen endgültigen Einzelschadenszahlen beziehen sich auf jeden Einzelschaden und geben den Wert für jedes Schutzziel SZD_E (Dichtheit), SZS_E (Statik), und SZB_E (Betrieb) an. Die Ermittlung erfolgt in Abhängigkeit von der endgültigen Einzelschadenszahl gemäß Tabelle 5:

Tabelle 5: ISYBAU 2006: Ermittlung der endgültigen Einzelschadensklasse (Fischer und Scholz 2013, S2 210, 211)

Endgültige Einzelschadenszahl	Endgültige Einzelschadensklasse
10 – 99	1
100 – 199	2
200 - 299	3
300 - 399	4
>= 400	5

Die endgültige Einzelschadensklasse stellt lediglich ein Zwischenergebnis dar, welches keinen weiteren Einfluss auf den Bewertungsprozess hat. Falls sie für andere Bearbeitungsschritte benötigt wird, kann sie dem ISYBAU-Austauschformat entnommen werden. Das größte Gefährdungspotential eines Einzelschadens, in Abhängigkeit von der Schadensart, Schadensumfang und den örtlichen Randbedingungen, ergibt sich schutzzielübergreifend aus der maximal endgültigen Einzelschadenszahl ($MaxSZ_E$) und der maximal endgültigen Einzelschadensklasse ($MaxSZ_K$). Diese stellen die größte, auf ein Schutzziel bezogenen Einzelschadenszahlen, dar.

Im letzten Schritt erfolgt die Zustandsbeurteilung als Verdichtung der Klassifizierungs- und Bewertungsergebnisse auf das Kanalobjekt. Diese Beurteilung erfolgt schutzzielübergreifend und kommt der Aufstellung einer Prioritätenliste der Sanierungsbedürftigkeit gleich. Die hierfür berücksichtigten Parameter sind der größte Einzelschaden aus Zustandsklassifizierung und -bewertung, die Dichte, das Ausmaß sowie die Längenausdehnung aller Einzelschäden eines Kanalobjektes. Hieraus leitet sich die vorläufige Objektzahl OZ_v ab, welche der größten maximalen endgültigen Einzelschadenszahl eines Objektes entspricht. Zur Ermittlung der

Schadenssituation des gesamten Objektes wird für jeden Einzelschaden die $MaxSZ_E$ mit der Längenausdehnung multipliziert, wodurch man die Schadenslängenzahl (SL_z) erhält. Anschließend können mit den Parametern SL_z , OZ_v sowie der Inspektionslänge bei Haltungen und der Schachttiefe bei Schächten, Zusatzpunkte zur Berücksichtigung der Schadensdichte bestimmt werden. Die Objektklasse (OK) erfolgt schlussendlich mit Hilfe der in Tabelle 6 angegebenen Klassengrenzen und gibt Auskunft über die Sanierungsdringlichkeit abwassertechnischer Anlagen (Fischer und Scholz 2013).

Tabelle 6: ISYBAU 2006: Ermittlung der endgültigen Objektklasse zur Zustandsbewertung nach ISYBAU 2006 (Fischer und Scholz 2013, S.213, 214)

Endgültige Objektzahl	Objektklasse
0	0
10 - 99	1
100 - 199	2
200 - 299	3
300 - 399	4
≥ 400	5

Alternativbewertung

Ist eine Zustandsbewertung basierend auf eine der im Kapitel 3.2.1 beschriebenen Zustandserhebungsmethoden nicht möglich, muss zur Umsetzung einer integrativen Sanierungsplanung auf eine alternative Bewertungsmethode zurückgegriffen werden. Es soll hiermit die Möglichkeit gegeben sein, eine vergleichbare Zustandsklassifikation basierend auf verfügbaren Bestandsdaten durchzuführen. Vorne weg sollte jedoch erwähnt werden, dass die Aussagequalität einer Alternativbewertung vielfach geringer ist, als jene der ISYBAU 2006 Bewertungsmethode. Da die Modelle keine örtlichen Gegebenheiten und Randbedingungen in Form von Umwelteinflüssen beinhalten, sollten die Ergebnisse immer kritisch hinterfragt werden. Eine mögliche Schlussfolgerung einer schlechten Zustandsklasse wäre, dass dieser Kanalhaltungsabschnitt das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht hat und im Zuge einer genauen Inspektion untersucht werden sollte. Diese Annahmen bieten im Sinne der integrativen Betrachtung, bei eingeschränkter Datengrundlage einen Überblick über den Gesamtzustand des Kanalnetzes.

Die Methode von Trülsch (2015) basiert auf den Bestandsdaten Material und Alter des Kanalnetzes. Aus Umfragewerten bei Abwasserbetreibern, Werkstoffanalysen sowie praktischen Untersuchungen hat Trülsch (2015) materialabhängige, durchschnittliche Nutzungsdauern von Kanalhaltungen ermittelt. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt und bilden

die Basis der alternativen Kanalzustandsbewertung. Anhand dieser drei Faktoren kann mit folgender Formel der Kanalzustand ermittelt werden:

$$Z_{i,W} = A_{i,W} * \frac{ZB_{max}}{TND_W} + 0,5$$

Hierbei gibt $Z_{i,W}$ den Zustandswert und $A_{i,W}$ das Ist- Alter des jeweiligen Leitungsabschnittes an. ZB_{max} steht für die maximal mögliche Zustandsbewertung im definierten Wertebereich und TND_W für die mittlere technische Nutzungsdauer einer Leitung in Abhängigkeit vom Material.

Tabelle 7: Materialtechnische Nutzungsdauer von Abwasserleitungen (Trülsch 2015, S. 213)

Leitungsmaterial	Intervall Technische Nutzungsdauer [a]	Durchschnittliche Nutzungsdauer [a]
Beton, Stahlbeton, Ortbeton	43 – 80	60
Polymerbeton	43 – 65	50
ST	70 – 100	85
GGG	50 – 90	70
GFK	50 – 80	60
Kunststoff (PE, PVC)	45 – 77	55

3.3.2 Wasserversorgungsnetz

Im Falle der Wasserbewertung stellen die beschriebenen Zustandserhebungsmethoden zugleich auch Bewertungsverfahren dar, da Angaben zu Wasserverlusten und Schadensraten in Prozent, Aufschluss über den Netzzustand geben. Nach Kropp und Herz (2005) stellen Entwicklungen der Schadensrate eine aussagekräftigere Kennzahl für den Netzzustand dar, als die Anzahl der Schäden. Der Grund hierfür liegt in der starken Korrelation der Leitungslänge mit der Schadensanzahl. Die Schadensrate ergibt sich aus der absoluten Anzahl der Schäden dividiert durch die Leitungslänge in einem definierten Bezugszeitraum, welcher üblicherweise mit einem Jahr angegeben wird. Diese Kennzahl lässt sich für die Bezugsebenen Einzelleitung, Leitungsgruppen (Gruppierung nach Material, Baudatum oder Durchmesser) und das Gesamtnetz berechnen. Hieraus können für die Netzbetreiber, Entscheidungshilfen und Sanierungsstrategien abgeleitet werden (Kropp und Herz 2005). Der Einsatz der Schadensraten zur Bestimmung des Netzzustandes wird auch in den Regelwerken ÖVGW W 100 und ÖVGW W 63 der österreichischen Vereinigung für Gas- und Wasserfach für die Zustandsbeschreibung eines Netzes vorgeschlagen. Jedoch gilt auch hier, dass keine konkreten Verfahren angegeben werden, sondern nur grundsätzliche Anforderungen an Ablauf und Randbedingungen der Rehabilitation.

Eine Herausforderung für integrative Sanierungsplanung bergen die unterschiedlichen Klassifizierungsansätze der einzelnen Zustandsbewertungen, insbesondere die Angabe der Schadensrate in Prozent. Für die spätere Modellierung des Gesamtzustandes muss die Vergleichbarkeit mit den Zustandsbewertungen im Schulnotensystem der Kanal und Straßenbewertung geschaffen werden. Zu diesem Zweck wird in diesem Kapitel das Bewertungsmodell PiReM beschrieben, welches eine Zustandsbewertung in einem vordefinierten Wertebereich, auf Basis von Schadensparametern ermöglicht.

PIREM

Das „Pipe Rehabilitation Management“ (PiReM) Softwarepaket stellt ein Entscheidungshilfesystem zur Planung von Rehabilitationsmaßnahmen von Leitungsinfrastrukturen dar. Im Speziellen betrifft dies jene Leitungssysteme, bei denen der Zustand durch direkte Inspektionsmethoden schwer zu beschreiben ist.

Nach der Übernahme der verfügbaren Leitungsdaten in das PiReM Datenbanksystem erfolgt eine Plausibilitätsprüfung. Im Anschluss wird das Leitungsnetz in homogene Leitungsgruppen ähnlicher Strukturen unterteilt. Dies erfolgt nach den Hauptcharakteristika Material, Durchmesser, Korrosionsschutz und Baudatum. Fehlende Informationen, welche für die spätere Zustandsbewertung benötigt werden, werden durch Standardgruppen und Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Untersuchungen ergänzt. Das Softwarepaket besteht aus zwei voneinander abhängigen Modulen:

➤ Langfristige Rehabilitationsplanung

Hierbei wird der jährliche Rehabilitationsbedarf der einzelnen Leitungsgruppen über die Berechnung der jährlichen Schadensrate abgeschätzt. Neben der jährlichen Rehabilitationsrate in Prozent können so auch die betroffenen Leitungsgruppen in Meter abgeleitet werden, welche einen Schaden aufweisen. Zur Ermittlung der notwendigen Rehabilitationsrate, wird der Alterungsprozess der Leitungsgruppen mittels bestimmter Funktionen modelliert, welche mit Hilfe von Schadensstatistiken und Expertenwissen gebildet werden.

➤ Mittelfristige Rehabilitationsplanung

Mit Hilfe der mittelfristigen Rehabilitationsplanung wird der notwendige Handlungsbedarf durch einen definierten Kriterienkatalog bestimmt. Dieser setzt sich aus Richtwerten und Bewertungen für technische und wirtschaftliche Kriterien nach dem DVGW W 401 des Deutschen Vereins für Gas- und Wasserfachmänner zusammen. Aus der Kombination dieser Kriterien mit der bestimmten Abweichung von den Richtwerten, leitet sich der Wertebereich der endgültigen Zustandsbewertung ab. Aus der Zustandsbewertung kann eine Prioritätenliste generiert werden, welche die Dringlichkeit eine Leitung zu sanieren angibt. Diese hängt

von den einzelnen Kriterien wie Korrosion, Verkehr, Material und Durchmesser sowie deren Gewichtung ab (Fuchs-Hanusch et al. 2008).

Alternativbewertung

Liegen keine Schadensparameter wie Wasserverluste oder Schadensraten vor und wurden auch keine zeitlich und meist finanziell aufwendigen Zustandsbewertung mittels computergestützter Bewertungsmodelle durchgeführt, kann analog zum Kanal eine Abschätzung des baulichen Zustandes mit Hilfe der technischen Nutzungsdauer erfolgen. Die Berechnung der Zustandsklassen erfolgt nach der gleichen Berechnungsmethode wie bei Kanalnetzen. Die Werte der materialabhängigen technischen Nutzungsdauer können aus Tabelle 8 entnommen werden. Bei diesen Werten handelt es sich um Durchschnittswerte, welche aus einer Betreiberumfrage, praktischen Untersuchungen und Literaturangaben ermittelt wurden.

Tabelle 8: Materialtechnische Nutzungsdauer von Wasserleitungen (Trülzsch 2015, S. 213)

Leitungsmaterial	Intervall Technische Nutzungsdauer [a]	Durchschnittliche Nutzungsdauer [a]
GG	70 - 110	90
GGG	55 – 108	85
ST	60 – 90	75
B	60 – 80	70
AZ	45 – 70	60
PE	35 – 85	65
PVC	30 – 55	45

Eine Verbesserung der Alternativbewertung kann vor allem durch die Integration von Expertenwissen erfolgen. Dieses Wissen fließt in die Modellierung der materialabhängigen Lebenszeiten und der lokalen Gegebenheiten, wie (Schwer)verkehrsbelastung, Bodenaggressivität usw. ein. Diesen Ansatz verfolgen Scholten et al. (2013) indem das Überlebensmodell für Rehabilitationsprognosen direkt aus dem Expertenwissen generiert wird. Diese Methode stellt im Vergleich zur Nutzungsdauermodellierung, basierend auf historischen Schadensraten, wesentlich geringere Anforderungen an den Umfang und die Pflege der Datensätze. Die Herausforderung hierbei besteht dahingehend, die gesammelten Informationen aus Expertenbefragungen so zu aggregieren, dass sie in eine Gleichung integriert werden können. Hierbei wurde festgestellt, dass einfachere Aggregationsmethoden wie das gewichtete arithmetische Mittel im Vergleich zu komplexen Methoden keine wesentlichen Ergebnisunterschiede zur Folge haben. In einer Untersuchung wurden acht Experten bzw. Expertinnen unabhängig voneinander zur den Nutzungsdauern einzelner

Leitungsgruppen befragt. Hierbei wurde zum einen festgestellt, dass diese Angaben zu einem Großteil mit denen aus der Literatur übereinstimmen und zum anderen, dass die Kombination dieses Wissens mit mathematischen Modellen bei begrenzter Datengrundlage zu einer Verbesserung der Ergebnisqualität führen. Dies ist auf den Einfluss von Modellparameter in dem Bewertungsprozess zurückzuführen, welche ohne Integration des Expertenwissens ignoriert werden müssten (Scholten et al. 2013).

3.3.3 Verkehrsnetz

Vergleichbar mit der Bewertung von Kanal- und Wassernetzen liegt auch bei der Straßenbewertung kein einheitliches und verpflichtendes Regelwerk vor. Auch das Regelwerk FGSV E EMI der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen stellt nur grundlegende Anforderungen, welche als Hilfestellungen herangezogen werden können, zu Verfügung. Basierend auf den Vorgaben der FGSV E EMI werden den messtechnisch erfassten Zustandsgrößen, dimensionslose Zustandsnoten zugewiesen. Nach ihrer Gewichtung sowie dem Einbezug von Substanz- und Gebrauchswerten, erfolgt die Bestimmung von Zustandsklassen (Trülzsch 2015). Für die Bewertung des Straßenzustandes kann der Oberflächenzustand und/oder eine komplette Analyse des Schichtenaufbaus durch eine Bohrkernanalyse erfolgen. Aufgrund der höheren Genauigkeit wäre die Bohrkernanalyse vorzuziehen, da hierbei jedoch mit einem hohen Aufwand zu rechnen ist, kommt sie in der Praxis zur Bewertung eines großflächigen Straßennetzes kaum zum Einsatz (Trülzsch 2015). Als Beispiele für eine Zustandsbewertung der Straßenoberfläche nach dem FGSV E EMI, werden in diesem Kapitel die Bewertungsmethoden „SEP Maerschalk“ und „Eagle Eye“ beschrieben. Am häufigsten zum Einsatz kommt jedoch die beschriebene Alternativbewertung auf Basis einer visuellen Zustandserhebung.

Bewertungsmethoden nach FGSV E EMI

➤ SEP Maerschalk

Das Ingenieurbüro Maerschalk führt nach Vorgaben des FGSC visuelle Zustandserfassung nach den in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Methoden durch oder bietet Schulungen für kommunale MitarbeiterInnen zur eigenen Durchführung der Zustandserhebung an. Ziel ist eine möglichst objektive Erfassung des Straßenzustandes. Dies wird durch einen Bewertungsbogen nach FGSC E EMI bewerkstelligt, welcher im Anschluss in ein eigens entwickeltes Bewertungsmodell eingearbeitet wird und so zur Ermittlung der Zustandsklassen beiträgt.

➤ Eagle Eye

Eagle Eye ermöglicht die Erhebung des Straßenzustandes mit mobilen Messgeräten, welche mit Kameras und Laserscannern ausgestattet sind. Auf Basis der erhobenen Ebenheits- und Substanzmerkmalen erfolgt die Bestimmung von Gebrauchs- und Zustandswerten und in weiterer Folge eine Ableitung von Zustandsklassen nach FGSV E EMI.

Alternativbewertung

Liegt keine Zustandsbewertung nach FGSV Regelwerk E EMI vor, kann aufgrund zahlreicher Unsicherheiten bei der Zustandsbewertung von Straßen, nicht auf eine durchschnittliche technische Nutzungsdauer zurückgegriffen werden. Nach Trülzsch (2015) ist die einzig sinnvolle Alternativmethode eine eigenständige visuelle Zustandserhebung und eine anschließende Bewertung. Die Struktur des eigenen Bewertungsverfahrens ergibt sich aus den Zielen des Erhaltungsmanagements, welches sich mit dem Erhalt der Sicherheit, des Komforts, der Substanz und der Minimierung negativer Umwelteinflüsse beschäftigt. Ziel der Zustandsbewertung ist die erhobenen Informationen zu einer sinnvollen und übersichtlichen Anzahl repräsentativer Kenngrößen zusammenzufassen.

Nach Weninger-Vycudil et al. (2013) kann die Oberfläche des Straßenzustandes durch verschiedene Zustandsmerkmale, wie in Tabelle 9 angegeben, beschrieben werden. Abhängig von der Detailliertheit der Zustandserfassung, kann eine Beurteilung in Form einer Klasseneinteilung im Schulnoten- oder Ampelsystem erfolgen.

Tabelle 9: Zustandsbeurteilung der Straßenoberfläche (Weninger-Vycudil et al. 2013, S.17, 18)

Ebenheit	Zustandsbeurteilung	Risse und andere strukturelle Schäden
Keine Unebenheit vorhanden	1	Keine Schäden vorhanden
Vereinzelt kleine Unebenheiten (Spurrinntiefe < 5mm), keine Nutzungsbeeinträchtigung gegeben	2	Vereinzelt kleine Schäden, keine Nutzungsbeeinträchtigung gegeben
Unebenheiten erkennbar (Spurrinntiefe >= 5mm), keine Nutzungsbeeinträchtigung gegeben	3	Schäden unterschiedlicher Art erkennbar (Ausbrüche, Ablösung, Risse) aber keine Nutzungsbeeinträchtigung und/oder strukturelle Beeinträchtigung gegeben
Ausgeprägte Unebenheiten, Nutzungsbeeinträchtigung z.B.: in Form von Spritzwasser gegeben	4	Umfangreiche Schäden erkennbar (Ausbrüche, Schlaglöcher, offene Risse, Fugenschäden). Nutzungsbeeinträchtigung und/oder maßgebende strukturelle Beeinträchtigungen gegeben
Stark ausgeprägte Unebenheiten in Form von Aufwölbungen, starke Nutzungsbeeinträchtigung z.B: in Form von Aquaplaninggefahr gegeben	5	Großflächige Schäden erkennbar (Schlaglöcher, Abplatzungen, Netzkrisse) starke Nutzungsbeeinträchtigung und starke strukturelle Beeinträchtigung gegeben

Nach dieser Bewertungsmethode kann ebenfalls eine Beurteilung der Gehsteige, Radwege und Randeinfassungen erfolgen. In der praktischen Umsetzung dieses Bewertungsverfahrens kann eine Unterteilung nach folgenden Teilwerten, auf Basis der Ziele des Erhaltungsmanagements, getroffen werden:

➤ **Gebrauch Fahrbahn**

Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts

➤ **Substanz Fahrbahn**

Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit des Straßenoberbaus

➤ **Gehsteig**

Beschreibung der Sicherheit, Komforts und strukturellen Beschaffenheit

➤ Radweg

Beschreibung der Sicherheit, Komforts und strukturellen Beschaffenheit

➤ Randeinfassung

Beschreibung des Zustandes

Unter Rücksichtnahme auf die Wichtigkeit der einzelnen Teilbereiche in Form von Gewichtungen, kann ein Gesamtwert für den Straßenzustand, wie in Abbildung 29 ermittelt werden (Weninger-Vycudil et al. 2013).

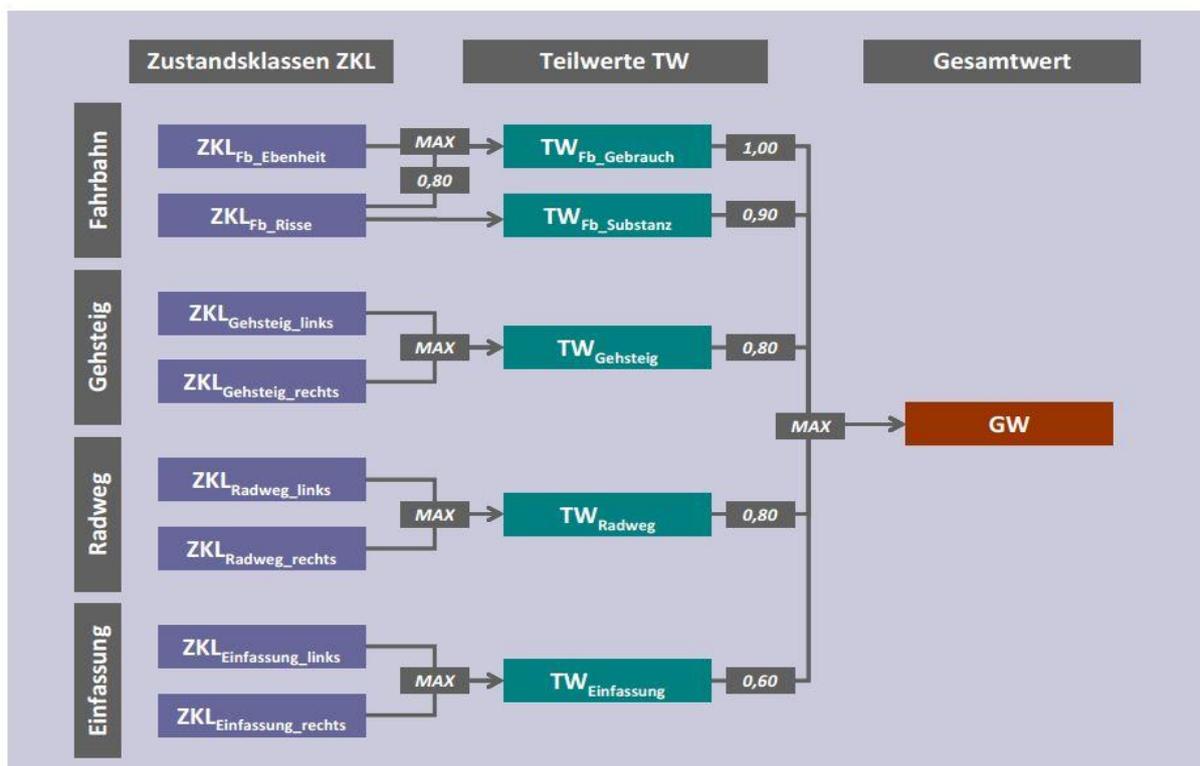


Abbildung 29: Gesamtbewertung des Straßenzustandes (Weninger-Vycudil et al. 2013, S. 23)

3.4 Zustandsprognose der Infrastrukturnetze mit Hilfe von Alterungs- bzw. Verschlechterungsmodellen

Die zuvor beschriebenen Zustandsbewertungen spiegeln den Ist-Zustand der Infrastrukturnetze wider, wodurch die Netzbetreiber Sofortmaßnahmen ableiten können. Die gewonnenen Informationen reichen jedoch nicht aus, um eine längerfristige Sanierungsplanung durchzuführen. Bei der Durchführung integrativer Sanierungsmaßnahmen kommt hinzu, dass die einzelnen Netzbetreiber unterschiedliche Zeit- und Budgetpläne haben, was die Umsetzung kurzfristiger integrativer Rehabilitationsverfahren nahezu unmöglich macht. Für diese Herausforderung werden Zustandsprognosen mit Hilfe von Verschlechterungs- bzw. Alterungsmodelle der jeweiligen Infrastrukturnetze auf Basis des Ist-Zustandes benötigt.

Mit Alterung eines Infrastrukturnetzes ist die Verschlechterung des baulichen Zustandes gemeint und beschreibt somit den Verbrauch der baulichen Substanz bis hin zum vollständigen Verlust des Substanzwertes⁶. Mit Hilfe der in diesem Kapitel beschriebenen Alterungsmodelle wird die quantitative Verschlechterung des baulichen Zustandes im zeitlichen Ablauf beschrieben. Es soll also die Restnutzungsdauer der Infrastrukturnetze bestimmt werden. Durch Addition des Alters mit der errechneten Restnutzungsdauer lässt sich das technische Nutzungsende berechnen, auf Basis dessen die Planung von Sanierungsmaßnahmen erfolgen kann. Das Ergebnis ist somit eine prognostizierte Angabe des zukünftigen Netzzustandes in Form von Zustandsklassen oder eine indirekte Ableitung durch die Angabe von Rehabilitationsraten oder Schadenswahrscheinlichkeiten (DWA 2008). Ana und Bauwens (2010) fassen die wesentlichen Vorteile von Alterungsmodellen wie folgt zusammen:

- Vermeidung vorzeitiger Anlagenausfälle
- Risikomanagement im Zusammenhang mit Anlagenausfällen und der Schadensminimierung im Falle von Ausfällen
- Genaue Vorhersage der zukünftig benötigten Finanzmittel zu Sanierung
- Verbesserung von Instandhaltungs- und Sanierungsstrategien

Trotz der beschriebenen Vorteile, der ausführlichen Behandlung in der Literatur und dem Nachweis eines erfolgreichen Einsatzes in der Praxis (vgl. Tscheikner-Gratl 2015), kommen Alterungsmodelle bei Netzbetreibern nur selten zum Einsatz. Eine Untersuchung in den USA und Großbritannien von Friedl (2014) zur Verwendung computergestützter Entscheidungshilfetools auf Basis von Zustandsprognosemodellen bei Wasserleitungsnetzen hat gezeigt, dass nur 30% der Leitungsbetreiber auf diese Möglichkeit zurückgreifen. In Österreich dürfte dieser Anteil noch viel geringer sein. Nach Kley und Caradot (2013) ist dieses Defizit darauf zurückzuführen, dass die Genauigkeit der Zustandssimulationen noch nicht ausreichend demonstriert wurde und das nötige Vertrauen fehlt, öffentliche Gelder auf Basis der erstellten Prognosen zu investieren. Die größte Herausforderung stellt die hohe Komplexität der Modelle aufgrund zahlreicher zustandsbeeinflussender Faktoren, wie das Alter, Leitungsmaterial, Verlegetiefe und weitere statistische Parameter dar. Die Verfügbarkeit dieser Daten in ausreichender Qualität stellt laut Tscheikner-Gratl (2015) eine zusätzliche Herausforderung zur Anwendung von Prognosemodellen dar. Neben statistischen Einflussparametern sind auch Umweltparameter wie Klimainformationen, Populationswachstum, Demographischer Wandel sowie die Urbanisierung und Stadtentwicklung zu berücksichtigen. Diese werden unter der Gruppe physikalische bzw. mechanische Einflussparameter zusammengefasst. Sie sind in ihrer

⁶ Materieller Wert eines Infrastrukturnetzes unter Berücksichtigung seines Alters und den vorhandenen Mängeln (DWA 2008).

Erhebung noch aufwendiger und kostspieliger. Des Weiteren fehlen meist benötigte historische Aufzeichnungen der Betreiber. Nach Kleiner und Rajani (2001) kommen daher ausschließlich statistische Einflussfaktoren bei Alterungsmodellen zum Einsatz, weshalb physikalische/mechanische Einflussparameter auch in diesem Kapitel nur am Rande erwähnt werden.

Nach Ana und Bauwens (2010) lassen sich Alterungsmodelle in physische, statistische und auf künstlicher Intelligenz basierender Modelle unterteilen. Grundsätzlich unterscheiden sich die Modelle in der mathematischen Beschreibung der Alterung, den Datenanforderungen sowie den benötigten Kalibrierungsverfahren. Mit Hilfe von physikalischen Modellen wird durch Vereinfachung der in der Natur auftretenden Mechanismen versucht, den komplexen Verschlechterungsprozess zu modellieren (Friedl 2014). Einsatz von Methoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz versuchen den Netzzustand auf Basis neuronaler Netzwerke vorherzusagen. Es werden die mathematischen Beziehungen zwischen den Verschlechterungsfaktoren und des Netzzustandes durch Erlernen des Verschlechterungsverhaltens untersucht (Kley und Caradot 2013). Im Vergleich zu physischen und auf künstlicher Intelligenz basierender Modelle, ist der Aufwand des Datenmanagements bei statistischen Modellen noch überschaubar. Statistische Modelle können in deterministische und wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle unterschieden werden. Deterministische sind meist Zeitregressionsanalysen, die auf linearen oder exponentiellen Funktionsansätzen basieren. Da sie jedoch nur Schadensraten auf einzelne Leitungsgruppen vorhersagen können, kommen sie eher selten zum Einsatz (Tscheikner-Gratl 2015). Die am häufigsten eingesetzten Modelle sind statistische Modelle des wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes. Sowohl Friedl (2014) als auch Ana und Bauwens (2010) kommen zu dem Ergebnis, dass dieser Ansatz bei einer Berechnung der prognostizierten Schadensauftretswahrscheinlichkeit bei Wasserleitungsnetzen und der Bewertung des baulichen Zustandes über die Netznutzungsdauer von Kanalnetzen dem Vorzug zu geben ist.

3.4.1 Einflussfaktoren auf den Verschlechterungsprozess von Infrastrukturnetzen

Die Eingangsdaten aller Alterungsmodelle sind Zustandsbewertungen und Informationen zu den Einflussfaktoren der Alterungsprozesse. Je nach Einsatz und Verfügbarkeit der Eingangsdaten ermöglichen die Ergebnisse der beschriebenen Modelle die Entwicklung von Langzeitsanierungsplänen und Budgetplanungen, sowie die Planung wann, wo und wie eine Sanierung eines individuellen Infrastrukturelementes stattfinden soll (Kley und Caradot 2013).

Grundsätzlich verschlechtert sich der Zustand einer Infrastruktur mit der Zeit. Die Verschlechterungsrate hängt jedoch von der Bauweise, dem Betrieb und bestimmten Umweltfaktoren ab. Die Vielzahl der Einflussfaktoren führen dazu, dass unterschiedliche Leitungs-

gruppen unterschiedliche Alterungsverhalten aufweisen was zur Folge hat, dass eine alte Kanalhaltung nicht zwangsläufig einen schlechteren Zustand als eine neue aufweisen muss. Ziel sollte sein, möglichst viele dieser Faktoren als Variablen in den Modellen, aber auch zur Kalibrierung dieser, zu berücksichtigen. Die Einflussfaktoren können nach Kley und Caradot (2013) in 3 Gruppen eingeteilt werden:

➤ Baufaktoren

Alter, Material, Verlegetiefe, usw.

➤ Betriebsfaktoren

Wartung

➤ Umweltfaktoren

Grundwasserspiegel, Verkehrsbelastung, Bodenverhältnisse, usw.

Aufgrund des Einsatzes in der Praxis, der Verfügbarkeit und der Aussagekraft liegt wie bereits erwähnt der Fokus auf den Bau- bzw. statistischen Faktoren. Die unterschiedlichen Bauweisen und lokalen Gegebenheiten führen dazu, dass die einzelnen Faktoren schwer miteinander vergleichbar sind. Auf Basis von Literaturangaben nach Kley und Caradot (2013) sowie Friedl (2014) wurde jedoch versucht die signifikantesten Einflussfaktoren auf den Alterungsprozess von Kanal- und Wasserleitungssystemen zu identifizieren und zu beschreiben. Zu beachten ist, dass die Einflussfaktoren nicht zur Ursachenklärung der Verschlechterung herangezogen werden, sondern zur Feststellung von Korrelationen im Verschlechterungsprozess und zur Identifikation von Umständen, die den Verschlechterungsprozess beschleunigen. Die wichtigsten Faktoren sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Bau- bzw statistische Einflussfaktoren auf den Alterungsprozess von Kanal- und Wasserleitungssystemen nach Kley und Caradot (2013) und Friedl (2014)

	Einflussfaktor	Beschreibung	Literaturquelle
Kanal	Material	Beeinflusst Reaktion auf gegebene Umweltfaktoren was zu einer unterschiedlichen materialabhängigen Nutzungsdauer führt.	Kley und Caradot (2013),
	Durchmesser	Grundsätzlich gilt, je größer der Durchmesser desto geringer die Schadensanfälligkeit. Bei Untersuchungen wurden jedoch auch gegenteilige Ergebnisse festgestellt.	
	Verlegetiefe	Grundsätzlich gilt, je tiefer desto geringer die Schadensanfälligkeit. Ab einer bestimmten Tiefe ist jedoch der Erddruck zu berücksichtigen.	
	Lage	Einfluss durch Landnutzung und Verkehr	
	Kanalfunktion	Aggressives Abwasser kann Korrosion und Erosion beeinflussen.	
	Alter	Alter gibt Aufschluss über verwendete Technologien und Standards bei der Verlegung, und bildet die Basis der Bestimmung der Nutzungsdauer.	
	Form, Länge, Bodenaggressivität, etc.	Wurden bis dato zu wenig untersucht, um aufschlussreiche Angaben tätigen zu können.	
Wasser	Rohrmaterial	Rohrmaterialien weisen in Abhängigkeit der Einflussfaktoren unterschiedliche Schadensauftrittswahrscheinlichkeiten auf.	Friedl (2014)
	Rohrdurchmesser	Anstieg des Leitungsdurchmesser führt zur Verringerung von Schadensauftrittswahrscheinlichkeiten, da der Rohrdurchmesser als Ersatzgröße für die Rohrwandstärke herangezogen werden kann, welche mit der Größe des Durchmessers steigt.	
	Alter	Vgl. Kanal. In mehreren Literaturquellen wird jedoch auf den fehlenden linearen Zusammenhang zwischen Alter und Schadenshäufigkeit verwiesen. Untersuchungen zeigen, dass das Alter kein alleiniges Kriterium für den Zustand darstellt	
	Korrosionsschutz, Bettungsmaterial, Bodenaggressivität, Druckzone, etc.	Wurden bis dato zu wenig untersucht, um aufschlussreiche Angaben tätigen zu können.	

3.4.2 Spezielle Auswahl von Alterungs- bzw. Verschlechterungsmodellen

Im folgenden Abschnitt werden die am häufigsten in der Literatur aufgegriffenen Alterungsmodelle beschrieben, welche auch die Basis der meisten computergestützten Entscheidungshilfetools darstellen. Es handelt sich hierbei ausschließlich um statistische Prognosemodelle. Es wird versucht die anfallenden Unsicherheiten bei Prognosen unter Verwendung von Wahrscheinlichkeitstheoretischen Gleichungen zu berücksichtigen, indem das Verschlechterungsverhalten mit historischen Zustandsdaten in Beziehung gesetzt wird (Kley und Caradot 2013).

Kohorten Überlebensmodell

Das Kohorten Überlebensmodell entstammt aus der demographischen Forschung zur Prognose bestimmter Personengruppen. Indem homogene Leitungsgruppen, sogenannte Kohorten, auf Basis gleicher Verschlechterungsfaktoren gebildet werden, lässt sich dieser Ansatz auch für Infrastrukturnetze verwenden. Die Anwendung des Modelles auf Kanal und Wassernetze liefert jedoch aufgrund der unterschiedlichen Inspektionsarten verschiedene Ergebnisse. Während bei den Wasserleitungen die Lebenserwartung bis zum Leitungstausch vorausgesagt wird, kann beim Kanal der Übergang zwischen den einzelnen Zustandsklassen bestimmt werden (Tscheikner-Gratl 2015).

Kanalnetze durchlaufen während ihres Lebenszyklus verschiedene Zustände. Hierbei wird angenommen, dass die einzelnen Kohorten mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Zeit in einem Zustand bleiben. Der Übergang eines Zustandes in den nächst schlechteren wird beim Kohorten Überlebensmodell mittels Übergangsfunktionen simuliert. Diese muss für jede Kohorte eigens kalibriert werden, wofür mehrere Verteilungen wie die Weibull-, Gompertz- und Herzverteilung zur Verfügung stehen. In den häufigsten Fällen wird hierzu die Herzverteilung verwendet, da diese eigens zur Modellierung des Verschlechterungsverhältnisses von Leitungsnetzen entwickelt wurde. Der Verschlechterungsvorgang wird hierbei gemäß der bereits erwähnten Badewannenkurve modelliert (siehe Abbildung 21). Die Kalibrierung der Funktion erfordert Daten zum Baujahr, Inspektionsdatum sowie Zustandsbeurteilungen einer repräsentativen Stichprobe von Kanalobjekten jeder gebildeten Kohorte. Folgende Gleichung beschreibt den Übergang eines Zustandes i in den nächst schlechteren (Kley und Caradot 2013):

$$S(t)_{i \rightarrow i+1} = \frac{a_{i \rightarrow i+1} + 1}{a_{i \rightarrow i+1} + e^{b_{i \rightarrow i+1}(t - c_{i \rightarrow i+1})}}$$

Mithilfe der Formel wird der Anteil der Haltungen im Alter t , welche bis zum Zustand i oder mehr überlebt haben berechnet, wobei a den Alterungsfaktor, b den Übergangparameter und c die Widerstandszeit angibt. Es gilt, dass je größer a ist desto langsamer der Übergang in die nächste Zustandsklasse, je größer b desto schneller der Übergang in die nächste Zustands-

klasse. Die Widerstandszeit bestimmt das Alter, wenn keine weitere Verschlechterung stattfindet. Die Parameter a , b und c zur Berechnung der Übergangsfunktion $S(t)_{i \rightarrow i+1}$ können durch die durchschnittliche technische Nutzungsdauer, die Standardabweichung, die Schätzung des Kohortenalters sowie durch Angaben von Experten bestimmt werden. Sie müssen jedoch für jedes Netz angepasst und individuell bestimmt werden (Tscheikner-Gratl 2015). Bei Wasserleitungsnetzen werden dieser Parameter aus den Versorgungsdaten mit Hilfe historischer Schadensaufzeichnungen bestimmt (Kleiner und Rajani 2001).

Abbildung 30 zeigt eine kalibrierte Übergangsfunktion und stellt die Zustandsprognose eines realen Datensatzes dar. Von einer Leitungsgruppe mit einem Durchschnittsalter von 50 Jahren und einer Zustandsbeurteilung 3, erreicht die erste Leitung der Gruppe nach 48 Jahren und die letzte nach 105 Jahren den schlechtesten Zustand. Hieraus leitet sich eine durchschnittliche Übergangszeit von 80 Jahren ab. Die Vorhersage des Verschlechterungsverhaltens sind Durchschnittswerte aller Kanalelemente einer Kohorte. Zustandsprognosen individueller Kanalelemente sind also nicht möglich. Es können jedoch langzeitige strategische Planungen von Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden, da das Kohorten Überlebensmodell die Alterung des gesamten Netzes wiedergibt (Kley und Caradot 2013).

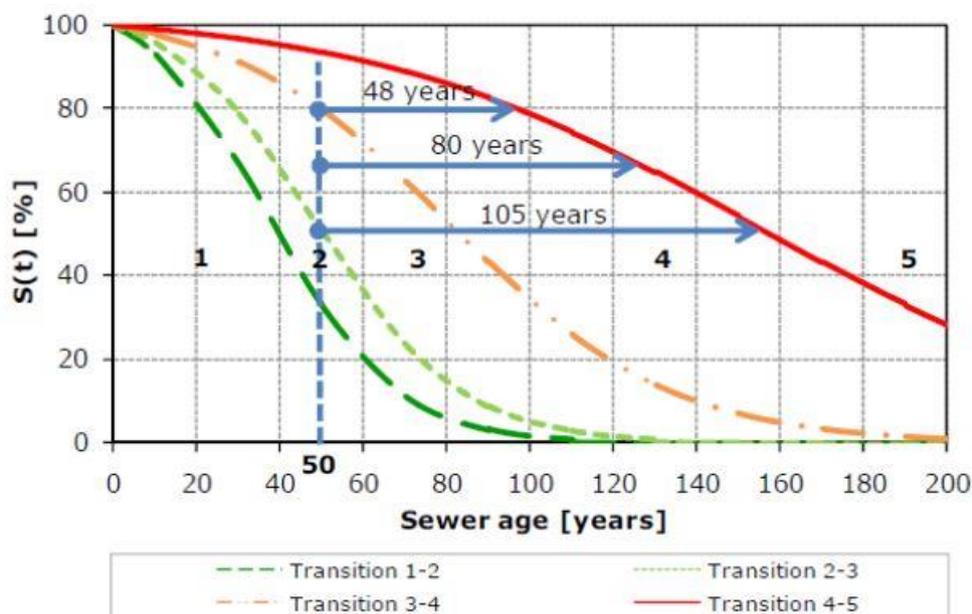


Abbildung 30: Kohorten Überlebensmodell: Übergangsfunktion und Zustandsprognose eines Kanalnetzes (Kley und Caradot 2013, S. 19)

Der größte Vorteil des Kohorten Überlebensmodells liegt in seiner konzeptionellen und rechnerischen Einfachheit. Als größte Herausforderung gilt die Verfügbarkeit einer ausreichenden Datenbasis zur Bildung homogener Kohorten, weshalb die Qualität der Ergebnisse mit der Anzahl der Kanalnetzelemente steigt (Kley und Caradot 2013).

(Semi-) Markov Modell

Das Markov Modell bzw. die Markov Kette ist ein stochastischer Prozess, der das Verhalten von Systemen beschreibt, die eine endliche Anzahl von möglichen Zuständen annehmen können. Es ist ein Zufallsprozess, der auf der Annahme basiert, dass die Vorhersage eines zukünftigen Zustandes ausschließlich vom aktuellen abhängt. Bei Wasserversorgungsnetzen stellt hierbei jeder Rang der vergangenen Schadensreihenfolge eines Leitungsabschnittes, einen Zustand dar (Kleiner und Rajani 2001). Bei jedem Zeitschritt kann der Zustand in den nächst schlechteren übergehen oder gemäß einer gegebenen Wahrscheinlichkeit in demselben verbleiben. Diese Übergangswahrscheinlichkeit wird als $m \times m$ Matrix $Q_{(t,t+1)}$ ausgedrückt, wobei m die Anzahl der möglichen Zustände angibt. Zu Vereinfachung wird angenommen, dass jeder Zustand nur in den nächst schlechteren übergehen kann (Kley und Caradot 2013).

$$Q_{(t,t+1)} = \begin{bmatrix} q_1(t, t + 1) & 1 - q_1(t, t + 1) & 0 & 0 \\ 0 & q_i(t, t + 1) & 1 - q_i(t, t + 1) & 0 \\ 0 & 0 & q_{m-1}(t, t + 1) & 1 - q_{m-1}(t, t + 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Hierbei gibt $q_i(t, t + 1)$ die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Haltung im Zeitraum t bis $t+1$ in der Zustandsklasse i bleibt. Und $1 - q_i(t, t + 1)$, dass eine Haltung im Zeitraum t bis $t+1$ in den nächst schlechteren Zustand übergeht. Vergleichbar zum Kohorten Überlebensmodell wird die Übergangswahrscheinlichkeit aus der Zustandsüberlebensfunktion für homogene und vordefinierte Leitungsgruppen errechnet. Das Markov Modell unterscheidet sich jedoch dahingehend, dass die Verschlechterungsfaktoren in der mathematischen Definition der Überlebensfunktion enthalten sind. Abbildung 31 zeigt die Überlebensfunktion welche mit Inspektionsdaten kalibriert wurde und visualisiert den Zustandsvektor $p(t)$ im Alter von 100 Jahren. Der Zustandsvektor gibt die

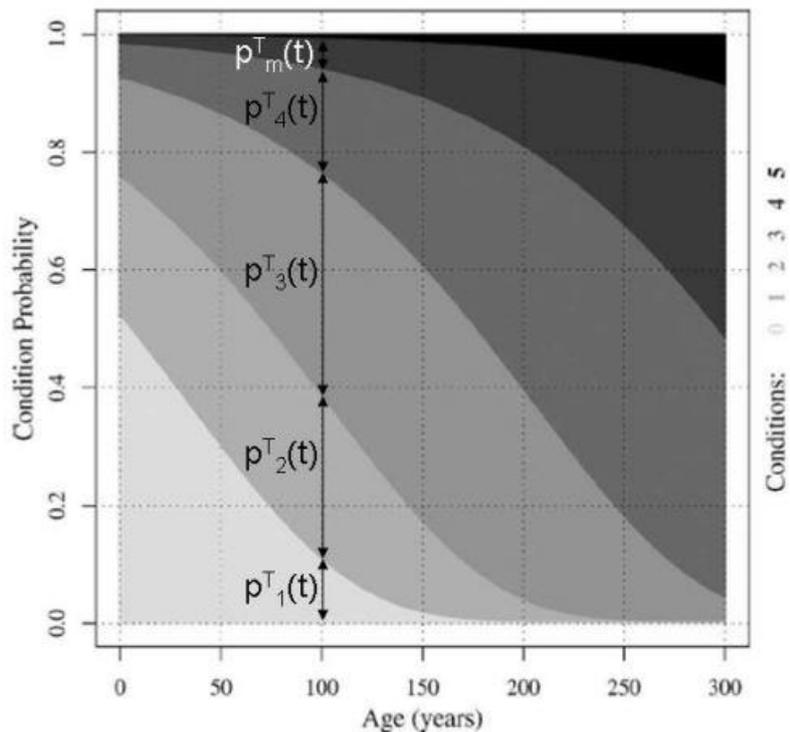


Abbildung 31: Markov Modell (Kley und Caradot 2013, S. 21)

Zustandsvektor gibt die

Wahrscheinlichkeit des Zustandes zum Zeitpunkt t gemäß der Überlebensfunktion an. Der Wahrscheinlichkeitsvektor $p(t + 1)$ kann durch Multiplikation des Zustandsvektors für den aktuellen Zustand mit der Übergangsmatrix $Q_{(t,t+1)}$ berechnet werden.

Mit dem Markov Modell können Prognosen von individuellen Netzabschnitten bestimmt werden. Die Anzahl der Kohorten kann im Vergleich zum Kohorten Überlebensmodell aufgrund der Integration der Verschlechterungsfaktoren in die Überlebensfunktion reduziert werden. Zur Bestimmung und Kalibrierung gilt jedoch auch beim Markov Modell eine hohe Anforderung an Datenverfügbarkeit und -qualität (Kley und Caradot 2013).

Logistische Regression

Die Methode der (binären) logistischen Regression ermöglicht die Bestimmung von Schadenswahrscheinlichkeiten eines individuellen Leitungsobjektes. Sie ist eine spezielle Art der Regressionsanalyse, welche zur Vorhersage des Ergebnisses eine kategorische Variable wie den Netzzustand verwendet. Die kategorischen voneinander abhängigen Variablen können beispielsweise als guter und schlechter Zustand definiert werden. Für die Modellkalibrierung wird ein binäres Ergebnis aus den vorliegenden Zustandsklassen geschätzt. So stellen beispielsweise die schlechtesten zwei Klassen den fehlerhaften Zustand und alle anderen einen guten Zustand dar. Durch folgende Formel werden bei der (binären) logistischen Regression, die abhängigen Variablen in den natürlichen Logarithmus der Ausfallwahrscheinlichkeit transformiert (Kley und Caradot 2013):

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Hierbei gibt p die Wahrscheinlichkeit einer Haltung an, einen guten Zustand und die Gegenwahrscheinlichkeit $(1 - p)$ einen schlechten Zustand zu haben. Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird mit Hilfe des Versatzes und der Neigung der Regression, sowie der unabhängigen Variable X_i (Verschlechterungsfaktoren) berechnet.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Schadenswahrscheinlichkeit für einzelne Elemente der Infrastrukturnetze bestimmt werden kann. Da die Verschlechterungsfaktoren identifiziert werden und diese eine direkte Korrelation mit dem Zustand aufweisen, ermöglicht die (binäre) logistische Regression ein besseres Verständnis des Verschlechterungsprozesses. Laut Tscheikner-Gratl (2015) ist die Datenanforderung im Vergleich zu anderen Alterungsmodellen geringer. Zur Ermittlung des Regressionskoeffizienten ist jedoch eine entsprechende Datenverfügbarkeit und -qualität der Verschlechterungsfaktoren erforderlich. Als Nachteil der Methode ist die Bestimmung der abhängigen Variablen zu sehen, da hierfür ein a-priori Verständnis des allgemeinen Verschlechterungsprozesses notwendig ist (Tscheikner-Gratl

2015). Des Weiteren ist nach Kley und Caradot (2013) die (binäre) logistische Regression, zwischen Zustandsbewertungen und den abhängigen Variablen, nicht immer in der Lage den komplexen Verlauf des Verschlechterungsprozesses darzustellen.

Bayes'sche Diagnosemodell

Wie alle statistischen Methoden zur Vorhersage von Wasserleitungsschäden, basiert auch das Bayes'sche Diagnosemodell auf historischen Schadensaufzeichnungen, um ein bestimmtes Schadensmuster zu identifizieren. Dieses Muster wird verwendet, um zukünftige Schadensraten bzw. Schadenswahrscheinlichkeiten zu prognostizieren. Der zugrundeliegende Ansatz des Bayes'schen Diagnosemodells ist die Schadenswahrscheinlichkeit eines Leitungsegmentes welche sich auf 3 Faktoren bezieht:

- Netzweite Schadenswahrscheinlichkeit:

$$P_f = \frac{\sum \text{Segmente mit mindestens einem Schaden im Jahr}}{\sum \text{Summe der Segmente}}$$

- Wahrscheinlichkeit bestimmte Kriterien eines schadhafte Segmentes zu identifizieren

$$P_{c|f} = \frac{\sum \text{Segmente mit bestimmten Kriterien und mindestens einem Schaden im Jahr}}{\sum \text{Summe der Segmente mit mindestens einem Schaden im Jahr}}$$

- Wahrscheinlichkeit diese Kriterien bei funktionstüchtigen Segmenten (nf) zu identifizieren

$$P_{c|nf}$$

Die bestimmten Kriterien c werden durch die Kombination individueller Leitungseigenschaften wie Alter, Durchmesser und Segmentlänge definiert. Gemäß des Bayes'schen Wahrscheinlichkeitstheorems wird die Schadenswahrscheinlichkeit P wie folgt bestimmt (Kleiner und Rajani 2001):

$$P(\text{Schaden} | \text{Kriterium}) = \frac{P_{c|f} * P_f}{P_{c|f} * P_f + P_{c|nf}(1 - P_f)}$$

Wenn der Wert für die Schadenswahrscheinlichkeit P signifikant größer oder kleiner ist als die netzweite Schadenswahrscheinlichkeit P_f , dann beschreiben die bestimmten Kriterien eine hohe bzw. geringe zukünftige Schadensrate. Nähert sich P P_f an, ist das Set der Kriterien für Diagnosen ungeeignet.

Die Methode basiert auf simplen und robusten mathematischen Gleichungen, denen eine Einteilung des Leitungsnetzes in homogene Gruppen gemäß bestimmten Kriterien vorausgeht. Es werden nicht die Zeitpunkte des Schadens berücksichtigt, sondern die kumulative Anzahl

im Analysezeitraum. Da das Ergebnis des Bayes'schen Diagnosemodells die Prognose von Schadenswahrscheinlichkeiten ist, eignet sich das Modell eher zur Analyse zukünftiger Sanierungskosten als für die detaillierte Planung von Langzeitstrategien (Kleiner und Rajani 2001).

Lebenszyklusanalyse zur Prognostizierung von Straßenzuständen

Die Zukunftsplanung der Erhaltungsmaßnahmen von Straßennetzen kann nach Weninger-Vycudil et al. (2013) nach folgenden Methoden unterschieden werden:

- Subjektive Einschätzung des Straßenerhalters
- Einfache Dringlichkeitsreihung auf Basis des Straßenzustandes
- Dringlichkeitsreihung auf Basis einer Lebenszyklusanalyse

Die subjektive Einschätzung durch den Straßenerhalter entspricht nicht dem aktuellen Stand der Technik, da sie auf keiner vorausgehenden Straßenzustandsbewertung basiert. Bei vorhandener Straßenzustandsbewertung kann eine einfache Dringlichkeitsreihung relativ schnell und einfach durchgeführt werden. Da jedoch keine Zustandsänderungen über die Zeit berücksichtigt werden, eignet sie sich nur für kurzfristige Analysen. Eine langfristige Planung von Erhaltungsmaßnahmen sollte nach Weninger-Vycudil et al. (2013) ausschließlich auf Basis einer Lebenszyklusanalyse erfolgen. Sie stellt den aktuellen Stand der Technik dar und ist ein weltweit verbreitetes Verfahren zur Beurteilung von Verhaltensaktivitäten von Straßennetzen unter Berücksichtigung der Veränderung des Straßenzustandes. Der grundlegende Ablauf der Lebenszyklusanalyse beläuft sich auf folgende Schritte (Weninger-Vycudil et al. 2013):

- Durchführung der Zustandsprognose für jedes einzelne Zustandsmerkmale jedes Straßenabschnittes.
- Berechnung der Teilwerte und des Gesamtwertes zu jedem Zeitpunkt der Analyseperiode.
- Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen unter Heranziehung der Anwendungsmatrizen zu jedem Zeitpunkt der Analyseperiode.
- Erstellung einer Strategieliste für jeden einzelnen Straßenabschnitt.
- Wirtschaftlichkeitsbeurteilung der Erhaltungsstrategien (Kosten-Nutzen-Berechnung).
- Optimierung unter Heranziehung unterschiedlicher Budgetszenarien und des Gesamtwertes zur Auswahl optimaler Erhaltungsstrategien.

Wie bei den zuvor beschriebenen Modellen zur Beschreibung des Verschlechterungszustandes von Leitungsnetzen, basiert auch die Anwendung der Lebenszyklusanalyse auf Verhaltensfunktionen. Abbildung 32 zeigt eine mögliche Verhaltensfunktion von Zustandsmerkmalen. Anhand dieser Funktion können zu jedem Zeitpunkt Teil- aber auch Gesamtwerte des Straßenzustands bestimmt werden (Weninger-Vycudil et al. 2013).

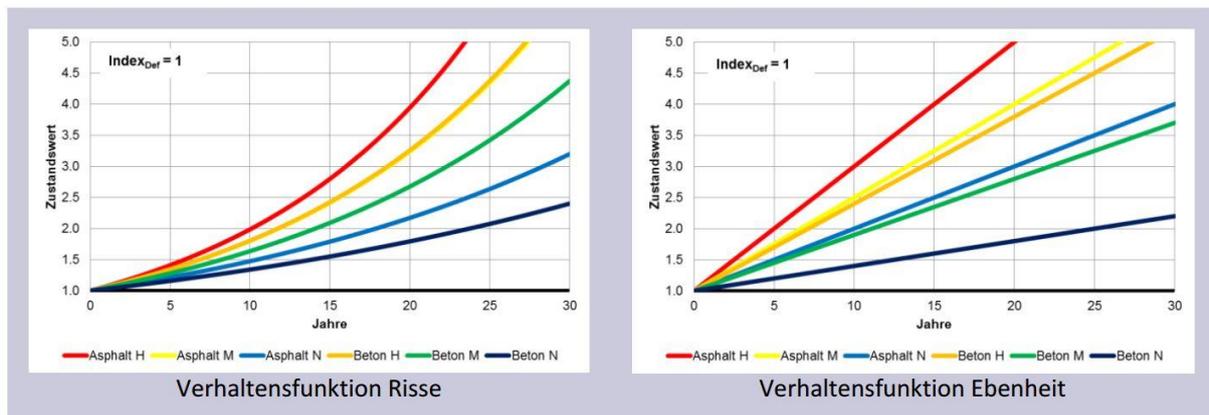


Abbildung 32: Lebenszyklusanalyse: Verhaltensfunktionen von Zustandsmerkmalen (Weninger-Vycudil et al. 2013, S. 43)

Das Ergebnis der Lebenszyklusanalyse wird als optimale Dringlichkeitsreihung bezeichnet und ermöglicht neben der detaillierten Sanierungsplanung auch eine genaue Angabe der Zustandsentwicklung jedes Straßenabschnittes unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Finanzmittel (Weninger-Vycudil et al. 2013).

Der Funktionsverlauf der Verhaltensfunktion von Straßenzuständen wird in der Regel mit Hilfe des Expertenwissens spezialisierter Ingenieurbüros modelliert und direkt in deren Softwarelösung zur Umsetzung von Lebenszyklusanalysen integriert. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung der Prozessmodellierung verzichtet. Als weiterführende Literatur wird auf Babashamsi et al. (2016) verwiesen, welche die aktuellen Methoden der Lebenszyklusanalyse beschreiben und die dazugehörigen Softwarelösungen präsentieren.

3.4.3 Alternative Alterungsmodelle

Die Anforderungen an das Datenmanagement sind für die zuvor beschriebenen Modelle teilweise sehr hoch. Eine entsprechende Datenverfügbarkeit und -qualität sind aber Grundvoraussetzung plausibler Prognosen. Friedl (2014) führte eine Untersuchung zu der Qualität der Schadensdokumentation bei fünf österreichischen Wasserversorgungsbetreibern durch. Anhand dieser Studie lässt sich die generalisierte Aussage treffen, dass einem Großteil der Betreiber keine detaillierte Zuordnung der allgemeinen Schadensdokumentation auf die spezifische Schadensart möglich ist. Zustandsinformationen bei Wasserleitungsnetzen liegen meist nur als Schadensdaten mit Informationen zum Schadensdatum und Lage im GIS vor. Bei Kanalnetzen sieht die Lage bezüglich Zustandsklassifikationen etwas besser aus, da eine Zustandsbeurteilung auf Basis festgelegter Standards eine Voraussetzung zur Umsetzung eines förderfähigen Kanalkatasters ist (siehe 2.4.3). Bezüglich der Bestandsdaten sind sowohl bei Wasser- als auch Kanalnetzen oftmals nur Daten zu Material, Alter, Leitungsdurchmessern sowie der Lage im GIS in verlässlicher Qualität vorhanden.

Sind die Datenanforderungen zur plausiblen Modellierung von Altersprozessen nicht gegeben, was in der Praxis oft der Fall ist, sind Vereinfachungen der Alterungsmodelle notwendig⁷. Nach Tscheikner-Gratl (2015) können diese folgendermaßen unterteilt werden:

- Prognosen auf Basis von Lebenserwartungen welche den Bestandsdaten ergänzt werden
- Vereinfachung durch die Ermittlung durchschnittlicher Lebenserwartungen und Schadensverteilungen.
- Prognose auf Basis des durchschnittlichen Netzalters. Dieses wird als Qualitätsparameter herangezogen.
- Prognosen auf Basis von durchschnittlichen Schadensraten.

Die ersten drei Ansätze benötigen als Datengrundlage lediglich Bestandsdaten wie Länge, Material, Leitungstyp und Baujahr. Informationen zur Lebenserwartung von Netzelementen können aus der Literatur oder ExpertInnenwissen herangezogen werden. Für den vierten Ansatz werden Schadensaufzeichnungen eines repräsentativen Teilgebietes benötigt, auf Basis dessen Schäden für das Gesamtgebiet geschätzt werden, um eine Aussage über die Schadensrate tätigen zu können. Abbildung 33 zeigt die teilweise hohen Unterschiede der prognostizierten Rehabilitationsraten der einzelnen Ansätze, welche Tscheikner-Gratl (2015) in einer Fallstudie vergleichend untersuchte. Der Verlauf der Rehabilitationsrate, basierend auf Literaturangaben der Lebenserwartung, ähneln dem der beobachteten Daten am ehesten. Es ist jedoch eine Abweichung des Höhepunktes von 20 Jahren ersichtlich, was einen enormen Unterschied auf die Budgetplanung der Betreiber zur Folge hätte. Die Prognose mit Hilfe des durchschnittlichen Netzwerkalters nimmt als Voraussetzung an, dass das Netzwerkalter ein Indikator des Schadensrisikos ist. Diese Behauptung gilt nach Friedl (2014) als falsch, da das Alter nicht als alleiniges Kriterium für den Netzzustand herangezogen werden kann. Ein Netzdurchschnittsalter von 27 Jahren würde zu einer durchschnittlichen Rehabilitationsrate von 3,5% führen. Dieser Wert ist aufgrund der dafür benötigten finanziellen Mittel und dem eigentlichen jungen Durchschnittsalter völlig unplausibel. Unter der Annahme, dass bis zu einem Netzdurchschnittsalter von 50 Jahren keine Sanierung durchgeführt wird, und ab diesem Zeitpunkt eine konstante Rehabilitationsrate vorherrscht, bedarf es einer Rehabilitationsrate von 2% bis 2100. Der Ansatz basierend auf geschätzten Schadensraten hat eine zu niedrige Rehabilitationsrate von 0,5% pro Jahr zur Folge. Die Untersuchung zeigt, dass der Ansatz basierend auf Literaturangaben und Expertenwissen die plausibelsten Prognosewerte liefert (Tscheikner-Gratl 2015).

⁷ Die Vereinfachung eines Prognosemodells für Straßennetze ist aufgrund des komplexen Materialverhaltens und der vielen Einflussfaktoren nicht möglich (Trülsch 2015)

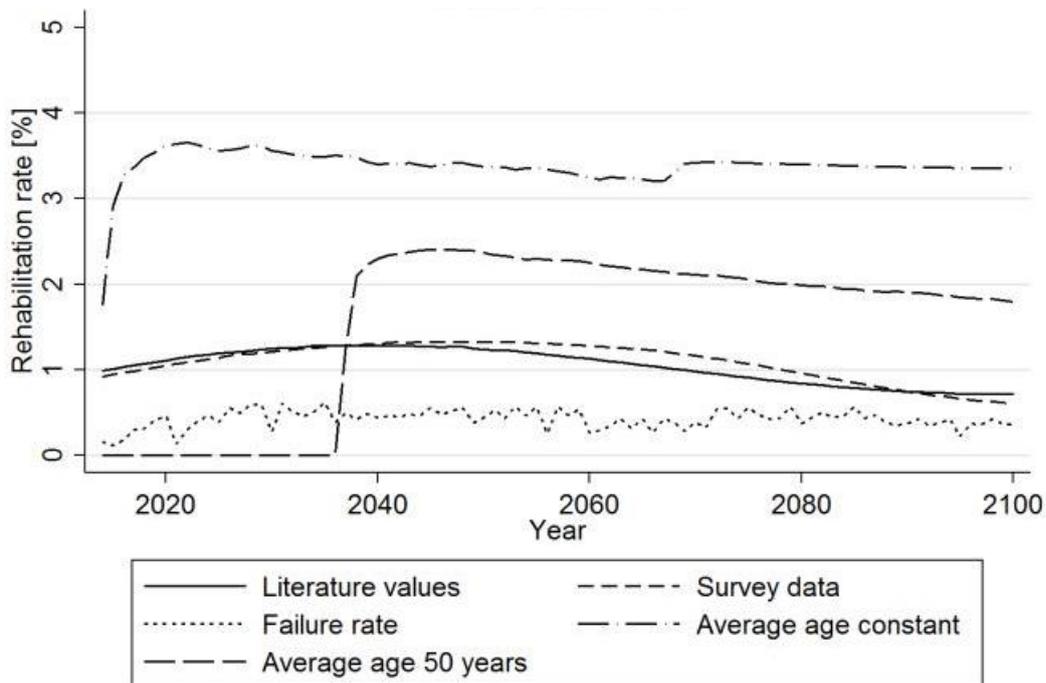


Abbildung 33: Vergleich alternativer Prognoseansätze (Tscheikner-Gratl 2015, S. 84)

Für die Prognose von Leitungszuständen anhand des Baujahrs und Materials, schlägt Trülsch (2015) ein Vorgehen ähnlich dem der alternativen Zustandsbewertung in Kapitel 3.3 vor. Die Aktualisierung der Netzzustände erfolgt jedoch unter Einbeziehung von Prognosewerten. Die Datenvoraussetzung der alternativen Zustandsprognose sind vorliegende Netzbewertungen der Ist-Zustände sowie Lage, Baujahr und Material. Analog zur Ist-Bewertung wird die mittlere technische Nutzungsdauer in Abhängigkeit von Baujahr und Material dem Ist-Alter gegenübergestellt:

$$Z_{i,W,Px} = A_{i,W,Px} * \frac{5}{TND_W} + 0,5$$

Der Zustandsindikator des jeweiligen Leistungsabschnittes im Prognosejahr x ($Z_{i,W,Px}$) wird mit Hilfe des Ist-Alters des jeweiligen Leistungsabschnittes im Prognosejahr ($A_{i,W,Px}$) und der technischen Nutzungsdauer eines Leistungsabschnitts in Abhängigkeit von Material und Baujahr (TND_W) berechnet.

3.5 Integration der Zustandsbewertungs- und Alterungsmodelle in den Prozess der Planung integrativer Sanierungsmaßnahmen

3.5.1 Methode der integrativen Modellierung

Nach der Beschreibung der Zustandsbewertungs- und Alterungsmodelle der jeweiligen Infrastrukturnetze werden in diesem Kapitel die Möglichkeiten der Integration dieser Modelle gezeigt. Zur Durchführung integrativer Planung von Sanierungsmaßnahmen ist die Entwicklung eines Modells erforderlich, welches plausible Gesamtbewertungen aller technischen Infrastrukturen eines definierten Teilabschnittes liefert. Grundsätzlich basieren alle Verfahren der integrativen Modellierung auf der räumlichen Überlagerung der Zustandsbewertung bzw. -prognosen der jeweiligen Netze. Für diese Überlagerung müssen Schnittmengen aller beteiligten Infrastrukturnetze gefunden werden, weshalb man vor der Herausforderung steht, eine Lösung für die unterschiedlichen geometrischen und topologischen Ausprägungen der Netze zu finden. Für diese Fragestellung stehen unterschiedliche GIS – Softwarepakete bzw. GIS – Tools zur Verfügung, welche in der Fallstudie genauer beschrieben werden.

Die Integration aller Einzelmodelle kann auf Basis unterschiedlicher integrativer Modelle erfolgen. Die in diesem Kapitel beschriebenen integrativen Modelle nach Trülzsch (2015), REHAB und Tscheikner-Gratl et al. (2015b) unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Komplexität, sowie der benötigten Datengrundlage. Nach Bach et al. (2014) ähnelt der integrative Modellierungsansatz dem der klassischen Modellierung sehr stark. Als Unterschiede wären der stark zielgerichtete Ansatz sowie die Datenqualität und -verfügbarkeit, welche den kompletten Prozess begleiten, zu nennen. Ein universeller Ansatz zur Entwicklung eines integrativen Modells ist in Abbildung 35 dargestellt. Die Komplexität ergibt sich durch neue und unbekannte Verhaltensweisen und Merkmale des Gesamtsystems, welche aus den Interaktionen der Einzelkomponenten resultieren. Die Modellstruktur sowie der räumliche und zeitliche Detaillierungsgrad werden durch die Auswahl der Einzelmodelle und deren relevanten Modellparameter bestimmt (Bach et al. 2014).

Einen enormen Einflussfaktor auf das Ergebnis stellen die Gewichtungen der Einzelmodule und deren Komponenten dar. Diese werden bei der Methode von Tscheikner-Gratl et al. (2015b) mittels des analytisch hierarchischen Prozess nach Saaty (1988) bestimmt. Abbildung 34 zeigt eine mögliche Gewichtung der Eigenschaften unterschiedlicher Leitungsnetze.

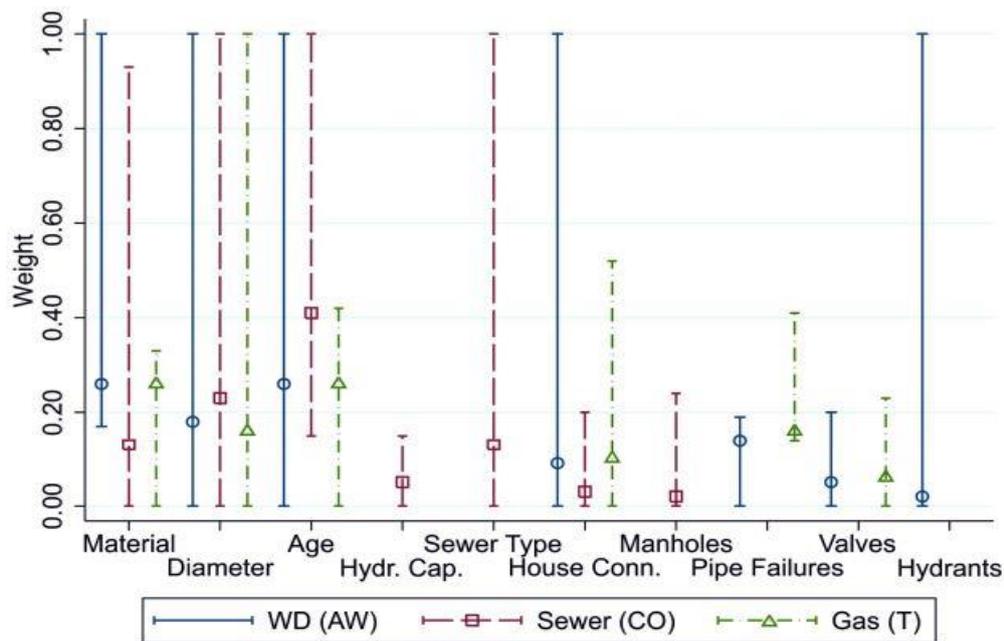


Abbildung 34: Mögliche Gewichtung der Eigenschaften unterschiedlicher Leitungsnetze im integrativen Modellierungsprozess (Tscheikner-Gratl et al. 2015b, S. 2053)

Tscheikner-Gratl et al. (2017) stellen fest, dass der größte Einfluss auf die Gesamtbewertung, auf die Auswahl der Kriterien zurückzuführen ist. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit einer gewissenhaften Definition der Kriterien durch EntscheidungsträgerInnen und ExpertInnen zu Beginn des Entscheidungsfindungsprozesses.

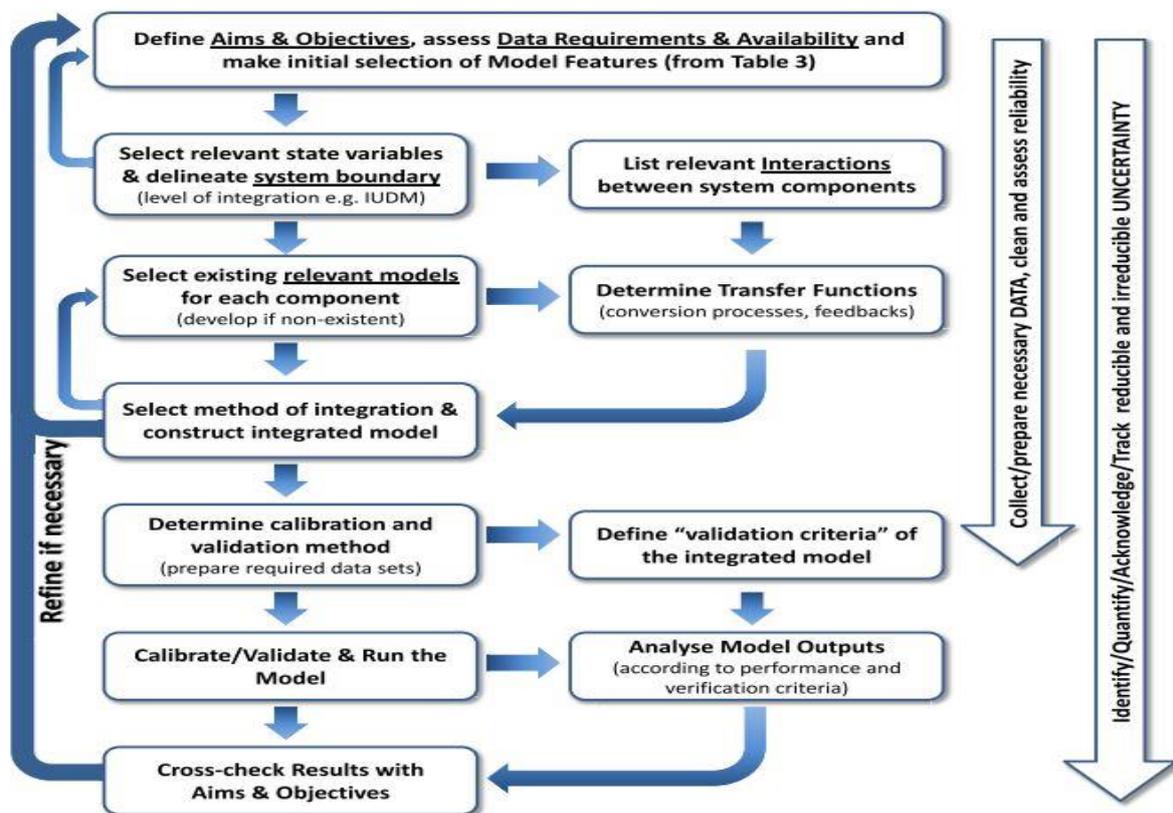


Abbildung 35: Universeller Ansatz der integrativen Modellierung (Bach et al. 2014, S. 98)

Die Kalibrierungsmethoden haben neben der Herausforderung der hohen Datenanforderung, auch den Anspruch eine langfristige Simulation zu ermöglichen. Die Methoden befinden sich oftmals noch im Anfangsstadium der Forschung und Entwicklung und basieren auf dem „trail & error“ Prinzip. Eine Möglichkeit mit dieser Gegebenheit umzugehen, ist die Minimierung von Modellparametern der Einzelmodelle und der damit einhergehenden Modellvereinfachung. Unter Berücksichtigung der, im Vergleich zu komplexen Modellen, geringeren Aussagekraft, können trotz des Verzichts auf umfangreiche Datenerhebungen und Kalibrierungsprozesse plausible Ergebnisse erreicht werden. Neben der Kalibrierungsmethoden haben auch bestimmte Unsicherheiten Einfluss auf das Ergebnis der Modellierung. Als Quellen der Unsicherheiten wären die Systemgrenzen, Modellparameter, Modellstruktur sowie die angewandten Modellierungstechniken zu nennen. Beachtet werden muss, dass die Unsicherheiten integrativer Modelle von der Summe der Unsicherheiten der Einzelmodelle abweichen kann. Eine Möglichkeit die Unsicherheiten zu minimieren, ist neben Kombination von Expertenwissen mit Parameterinformationen ebenfalls eine Modellvereinfachung (Bach et al. 2014).

3.5.2 Ansatz von Trülzsch (2015)

Der hier beschriebene Ansatz von Trülzsch (2015) zeichnet sich durch die weniger komplexe Modellierungsmethode und die eher geringen Datenanforderungen aus. Die Basis dieses Modells bilden die zuvor ermittelten Netzzustände sowie deren Prognosen, wobei hier auch die Informationen der Alternativbewertungen herangezogen werden können. Zu beachten ist jedoch, dass das Ergebnis des integrativen Modells im besten Fall so genau ist wie die der ermittelten Zustände der Einzelnetze.

Für die Überlagerung der Einzelbewertungen werden die Linienelemente den Verkehrsflächen zugeordnet. Diese Unterordnung begründet sich einerseits räumlich, da die Leitungsnetze unter den Verkehrsflächen liegen, andererseits durch die zwangsläufige Beteiligung jeder Sanierungsmaßnahme, unabhängig vom Zustand, der Straße⁸. Diese Hierarchie bezieht sich jedoch nur auf die modelltechnische Umsetzung, für die Bewertung und Entscheidungsfindung sind alle Netze gleichwertig anzusehen.

Die Unterteilung der Verkehrselemente erfolgt nach den Nutzungsbereichen, der Betrachtungsrichtung und der Länge, gegeben durch die Anfangs- und Endknoten, welche in der Regel Kreuzungspunkte darstellen. Im innerstädtischen Bereich liegen die Knotenpunkte meist eng genug zusammen, um aussagekräftige Straßensegmente zu erhalten. Da dies aber nicht unbedingt für jeden Bereich zutrifft, wird ein Grenzwert von maximal 20 Meter festgelegt, welcher die maximale Segmentlänge definiert. Die Unterteilung der Linien-

⁸ Ausnahmen bilden grabungslose Eingriffe.

elemente erfolgt im ersten Schritt anhand der Knotenpunkte, wie Schächte, Schieber oder Hydranten. Diese Unterteilung führt jedoch zu sehr unterschiedlichen Segmentlängen, weshalb für die integrative Betrachtung eine Vereinheitlichung notwendig ist. Diese erfolgt bei der Zuordnung zu den Verkehrsflächen durch eine Mittelwertbildung der einzelnen Bewertungen. Die Bewertung der Knotenpunkte gehen hierbei in die benachbarten Liniensegmente ein. Abbildung 36 zeigt das Schema der Verkehrsflächen- (gelb) und Leitungsnetzunterteilung (blau – Wasser, rot – Kanal) mit den zugehörigen Systemverbindungen (UFH – Unterflurhydrant, AS – Absperrschieber bzw. S – Schacht). Da in der Praxis davon ausgegangen werden muss, dass in einem Flächenelement mehrere Linienelemente vorkommen, werden für die jeweiligen Flächen längengewichtete Mittelwerte aller Linienelemente gebildet.

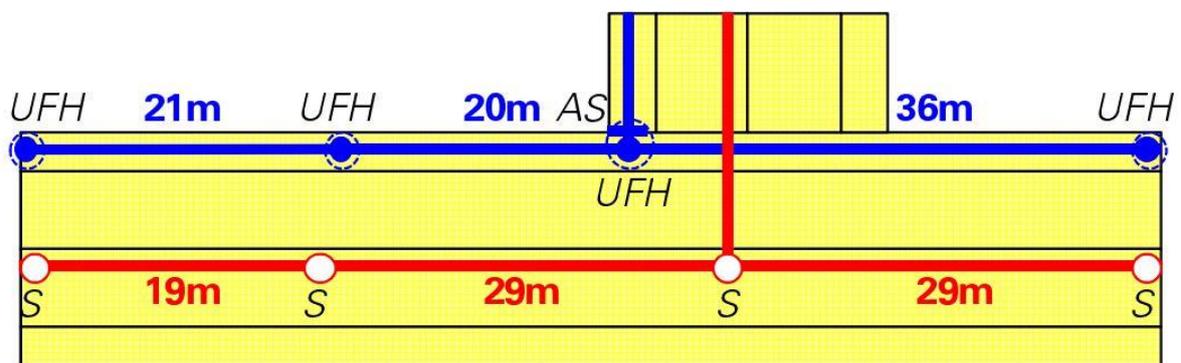


Abbildung 36: Mögliche Einteilung der Linienelemente und Verkehrsflächen im integrativen Modellierungsprozess (Trülzsch 2015, S. 124)

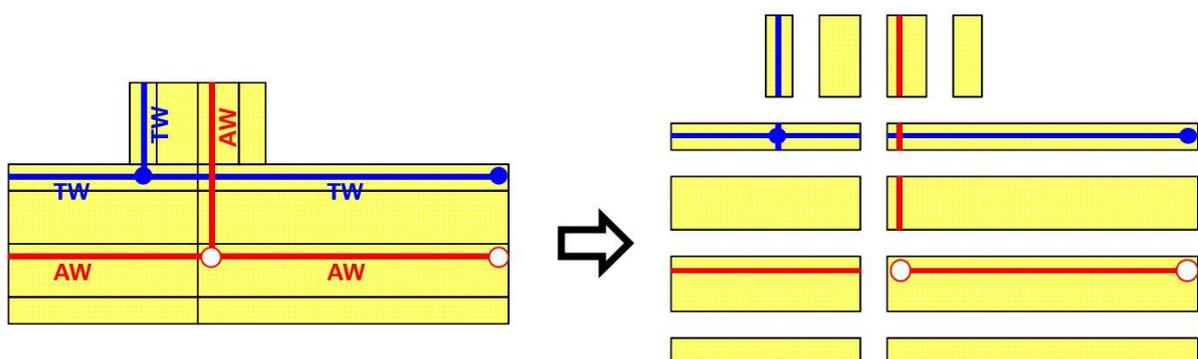


Abbildung 37: Zuordnung der Linienelemente zu Verkehrsflächen im integrativen Modellierungsprozess (Trülzsch 2015, S. 125)

Den Gesamtindikator für jedes Straßensegment erhält man durch die Überlagerung der Einzelindikatoren, welche den Querschnittselementen der Verkehrsflächen zugewiesen werden (siehe Abbildung 37). Der Gesamtindikator der technischen Infrastruktur ($I_{i, TI}$) wird folgendermaßen berechnet:

$$I_{i, TI} = \max \begin{cases} f_{T,V} * I_{i,V} + \frac{f_{T,W} * \sum(L_{i,W} * I_{i,W}) + f_{T,A} * \sum(L_{i,A} * I_{i,A})}{f_{T,W} * \sum L_{i,W} + f_{T,A} * \sum L_{i,A}} \\ 10 \text{ falls } I_{i,V} = 5 \vee I_{i,W} = 5 \vee I_{i,K} = 5 \end{cases}$$

Der Gesamtindikator der technischen Infrastruktur ($I_{i, TI}$) setzt sich aus den normierten Einzelindikatoren $I_{i,V}$, $I_{i,W}$, $I_{i,A}$ für Verkehr, Wasser und Kanal, den Längen der Wasserleitungen ($L_{i,W}$) und Kanalleitungen ($L_{i,A}$) im Verkehrssegment sowie den Gewichtungsfaktoren $f_{T,V}$ für den Verkehr mit dem Standardwert 1, $f_{T,W}$ für Wasserleitungsnetz und $f_{T,A}$ für Kanalnetz mit den Standardwerten 0,5, zusammen.

Die Verkehrsflächen erhalten standardmäßig eine doppelt so hohe Gewichtung wie Wasser- und Kanalnetze, damit diesen keine unzureichend hohe Bewertung zukommt. Sollte nur ein weiteres Leitungsnetz dem Straßensegment zugeordnet werden, erhält auch dieses die Gewichtung 1, zusätzlich wird der Wertebereich auf 0 – 5 verkleinert, um die geringere Priorität hinsichtlich integrativer Maßnahmen zu berücksichtigen. Sollte ein Einzelindikator die schlechteste Bewertung 5 erhalten, dann führt dies automatisch zu dem negativsten Gesamtindikator 10.

Für eine langfristige Planung integrativer Maßnahmen sind prognostizierte Zustandsbewertungen für jedes Straßensegment notwendig. Die Ermittlung des Gesamtindikators erfolgt analog zum IST-Zustand, mit dem Unterschied, dass für die Einzelindikatoren die prognostizierten Einzelzustände für das bestimmte Jahr herangezogen werden.

3.5.3 Ansatz REHAB (Tscheikner-Gratl et al. 2016b):

Der Ansatz des Projektes „REHAB“ zur integrativen Zustandsbewertung basiert auf einem Prioritätenmodell, welches sich aus den Einzelmodulen Kanal, Wasser und Straße zusammensetzt. Das Prioritätenmodell berücksichtigt die Beziehung von Kanal- und Wasserleitungsnetzen mit den speziellen Umweltfaktoren des Straßennetzes und den angeschlossenen Gebäuden. Durch die Implementierung der Faktoren Widerstandsfähigkeit, Vulnerabilität, Kapitalwert und den einzelnen Netzkomponenten werden technisch und wirtschaftlich sinnvolle Sanierungsmaßnahmen identifiziert. Die Prioritätsfaktoren werden mit Hilfe der 99,9 – Perzentile im Wertebereich 0 (keine Priorität) bis 1 (hohe Priorität) normalisiert, um statistische Ausreißer zu vermeiden. Die Anwendung des Prioritätenmodells auf jeden gebildeten Straßenabschnitt liefert eine Gesamtbewertung, von der sich die Priorität der Rehabilitationsmaßnahmen ableitet. Die Straßenabschnitte werden anhand der Knotenpunkte der Leitungsnetze gebildet. Um eine sinnvolle Anwendung des Prioritätenmodells und die Vergleichbarkeit der Straßenabschnitte zu gewährleisten, wird ein Grenzwert mit einem Prozent der Gesamtlänge für die maximale Abschnittslänge festgelegt.

Kanalmodul

Das Kanalmodul setzt sich neben den Netzelementen aus den Prioritätsfaktoren Zustandsverschlechterung, Vulnerabilität, Wichtigkeit der angeschlossenen Gebäude und der wirtschaftlichen Wertminderung zusammen. Zuerst wird der Prioritätsfaktor ($P_{PIPE,i}$) für jede einzelne Haltung mittels folgender Formel bestimmt:

$$P_{PIPE,i} = (1 + P_{Vul,i}) * P_{Det,i}$$

Der Vulnerabilitätsfaktor ($P_{Vul,i}$) ergibt sich aus der Summe des Wasservolumens, welches durch einen bestimmten Schadensfall entsteht. Für die Zustandsverschlechterung ($P_{Det,i}$) wird ein binäres logistisches Regressionsmodell nach (Ahmadi et al. 2014) verwendet. Da die Qualität der Datengrundlage zur Anwendung von Vulnerabilitätsbewertungen und Verschlechterungsmodellen bei Schächten und Hausanschlüssen nicht ausreichend ist, wird diese Datenlücke mit Erfahrungswerten der Leitungsbetreiber geschlossen. Hierfür kam ein lineares Verschlechterungsmodell mit der durchschnittlichen technischen Nutzungsdauer der Netzelemente zum Einsatz, um so die Prioritätsfaktoren zu schätzen. Da es eine Rolle spielt, mit welcher Gebäudeart das Kanalnetz verbunden ist, wird ein Gewichtungsfaktor von 0-100 angegeben, der die Wichtigkeit des Gebäudes angibt.

Die Priorisierung jedes Straßenabschnittes (j), für die einzelnen Kanalrohre (P_{PIPE}), Kanalknoten (P_{CO}) und Hausanschlüsse (P_{HC}) in diesem Abschnitt, werden normalisiert, gewichtet und abschnittsweise zum ersten Teil der technischen Gesamtpriorität des Kanalnetzes (P_{ST}) zusammengefasst. Noch keine Berücksichtigung finden hierbei wirtschaftliche Werte.

$$P_{ST,j} = W_{PIPE} * \sum_{i=1}^n \frac{P_{PIPE,i}}{\sum I_i} * I_i + W_{CO} * \sum_{i=1}^n P_{CO,i} + W_{HC} * \sum_{i=1}^n P_{HC,i}$$

Der implementierte Korrekturfaktor ($\frac{I_i}{\sum I_i}$) dient der Berücksichtigung der unterschiedlichen Haltungslängen. Die Gewichtungsfaktoren (W_{PIPE}), (W_{CO}) und (W_{HC}) der einzelnen Teile werden mittels eines hierarchisch analytischen Prozesses nach Saaty (1988) durchgeführt.

Der Informationsverlust, welcher sich durch den potentiellen Ausgleich zwischen guten und schlechten Bewertungen und der Normalisierung ergibt, wird durch die Einführung des Schwellwertes (P_{TH}) für die allgemeine Straßenabschnitts-Abwasserpriorität (P_S) minimiert:

$$P_{S,j} = P_{TH,j} + P_{ST,j}$$

Der Schwellwert (P_{TH}) wird durch die Rohrlänge mit dem schlechtesten Zustand (I_{CS}) und den durch die wirtschaftliche Abschreibung geschätzten Kapitalwert (CV) definiert:

$$P_{TH,j} = I_{CS} * 2 + CV$$

Für jeden Straßenabschnitt werden die Baukosten aller Infrastrukturelemente geschätzt. Für Kanalhaltungen wird eine spezielle Kostenfunktion verwendet, für die weiteren Elemente wird die durchschnittliche technische Nutzungsdauer herangezogen. Diese geschätzten Baukosten werden über den bestimmten Zeitraum linear abgeschrieben. Wenn ein Straßenabschnitt vollständig abgeschrieben ist, wird der Schwellwert (CV) auf 1 gesetzt. Wenn sich Kanalhaltungen im Straßenabschnitt im schlechtesten Zustand befinden, wurde der Schwellwert (I_{CS}) auf 1 gesetzt. In der Gleichung ist ersichtlich, dass dem Netzzustand eine höhere Priorität eingeräumt wird.

Wassermodul

Die Struktur des Wassermoduls gleicht dem des Kanalmoduls. Unterschiede ergeben sich aber bei den Verschlechterungsmodellen, der Vulnerabilitätsbewertung und der Nutzungsdauer des Leitungsnetzes. Zur Vulnerabilitätsbewertung wird der Ansatz zur Berechnung des Wasseraustrittes bei bestimmten Schadensarten je Leitungsgruppen verwendet. Für die Bestimmung der Zustandsverschlechterung wird ebenfalls ein binäres Regressionsmodell eingesetzt. Aufgrund der binären Modelleigenschaft muss jedoch beachtet werden, dass nur die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des ersten Schadensfalls einer Leitung abgeschätzt werden kann. Der Prioritätsfaktor für die Zustandsverschlechterung des Wassernetzes ($P_{Det,i}$) bestimmt sich demnach wie folgt:

$$P_{Det,i} \begin{cases} \text{Ergebnis Verschlechterungsmodell} & ; \text{kein Schaden} \\ 1 + \frac{\text{Zeit seit letzten aufgezeichnet Schaden}}{t_{pf}} & ; \text{min. 1 Schaden} \end{cases}$$

Hierfür wird die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schäden (t_{pf}) aus den Untersuchungen der Schadensaufzeichnungen bestimmt.

Der größte Unterschied zum Kanalmodul ist die Berücksichtigung der Historie der Leitungsschäden. Durch die Bildung von Schadensclustern kann ein zusätzlicher Indikator für externe Einflüsse gewonnen werden, welche bei der Zustandsverschlechterungsmodellierung unberücksichtigt bleiben. Im Speziellen wären hier die Bodenaggressivität und Bau- bzw. Verlegequalität zu nennen.

Die Gesamtpriorität für das Wassernetz ergibt sich analog zum Kanalmodul wie folgt:

$$P_{WDT,j} = W_{PIPE} * \sum_{i=1}^n \frac{P_{PIPE,i}}{\sum I_i} * I_i + W_{Co} * \sum_{i=1}^n P_{Co,i} + W_{HC} * \sum_{i=1}^n P_{HC,i} + W_{HB} * P_{HB,i}$$

Die Schwellwerte und schlussendliche Straßenabschnitts-Wasserpriorität wird auf die gleiche Weise wie beim Kanalmodul bestimmt. Der Unterschied liegt jedoch in der Schwellwertbildung, welche nicht durch die Netzzustände, sondern durch die maximale Anzahl tolerierbarer Schäden zustande kommt.

Straßenmodul

Das Straßenmodul besteht aus den Faktoren Zustand und Wichtigkeit je Straßenabschnitt. Die Wichtigkeit gibt die Auswirkung im Falle einer Straßensperre durch Bauarbeiten an. Im optimalen Fall beinhalten diese Faktoren Informationen zu Verkehr, Straßenbewertungen, geplanten Baumaßnahmen und Bevölkerungsdichte dieser Gebiete. Zusätzlich wird die Bedeutung der involvierten Gebäude durch die Bedeutung ihrer Nutzung berücksichtigt. Da dieser optimale Datensatz in der Praxis jedoch selten verfügbar ist, wird die Wichtigkeit der Straßenabschnitte (P_{IS}) mit Hilfe von frei verfügbaren Daten, wie OpenStreetMap (OSM), geschätzt. So wird die Wichtigkeit des Straßenabschnittes (P_{OSM}) von der OSM abgeleitet und ähnlich wie bei den Gebäuden in einem Wertebereich von 1 bis 100 angegeben. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der öffentliche Verkehr (P_{PT}), welcher durch Umleitungen und Aussetzungen aufgrund von Baumaßnahmen direkte und indirekt Kosten verursacht. Darüber hinaus wird die Anzahl und Bedeutung von Gebäude (P_{IB}) sowie die Einwohner in diesen Gebäuden (P_{Inh}) berücksichtigt

$$P_{IS} = W_{OSM} * P_{OSM} + W_{PT} * P_{PT} + W_{Inh} * P_{Inh} + W_{IB} * P_{IB}$$

Gesamtbewertung

Die normalisierten Einzelmodule werden nach folgenden Gewichtungsfaktoren in den Gesamtprozess integriert (Tscheikner-Gratl et al. 2013):

- Nutzungsdauer der Leitungsnetze in Abhängigkeit der Leitungsmaterialien
- Umwelteinflüsse wie Grundwasserspiegel
- Interaktionen zwischen benachbarten Leitungsnetzen
- Passive Rehabilitationseingriffe wie die Änderung der Landnutzung
- Relevanz der Flächen und Gebäude welche von Leitungsnetzen ver- bzw. entsorgt werden
- Schadensraten der Leitungsnetze

Die Normalisierung hat zur Folge, dass überdurchschnittliche Einflüsse eines Faktors reduziert werden. Die Gewichtungen der Einzelmodule wird ebenfalls mittels eines analytisch hierarchischen Prozesses bestimmt. Um Kompensationsfehler in einem Infrastrukturnetz zu vermeiden und die Möglichkeit wirtschaftlicher Synergien zu nutzen, wird ein Schwellwert herangezogen. Dieser wird analog zur allgemeinen Straßenabschnitts-Abwasserpriorität bzw.

Straßenabschnitts-Wasserpriorität gebildet und verhilft der Bestimmung der Gesamtpriorität des Straßenabschnittes (P_{TN}). Der Schwellwert setzt sich aus den Schwellwerten der einzelnen Netze, der Summe der Kanallängen mit sofortigen Handlungsbedarf, einer hohen Schadensrate im Wasserleitungsnetz, geplante Arbeiten der Betreiber und dem Kapitalwert der einzelnen Netze zusammen:

$$P_{TN,j} = W_S * P_{S,j} + W_{WD} * P_{WD,j} + W_{Rd,j} * P_{Rd,j}$$

Hierbei werden die Prioritäten von Wasser ($P_{WD,j}$), Kanal ($P_{S,j}$) und Straßen ($P_{Rd,j}$) jeweils mit einem Gewichtungsfaktor (W) multipliziert.

3.5.4 Ansatz von Tscheikner-Gratl et al. (2015b)

Der Ansatz von Tscheikner-Gratl et al. (2015b) wurde ebenfalls im Zuge des Projektes „REHAB“ erarbeitet. Er bezieht sich jedoch auf die Modellierung integrativer Rehabilitationsmaßnahmen für kleinere Kommunen, welche aufgrund von finanziellen Möglichkeiten stärker mit dem Problem der ausreichenden Datenqualität bzw. -verfügbarkeit konfrontiert sind. Basierend auf den verfügbaren Bestands- sowie Zustands- und Schadensdaten von Kanal-, Wasser- und Straßennetzen wird eine Priorisierung von Straßenabschnitten erarbeitet. Fehlende Informationen werden mit Hilfe der Methode von Tscheikner-Gratl et al. (2016a) rekonstruiert. Die Gesamtpriorität für integrierte Rehabilitationsmaßnahmen ergibt sich aus den ermittelten Einzelprioritäten jedes Netzes.

Nach der Unterteilung der Leitungs- und Straßennetze in bestimmte Abschnitte, erfolgt die Reihung der Einzelnetze mit Hilfe der von Huang et al. (2009) überarbeiteten *VIKOR* Methode. *VIKOR* wurde für die „multi-criteria“ Optimierung komplexer Systeme entwickelt. Für jedes Netzwerk wird ein Einflussfaktor im Wertebereich 0 – 100 bestimmt. Für den Kanal wird hierfür die Haltungslänge der inakzeptablen Zustände herangezogen. Jene Haltungsabschnitte mit dem Material, welches die meisten inakzeptablen Zustände aufweisen, werden mit 100 bewertet. Das gleiche Verfahren wird für Haltungsdurchmesser und -funktion angewandt. Für das Haltungsalter wird die kumulative Summe der Länge des inakzeptablen Zustandes verwendet. Diese Werte werden für jeden Straßenabschnitt summiert. Beim Wasserleitungsnetz wird anstatt des Netzzustandes die Leitungslänge basierend auf den aufgezeichneten Schäden herangezogen. Die Priorisierung der Einzelnetze wird im Anschluss anhand der Methode von Huang et al. (2009) bestimmt. Mit Hilfe der folgenden Gleichungen kann der „choiceless“ (S_j) und „discontent“ (R_j) Nutzen für jeden Straßenabschnitt j , unter der Verwendung von n Faktoren für jedes Netz berechnet werden. Der „choiceless“ Nutzen beschreibt hierbei jenen Wert den ein Individuum empfindet, wenn es ein bestimmtes Ergebnis erhält, ohne sich dafür entschieden zu haben. „Discontent utility“ bezeichnet hin-

gegen den Nutzen zwischen alternativen und besten Wert jedes Kriteriums (Huang et al. 2009):

$$S_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^n W_i * \frac{1}{J-1} \sum_{k=1}^J (f_{ki} - f_{ji}) & , \text{ WENN } f_{ji} < f_{ki} \\ 0 & , \text{ SONST} \end{cases}$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n W_i (f_i^{max} - f_{ji})$$

Wobei f_i^{max} den Maximalwert jedes Faktors, J die Gesamtzahl der Straßenabschnitte und W_i die Gewichtung der einzelnen Faktoren angibt. Schlussendlich wird die Reihung der Netzwerke durch den Index Q_j berechnet. Hierbei gilt, je kleiner Q_j desto höher die Priorität. Als Einflussfaktor sind hier neben dem Einzelranking, die wirtschaftliche Abschreibung der Infrastrukturnetze, sowie der Schwellwert zur Verhinderung der Überlagerung inakzeptabler Zustände durch bessere Zustände, zu nennen.

$$Q_j = v * \frac{S_j - S^{min}}{S^{max} - S^{min}} + (1 - v) * \frac{R_j - R^{min}}{R^{max} - R^{min}}$$

Hierbei geben R und S die Minimal- bzw. Maximalwerte und v die Gewichtung von R bzw. S an.

3.6 Entscheidungsfindung und deren Visualisierung

In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten beschrieben, um mit Hilfe der gewonnenen Informationen aus den vorangegangenen Kapiteln eine Maßnahmenentscheidung zu treffen und so den Planungsprozess abzuschließen. In diesem Zusammenhang wird der Einsatz der „multi criteria decision making“ (MCDM) bzw. „multi criteria decision analysis“ (MCDA) im Infrastrukturmanagement beschrieben. Eine detaillierte Abhandlung der Methoden würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Hierzu wird auf die Literaturquelle, von Kabir et al. (2014) und Tscheikner-Gratl et al. (2017) verwiesen. Ein weiterer Fokus liegt auf GIS – gestützten Methoden zur Entscheidungsfindung. Es werden die Möglichkeiten der Entscheidungsfindung und Ergebnisvisualisierung sowie die Kombination GIS und MCDM „spatial decision support system“ (SSDA) bzw. „multi criteria spatial decision analysis“ (MSDA) genauer beschrieben.

3.6.1 Multi Criteria Decision Making (MCDM)

Die mehrfach erwähnten Herausforderungen der integrativen Maßnahmenplanung machen den Prozess der Entscheidungsfindung sehr komplex. Hinzu kommen die unterschiedlichen spezifischen und finanziellen Hintergründe der Betreiber sowie gesellschaftlicher und politischer Einfluss auf Entscheidungen. Tscheikner-Gratl (2015) empfiehlt zur Verbesserung der Kommunikation aller Prozessbeteiligten, die Diskussion durch ein strukturiertes Entscheidungsverfahren zu objektivieren. Nach Kabir et al. (2014) hat sich im Bereich des Infrastrukturmanagements MCDM als Werkzeug zur Entscheidungsfindung durch die Integration technischer Informationen und den Anforderungen aller Beteiligten herauskristallisiert. Nach einem umfassenden Literaturstudium kommen die Autoren zum Entschluss, dass vielen Entscheidungshilfertools, welche auf MCDM Methoden basieren, ein erfolgreicher Einsatz in der Praxis nachgewiesen werden kann. Der Großteil der Studien kommt zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von MCDM Methoden zu einer signifikanten Verbesserung der Entscheidungsfindung, sowie einer gestiegenen öffentlichen und politischen Akzeptanz der geplanten Sanierungsmaßnahmen zur Folge hat.

Da finanzielle Ressourcen der Betreiber kleiner werden und der Rehabilitationsbedarf für die Zustandserhaltung der Netze steigt, müssen EntscheidungsträgerInnen eine Lösung finden, diesen Anforderungen gerecht zu werden, um den bestmöglichen Zustand der Infrastrukturnetze zu erhalten. In der Regel basieren Entscheidungen im Infrastrukturmanagement auf mehreren, in Konflikt zueinanderstehenden Kriterien. Diese sind durch verschiedene Ebenen und Arten von Unsicherheiten, wie Mehrdeutigkeiten und Unvollständigkeiten, charakterisiert. MCDM ermöglicht allen Beteiligten einen einfachen Zugang zu diesen Informationen (Kabir et al. 2014). Durch die Kombination der Input Faktoren, Kosten/Nutzen Informationen mit EntscheidungsträgerInnen und Stakeholdern erfolgt eine objektive Priorisierung und Bewertung mehrerer Alternativen von Sanierungsmaßnahmen.

Kabir et al. (2014) fasst folgende Vorteile des integrativen Entscheidungsprozesses mit Hilfe von MCDM zusammen:

- Struktur zur Lösung gegenwärtiger und zukünftiger Probleme
- Rationale bzw. objektive Sicht auf Probleme, Lösungswege und Bewertung der möglichen Alternativen
- Konsistenz und Objektivität im Entscheidungsprozess
- Dokumentation aller verwendeten Kriterien, Annahmen und Werte zur späteren Überprüfung und Wiederverwendung
- Jede Entscheidung ist wiederholbar, überprüfbar und leicht verständlich

MCDM hilft Betreibern bei der Fragestellung wann und wo Sanierungsarbeiten durchgeführt werden können. Die tatsächliche operative Entscheidung wann, wo, mit wem und wie die Arbeit ausgeführt wird, werden von allen Beteiligten in einem kommunikativen Prozess gemeinsam getroffen. Die Voraussetzung eines erfolgreichen Einsatzes ist, dass alle im Entscheidungsprozess Beteiligten den Gesamtprozess sowie die eingesetzten Methoden verstanden haben. Des Weiteren sollten Entscheidungen mittels MCDM Methoden auf Basis von Zustandsdaten getroffen werden. Ist dies nicht möglich, liefert das Ergebnis lediglich Informationen und Priorisierungen für den effizienten Einsatz zukünftiger Inspektionen und weiterer Untersuchungen, eine konkrete Maßnahmenplanung ist nicht möglich (Tscheikner-Gratl 2015).

Methoden

Die getroffenen Entscheidungen im Infrastrukturmanagement haben langfristigen Einfluss auf die Funktionalität und Qualität der zukünftigen Serviceleistungen der Infrastrukturnetze. Die verschiedenen Ansätze reichen von der linearen Abschreibung des wirtschaftlichen Wertes, über die Integration von Alterungs- und Bewertungsmodellen bis hin zu komplexen Entscheidungshilfesystemen. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass aufgrund des geforderten Verständnisses aller Beteiligten, oft einer weniger komplexen Methode der Vorzug zu geben ist (Tscheikner-Gratl et al. 2017). Die gängigsten MCDM Methoden zur Entscheidungsfindung von Sanierungsmaßnahmen im Infrastrukturmanagement können nach Tscheikner-Gratl et al. (2017) und Kabir et al. (2014) in folgende Kategorien eingeteilt werden:

➤ Wertmessende Modelle:

Hierbei werden numerische Bewertungen jeder ermittelten Alternative erstellt. Darüber hinaus wird jedem Kriterium eine Gewichtung zugeordnet. Hierzu zählt der Analytisch Hierarchische Prozess (AHP) welcher aufgrund der relativ simplen und schnellen Berechnungsart, sowie der möglichen Integration in GIS Systeme am häufigsten Anwendung findet. 28 % aller Publikationen mit den Themen der Entscheidungsfindung im urbanen Infrastrukturmanagement beschäftigen sich mit dieser Methode (Kabir et al. 2014). Als weiterführende Literatur kann hier auf Saaty (1988) verwiesen werden.

Als weitere Methode dieser Kategorie wäre das Gewichtete Summen Modell (WSM) anzuführen. Diese Methode ist ebenfalls ein relativ einfaches und weitverbreitetes Modell zur Reihung der Alternativen. Jedoch beschränkt sich dieser Ansatz auf eindimensionale Fragestellungen, weshalb Interaktionen zwischen den einzelnen Infrastrukturnetzen ignoriert werden müssen (Kabir et al. 2014). Als weiterführende Literatur kann hier auf Churchman und Ackoff (1954) verwiesen werden.

➤ Ziel, Bestrebung und Referenz Modelle:

Diese Methoden messen wie gut Alternativen ein vordefiniertes Ziel erreicht haben. Als Beispiel wäre hier „Technique for order of preference by similarity to ideal solution“ (TOPSIS) zu nennen. Bei dieser Methode werden sowohl die positiven (maximaler Nutzen und minimale Kosten) als auch die negativen (minimaler Nutzen, maximale Kosten) Lösungsmöglichkeiten angeführt. Die Methode gilt zwar als relativ einfach zu implementieren, die Anforderungen an Verfügbarkeit und Qualität der Daten sind jedoch sehr hoch (Tscheikner-Gratl et al. 2017). Als weiterführende Literatur kann hier auf Yoon und Hwang (2003) verwiesen werden.

➤ Prioritäts („outranking“) Modelle:

Die „Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations“ (PROMETHEE) Methode, basiert auf dem Vergleich von Planungsalternativen, unter der Berücksichtigung der Abweichungen, welche die Alternativen bezüglich jedes Planungskriteriums aufweisen. Hier erfolgt ein paarweiser Vergleich aller Kriterien der Alternativen, um die jeweiligen Stärken zu identifizieren. Es werden sowohl positive als auch negative Präferenzflüsse⁹ für jede Alternative herangezogen, um eine Rangfolge in Bezug auf Entscheidungsgewichte zu erzeugen. Die Anwendung dieser Methode ist sehr zeitaufwendig und erfolgt ohne spezielle Softwareumgebung, weshalb Programmierkenntnisse erforderlich sind. Dies erschwert eine klare Sicht auf das Problem für die EntscheidungsträgerInnen (Tscheikner-Gratl et al. 2017). Als weiterführende Literatur kann hier auf Brans und Vincke (1985) verwiesen werden.

Tscheikner-Gratl et al. 2017 haben in einer umfangreichen Fallstudie die angeführten MCDM Modelle für die Anwendung integrativer Rehabilitationsplanung getestet. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Ergebnisse der einzelnen Methoden aufgrund der unterschiedlichen Werteskalen, Gewichtungen sowie der Verteilung der Werte innerhalb der Kriterien, voneinander abweichen. Den größten Einfluss auf das Ergebnis weist hierbei die Auswahl der Kriteriengewichtung auf. Allen Modellen konnte ein nachvollziehbares und transparentes Ergebnis nachgewiesen werden. Aufgrund des komplexen Entscheidungsfindungsprozesses sollte die Bewertung der Modelle auf Basis der Transparenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse erfolgen. Des Weiteren zeigte die Fallstudie, dass bei eingeschränkter Datengrundlage simplere Modelle wie AHP und WSM ähnliche Ergebnisse liefern, wie komplexe „outranking“ Modelle. Die simpleren Methoden stoßen jedoch bei der Integration vieler Kriterien an ihre Grenzen. Hierfür eignet sich das Modell TOPSIS, da es ohne spezielle Programmierkenntnisse angewendet werden kann und sich deshalb in den Entscheidungsfindungsprozess relativ einfach integrieren lässt. Ein sehr mächtiges Werkzeug stellen die

⁹ Der Präferenzfluss wird aus der Präferenzfunktion, die jeder Handlungsalternative einen Präferenzwert zuordnet, abgeleitet

komplexen „outranking“ Modelle wie „PROMETHEE“ dar, da EntscheidungsträgerInnen die Möglichkeit haben, Schwellwerte für Kriterien festzulegen, um den Einfluss auf den Prozess zu erhöhen. Die Anwendung erfordert jedoch Erfahrung und Programmierkenntnisse. Zusätzlich ist eine Anwendung bei eingeschränkter Datengrundlage nicht möglich (Tscheikner-Gratl et al. 2017).

3.6.2 GIS als Werkzeug in der Entscheidungsfindung von Infrastrukturmaßnahmen

Haghwerdi-Poor (2007) beschreibt GIS im Allgemeinen als methodisch arbeitendes, datenbankorientiertes Instrument mit dem Fokus auf informationelle Unterstützung der Aufgabenerledigung in der Planungspraxis, um über heuristische Entscheidungsfindung hinauszugehen und somit Handlungsmöglichkeiten im Voraus auf Effektivität und Effizienz zu prüfen. Die Aufgaben von GIS als Planungswerkzeug fasst der Autor als selektive Informationssuche und interpretierbare Informationsverarbeitung, wodurch raumbedeutsame Erkenntnisse wie Entwicklungsszenarien, Entscheidungsnotwendigkeiten und Handlungsalternativen ermittelt werden können, zusammen. GIS soll die Methodik des Entscheidungsfindungsprozesses unterstützen, indem es bei der Koordinierung der Planung von Einzelprozessen unterstützt und deren Wirkung aufzeigt. Die GIS gestützten räumlichen Informationen sollen zu einer sachlichen Entscheidung, durch eine Möglichkeit der Abschätzung von Ent- und Belastungen, Umweltkonsequenzen und der Wirtschaftlichkeit bestimmter Planungsmaßnahmen führen (Haghwerdi-Poor 2007).

Auch Coutinho-Rodrigues et al. (2011) weisen auf den starken räumlichen Bezug von Entscheidungen im Infrastrukturmanagement hin. Sinnvolle Entscheidungen erfordern eine analytische und systematische Bestimmung aller beeinflussenden Faktoren. Daher soll im folgenden Abschnitt die Methode der „multicriteria spatial decision analysis“ (MSDA), welche eine Kombination aus MCDM und GIS darstellt, genauer beschrieben werden. Zusätzlich soll auf die GIS – gestützte Visualisierungsmöglichkeiten zur Unterstützung von Entscheidungen eingegangen werden.

Multicriteria Spatial Decision Analysis (MSDA)

In der Regel wird man in der Infrastrukturplanung mit komplexen, räumlichen und multikriteriellen Problemen konfrontiert. Hinzu kommt, dass Investitionen meist teuer sind und langfristig angelegt werden. Zur Evaluierung der Investitionen bedarf es besonderer Rücksicht verschiedenster Kriterien, welche Einflüsse auf soziale, ökologische und ökonomische Gegebenheiten aufweisen. Aufgrund des starken räumlichen Bezuges und der Beachtung einer Vielzahl von Kriterien, ist es notwendig räumliche Daten mit Algorithmen der MCDM Systeme zu verknüpfen. Die Kombination „multicriteria spatial decision analysis“ (MSDA), soll Brücken zwischen EntscheidungsträgerInnen und komplexen computer-

gestützten Modellen bilden und so einen evaluierenden Vergleich aller ermittelten Alternativen der Infrastrukturinvestitionen bilden. Durch die Möglichkeit der Analyse, Modifizierung und Evaluierung bestehender bzw. benötigter Informationen sollen EntscheidungsträgerInnen in ihren Planungstätigkeiten unterstützt werden. Da MSDA - Systeme EntscheidungsträgerInnen und nicht ausschließlich Experten unterstützen sollen, ist es notwendig, dass die Systeme in einer möglichst flexiblen und anwenderfreundlichen Umgebung integriert sind. Dies soll die Haltung und Strukturierung von Informationen, den Einsatz statistischer Analysen und eine übersichtliche Visualisierung der ermittelten Alternativen ermöglichen. Ein anwenderfreundlicher Einsatz mit dem Fokus auf der Identifizierung und Strukturierung aller beeinflussender Kriterien fördert den partizipativen Prozess und führt so zu einer gemeinsamen Entscheidung (Coutinho-Rodrigues et al. 2011). Die Voraussetzung eines erfolgreichen Einsatzes ist nach Di Michele und Daniela (2011) ein barrierefreier Zugang zu den notwendigen Daten, um den Informationsaustausch zwischen allen Beteiligten zu koordinieren. Haghwerdi-Poor (2007) führt die Existenz qualitativ hochwertiger Daten als Grundbedingungen eines erfolgreichen Einsatzes an. Ohne geeignetes Datenmanagement und innovativer Einsatzfelder besteht die Gefahr, dass trotz der hohen Kosten bei der Datenerfassung der Mehrwert des GIS Einsatzes ungenützt bleibt. Die Probleme bei der Datenqualität können auf nicht nutzergerechte Datenaufbereitung, fehlende Regelwerke für die Aggregation von Rohdaten und fehlende standardisierte Schwellenwerte zu Qualitätsbewertung zurückgeführt werden. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die notwendigen Geodaten zum GIS Einsatz in den Kommunen vorliegen. Dies betrifft Straßen- und Transportnetzwerke, Ver- und Entsorgungssysteme, Landnutzung und Umweltressourcen. Als Herausforderung zur Nutzung der Daten gilt, die Beziehungen und Interaktionen dieser Geodaten untereinander zu verstehen.

Bei der Entscheidungsfindung von Sanierungsmaßnahmen ermöglicht GIS durch die Bildung von Schnittmengen verschiedener Themenbereiche und der Herstellung räumlicher Beziehungen einen ganzheitlichen Ansatz, in dem betriebliche und technische Aspekte in verschiedene Entscheidungsebenen einbezogen werden können (Di Michele und Daniela 2011). GIS bietet die Möglichkeit räumliche Daten in eine Problemlösungsumgebung einzubinden und stellt so eine wichtige Methode bei der Analyse von Entscheidungsproblemen dar. Daher wird in der Literatur GIS Standardsoftware häufig als Entscheidungshilfesystem angesehen. Diese bietet jedoch meist nur die Möglichkeit zur Beobachtung aktueller Bedingungen und Modellierung simpler Basisszenarien. Spezielle Modellierungssoftware hingegen ermöglicht zusätzlich, durch die Integration bestimmter Modelle, einzelne Parameter zu verändern, um so verschiedene Szenarien zu erstellen, welche im Anschluss bewertet und verglichen werden können (Chakraborty und McMillian 2018).

Der Hauptvorteil einer zusätzlichen Einbindung von MCDM in ein GIS besteht darin, dass EntscheidungsträgerInnen ihre Präferenzen in Bezug auf Bewertungskriterien und Alternativen in GIS-basierte Entscheidungsprozesse integrieren können und so eine Rückmeldung der Auswirkungen für die gesellschaftliche und politische Evaluierung erhalten. Dieser Vorgang kann das Vertrauen der EntscheidungsträgerInnen und der betroffenen Bevölkerung in die Ergebnisse erhöhen. GIS in Kombination mit MCDM kann als Prozess betrachtet werden, der Geodaten und die Präferenzen der EntscheidungsträgerInnen transformiert und kombiniert, um Informationen für den Entscheidungsprozess zu erhalten. Es unterstützt den integrativen Planungsprozess indem es eine flexible Problemlösungsumgebung bereitstellt, die Werkzeuge zur Strukturierung von Entscheidungsproblemen und zur Verbesserung der Kommunikation bereitstellt (Malczewski 2006).

Ein solch beschriebenes MSDA - System kam von Coutinho-Rodrigues et al. (2011) zur Planung einer Wassernetzweiterung in Coimbra, Portugal zum Einsatz. Eine Netzerweiterung war aufgrund des stetig steigenden Bedarfs der Region notwendig. Hierfür wurden 4 unterschiedliche Alternativen der Investitionskosten erarbeitet und entsprechend visualisiert (siehe Abbildung 38 bis Abbildung 41). Mit Hilfe von GIS wurde ein Geländemodell erstellt, welches aufgrund der heterogenen Geländestruktur eine wichtige Information im Bereich des Wassermanagements darstellt. Auf Basis bereits vorhandener Leitungen (violett dargestellt), geplanten Leitungen (rot strichliert dargestellt) und den unterschiedlichen Druckzonen (gelbe Flächen) wurde unter Einbezug bestimmter Kriterien verschiedene Investitionsalternativen erarbeitet und bewertet. Die Kosten für Pflasterung der Straßen ergab sich aus einer Pufferfunktion in Abhängigkeit des Leitungsdurchmessers. In dem erstellten Geländemodell wurden Bodeninformationen integriert, um das Volumens des notwendigen Aushubes im Zuge der Bauarbeiten zu eruieren. Zusätzlich wurden Landnutzungskarten verwendet, um die Zahl der betroffenen Anwohner zu quantifizieren. Auf Basis dieser Informationen und einer übersichtlichen Visualisierung der bestehenden Alternativen, wurden die EntscheidungsträgerInnen unterstützt. Laut Coutinho-Rodrigues et al. (2011) bietet der GIS Einsatz durch die Visualisierung aller ermittelten Alternativen eine wichtige Unterstützung in der Entscheidungsfindung. Eine nutzerfreundliche Visualisierung ermöglicht den AnwenderInnen die vorhandene räumliche Information zu lokalisieren und eine kritische Betrachtung aller Alternativen aus einem räumlichen Blickwinkel.

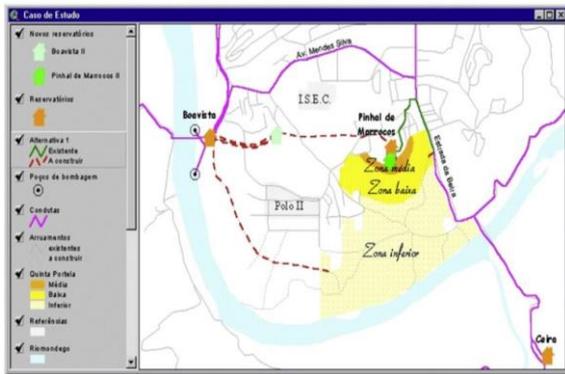


Abbildung 38: MSDA am Beispiel der Wassernetzweiterung in Coimbra, Portugal - Alternative 1 (Coutinho-Rodrigues et al. 2011, S. 723)

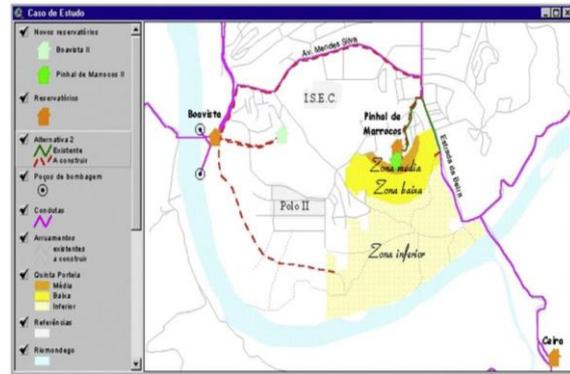


Abbildung 39: MSDA am Beispiel der Wassernetzweiterung in Coimbra, Portugal - Alternative 2 (Coutinho-Rodrigues et al. 2011, S. 723)

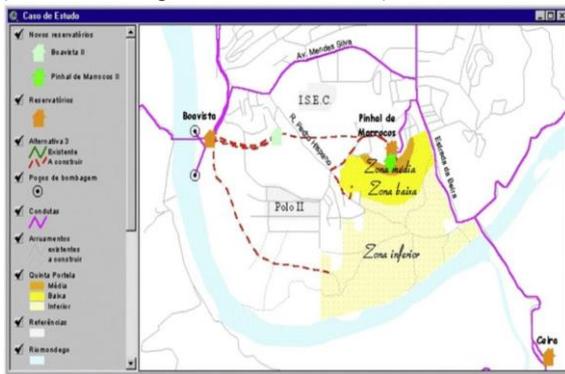


Abbildung 40: MSDA am Beispiel der Wassernetzweiterung in Coimbra, Portugal - Alternative 3 (Coutinho-Rodrigues et al. 2011, S. 723)

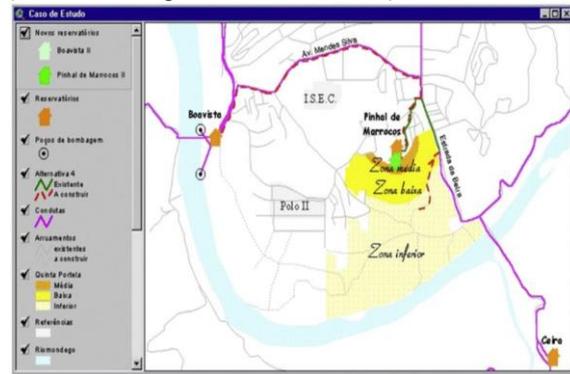


Abbildung 41: MSDA am Beispiel der Wassernetzweiterung in Coimbra, Portugal - Alternative 4 (Coutinho-Rodrigues et al. 2011, S. 723)

Visualisierung

Eine sehr wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung spielt die Visualisierung der ermittelten Alternativen und Szenarien. Die Visualisierung aller möglichen Alternativen auf einer Karte unterstützt den Entscheidungsprozess, durch die Förderung der Partizipation bei der Alternativen- und Kriterienbewertung von Beteiligten. EntscheidungsträgerInnen, welche meist politische Rollen ausüben, verfügen über begrenzte Ressourcen um Probleme zu analysieren bzw. Lösungswege zu finden und diese anschließend zu bewerten. Diese Arbeit wird je nach Ausmaß von einem/einer oder mehreren AnalystInnen durchgeführt, die anschließend die Ergebnisse dem bzw. der EntscheidungsträgerIn in zusammengefasster Form präsentieren. EntscheidungsträgerInnen möchten wenige, klare und einfach zu vergleichende Optionen haben. Für eine endgültige und fundierte Entscheidung müssen sie jedoch wissen, wo die Optionen herkommen, warum diese ausgewählt wurden und welche Kompromisse mit der Wahl einhergehen. Dies erhöht die Wichtigkeit der Kommunikation in dieser Phase des Entscheidungsfindungsprozesses, wofür die visuelle Repräsentation äußerst wertvoll sein kann. Unterstützende Visualisierung auf Basis derer räumlichen Entscheidungen getroffen werden, müssen nach Andrienko et al. (2007) folgende Punkte beachten:

➤ Kollaboration

Interaktive und visuelle Schnittstellen ermöglichen es vielen AkteurInnen über Büro- und Ländergrenzen hinweg, vernetzte und integrative Arbeit zu verrichten.

➤ Kommunikation

Effektive Übertragung von räumlichen Informationen, Wissen und Überlegungen von einem/einer AkteurIn zum/zur anderen.

➤ Flexibilität

Wie können Schnittstellen an Bedürfnisse und Fähigkeiten der einzelnen AkteurInnen angepasst werden?

Visuelle Darstellungen sind wichtig, wenn geographischer und physikalischer Raum involviert ist. Die Heterogenität des Raumes und die Vielfalt der Eigenschaften und Beziehungen dieser, kann mittels vollautomatischer Verarbeitung oft nicht adäquat hergestellt werden. Isomorphe Darstellungen, wie Karten, erlauben EntscheidungsträgerInnen räumliche Beziehungen und Muster direkt wahrzunehmen. Zusätzlich ermöglicht die Karte durch Integration von Grenzen, Straßen, Flüssen und weiterer topografischer Elemente, die Festlegung des geographischen Kontextes in dem Entscheidungen getroffen werden. Visuelle Darstellungen müssen es ermöglichen ein Entscheidungsziel zu definieren, Informationen aus einer Vielzahl von Daten zu erkennen, plausible Szenarien zu erstellen sowie diese zu priorisieren und Handlungsoptionen darzustellen, um schlussendlich das bestmögliche Vorgehen abzuleiten. Damit gehen nach Andrienko et al. (2007) folgende Herausforderungen einher:

➤ Skalierbarkeit

Methoden und Werkzeuge müssen in Bezug auf Datenmenge, Dimensionalität, Heterogenität, Datenqualität sowie Displayauflösung und Interaktionsmöglichkeiten skalierbar sein.

➤ Interoperabilität

Ein generisches System mit allen erforderlichen Werkzeugen und Methoden ist in der Regel nicht verfügbar, weshalb eine einwandfreie Zusammenarbeit unterschiedlicher Werkzeuge erforderlich ist.

➤ Visualisierung komplexer raumzeitlicher Konstrukte

Viele Arten von räumlichen Entscheidungsproblemen erfordern Konstruktion und Analyse von Maßnahmen, welche sich auf unterschiedliche Positionen und Zeitpunkte beziehen. Analysten benötigen Werkzeuge, um solche raumzeitlichen Konstrukte zu überprüfen, vergleichen und visualisieren zu können.

➤ Verknüpfung von Exploration und Validierung

Es ist bekannt, dass visuelle Präsentation bei unsachgemäßer Anwendung irreführend sein kann. Im Entscheidungsfindungsprozess ist es jedoch unumgänglich, dass Entscheidungen auf gültigen Prämissen basieren. Daher sollten Wege gefunden werden um explorative Visualisierung mit der Validierung von Mustern und Beziehungen, welche aus den Daten gewonnen werden, zu verknüpfen.

➤ Unterstützung der Erfassung und Bearbeitung von Wissen

Analysten erhalten von der Verarbeitung subjektive Eindrücke und Ideen. Die Herausforderung besteht darin, diese in eine Form zu bringen, welche später überprüft, anderen kommuniziert und in weiteren Analysen und Phasen des Entscheidungsprozesses verwendet werden können.

Nach Andrienko et al. (2007) sind bestehende Werkzeuge zur räumlichen Entscheidungsfindung oft nicht in der Lage mit der Komplexität und Heterogenität realer Probleme umzugehen. Dies hat zur Folge, dass AnwenderInnen die Probleme vereinfachen und reduzieren müssen, um sie an die Fähigkeiten der Werkzeuge anzupassen. Diese Unzulänglichkeit ist auf die oft schlechte Definition der räumlichen Entscheidungsprobleme zurückzuführen. Die Lösungsansätze, welche die Autoren vorschlagen, beziehen sich auf die Ergänzung der computergestützten Methoden durch menschliches Hintergrundwissen, flexibles Denken, Imagination und Erkenntnisfähigkeit. Visualisierung und interaktive visuelle Verarbeitung sind eine effektive Möglichkeit, Material für menschliche Analysen und Argumentationen zu liefern, um so die Beteiligung von Menschen an der Problemlösung zu unterstützen.

Business Intelligence (BI)

Um die gegenseitige Stärkung von Menschen und Computer zu ermöglichen reicht eine simple Kombination von Visualisierung und rechnerischer Analyse bzw. Modellierung nicht aus, weshalb an dieser Stelle die Methoden der „Business Intelligence“ (BI) beschrieben werden.

BI kann als Architektur, Werkzeug oder Technologie beschrieben werden, welche Daten sammelt, speichert, analysiert und diese in Form von Berichten und Abfragen EntscheidungsträgerInnen intuitiv und übersichtlich präsentieren. Der traditionelle BI Ansatz beschäftigt sich mit der Datenaggregation, -analyse, und -visualisierung. In dieser Arbeit stehen die Möglichkeiten der Datenvisualisierung im Vordergrund. BI sollte EntscheidungsträgerInnen einen direkten und interaktiven Zugriff auf Daten ermöglichen und gleichzeitig die technologische Komplexität verbergen (Khan und Quadri 2012).

Eine Verbesserung des traditionellen BI-Ansatzes kann nach Wickramasuriya et al. (2013) durch die Integration von GIS erreicht werden. Diese technisch anspruchsvolle Integration

bringt neue Möglichkeiten Daten zu analysieren und darzustellen. Angesichts der Tatsache, dass im Infrastrukturmanagement vorliegende Daten einen geographischen Bezug aufweisen, bietet Geo-BI die notwendige räumliche Perspektive um auch als Werkzeug für die integrative Entscheidungsfindung eingesetzt zu werden.

Die Benutzeroberfläche einer Geo-BI setzt sich aus mehreren interaktiven Berichten, wie Karten und Diagrammen zusammen. Die einfachste Form hierbei wäre eine Anzeige von Informationen in einem „Tooltip“¹⁰. Filter können in Form von Listen, Dropdown-Menüs oder Schieberegler zur Verfügung gestellt werden. Als Beispiel wird hier das Werkzeug M.App Enterprise, welches auch in der folgenden Fallstudie zum Einsatz kommt, genauer beschrieben.

M.App Enterprise ist eine Plattform zur Erstellung individuell angepasster Geodaten - Applikationen. Zwei- bzw. Dreidimensionale Vektor- und Rasterdaten werden durch Workflows, Analysemöglichkeiten und Berichten in Form von Diagrammen EntscheidungsträgerInnen zugänglich gemacht. Eine dynamische Interaktion zwischen AnwenderIn, Karte und Berichten unterstützt einerseits die Entscheidungsfindung und ermöglicht andererseits eine Plausibilitätsprüfung der Daten. Analysen und Abfragen können durch einfache Steuerung der Diagramme, Legendeneinträge und Objekte in der Karte durchgeführt werden. M.App Enterprise setzt sich aus einer Kombination aus „Rich-Client“, welcher GIS-ExpertInnen das Datenmanagement ermöglicht und ein „Thin-Client“ der den webbasierten Zugang zu den Informationen ohne speziell erforderliche GIS Fähigkeiten bietet. GIS ExpertInnen können durch Rechte- und Rollenvergabe individuell angepasste Apps („Thin-Client“) errichten, welche den jeweiligen Zuständigen eine übersichtliche Darstellung und statistische Auswertung der eigenen Daten ermöglicht und so die Beantwortung komplexer räumlicher Fragestellungen ermöglicht. Folgende Fragestellungen können u.a. damit analysiert werden:

¹⁰ Darunter versteht man kleine Pop-up Fenster die eine übersichtliche Information, häufig mittels „mouse over“ Funktion, bieten.

➤ Wo befinden sich jene Leitungen, welche am Ende ihrer technischen Nutzungsdauer angelangt sind?

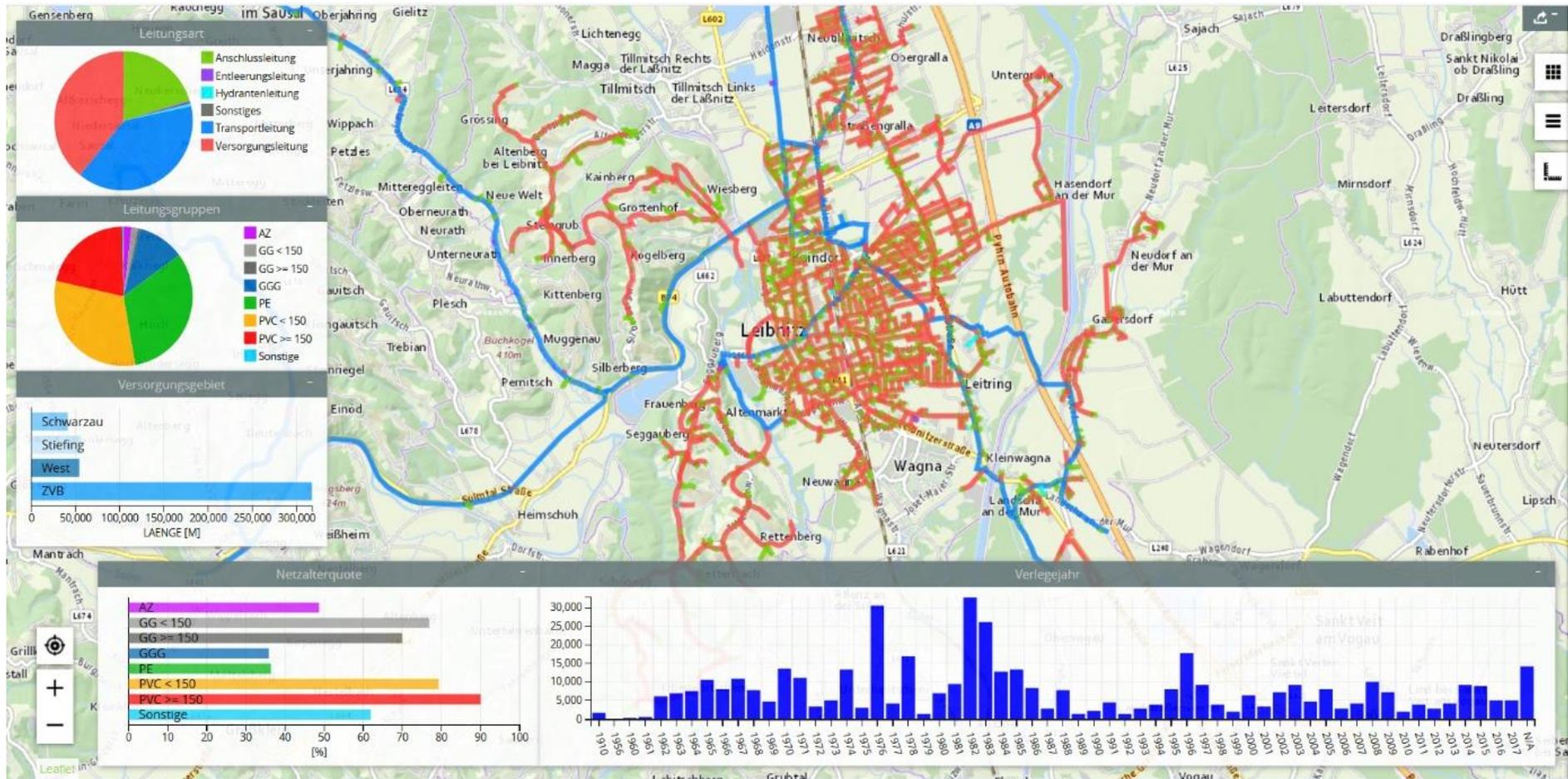


Abbildung 42: M.App Enterprise: Darstellung eines Wasserleitungsnetzes mit Berichten zu Leitungstyp, technischer Nutzungsdauer und Baujahr (eigene Darstellung, 17.09.2018)

➤ Welcher Buchwert ergibt sich aus der Summe aller Kanaldruckleitungen, welche nach dem Jahr 2000 errichtet wurden?

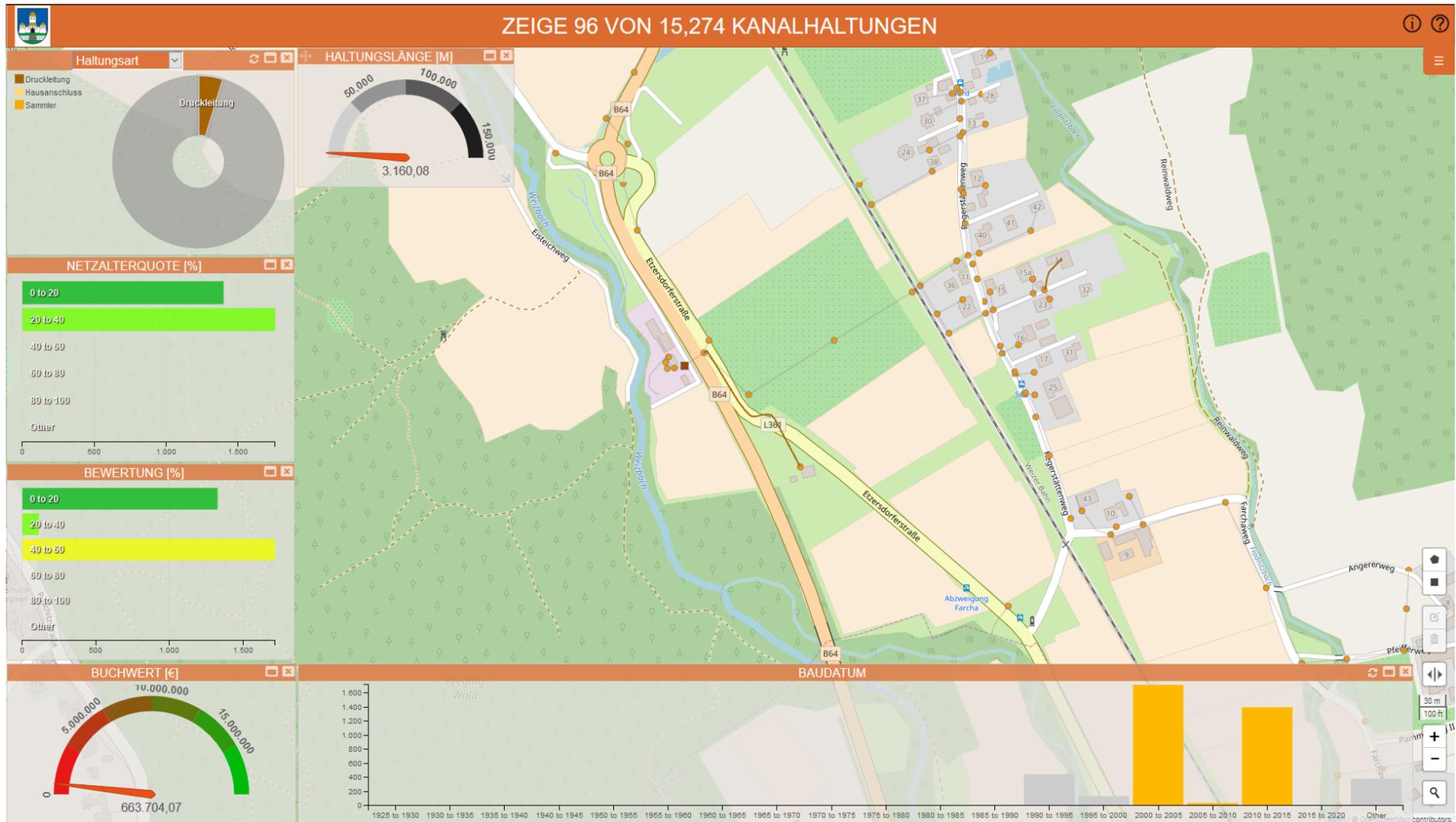


Abbildung 43: M.App Enterprise: Darstellung eines Kanalnetzes mit Berichten zu Haltungsart, Netzalterquote, Baujahr und Buchwert (eigene Darstellung, 17.09.2018)

➤ Welche Straßenabschnitte haben in 10 Jahren einen kritischen Gesamtzustand (Kanal-, Wasser- und Straßenzustände) erreicht?

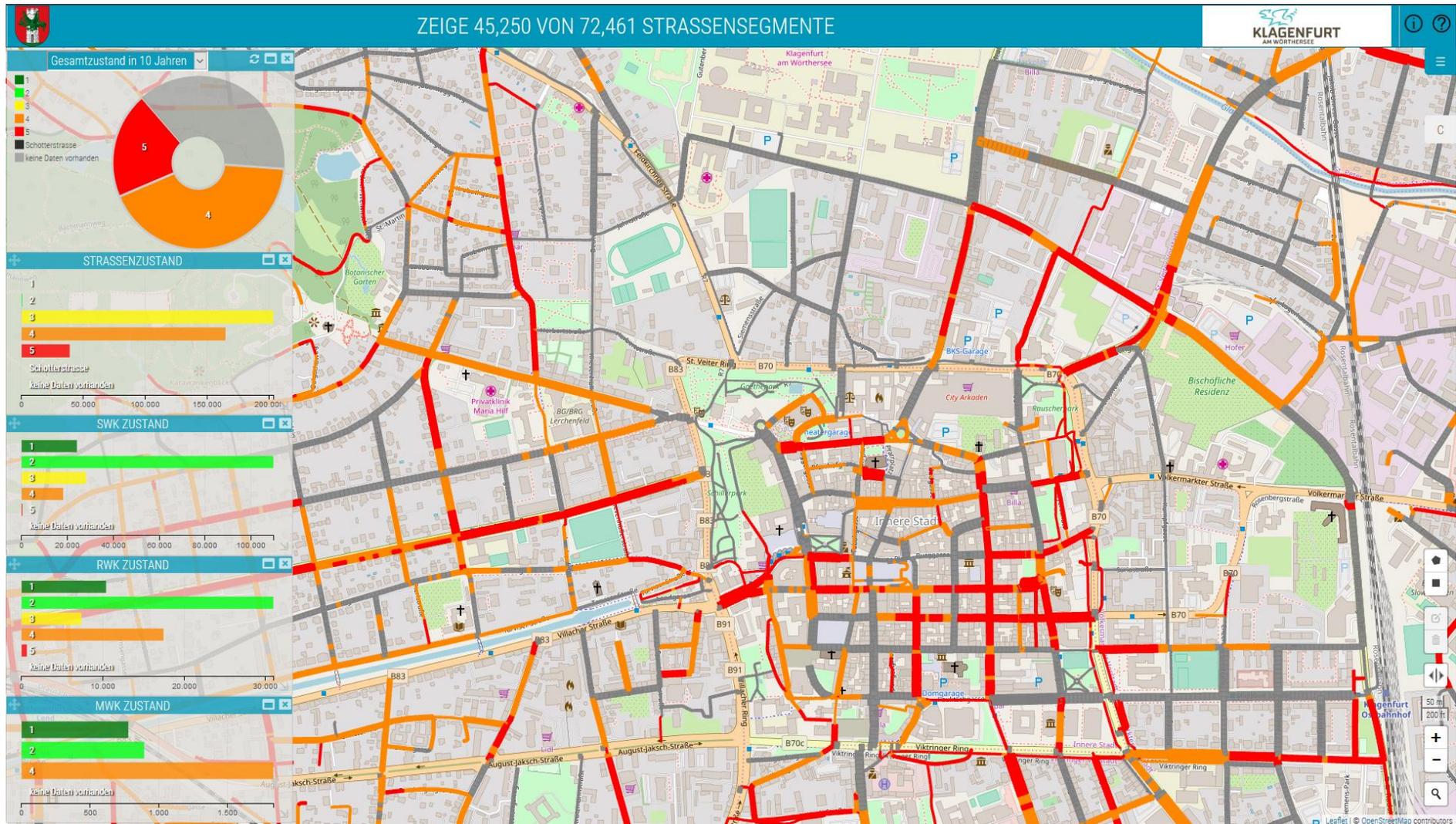


Abbildung 44: M.App Enterprise: Darstellung eines integrativen Infrastrukturnetzes mit Prognoseangaben und Einzelzuständen (eigene Darstellung, 17.09.2018)

3.7 Modell- und Parameterübersicht

Abschließend wird in diesem Abschnitt eine Übersicht der beschriebenen Modelle und verwendeten Parameter gegeben. Diese soll einerseits eine Möglichkeit zur Methodenauswahl basierend auf der verfügbaren Datengrundlage bieten und andererseits Angaben liefern, welche Daten für den Einsatz bestimmter Methoden zur integrativen Sanierungsplanung noch erhoben werden müssen.

Tabelle 11 zeigt eine Parametereinteilung nach den Datengruppen Bestands- und Inspektionsdaten sowie wirtschaftliche, umweltrelevante und weitere Informationen. Es werden jene Parameter abgebildet, welche im Gesamtprozess der integrativen Planungsmethode von Wichtigkeit sind. Diese belaufen sich von der Erhebung im Zuge eines Leitungskataster über die Zustandsinspektion bis hin zu den Einflussfaktoren auf den Verschlechterungsprozess von Leitungsnetzen. Der Fokus der Arbeit liegt auf den statistischen Parametern (z.B. Alter, Material usw.), welche auch in den meisten Modellen als Mindestvoraussetzung gelten und in der Regel auch bei den Betreibern, aufgrund der Durchführung eines Leitungskatasters, vorhanden sind (siehe Kapitel 2.4.3). Diese wurden neben jenen Parametern, welche große Wichtigkeit bzw. Einfluss auf den Planungsprozess haben (z.B. Wertverlust, Expertenwissen usw.) in der Tabelle 11 hervorgehoben. Die physikalischen bzw. mechanischen Einflussfaktoren spielen aufgrund der aufwendigen Erhebung eine untergeordnete Rolle.

Die Tabellen 12 bis 17 zeigen eine Übersicht aller beschriebenen Modelle zur Einzelnetzbeurteilung bzw. für Zustandsprognosen. Die Datengruppen findet man zur Angabe der erforderlichen Datengrundlage in diesen Tabellen wieder. Die Datengrundlage in der Modellübersicht unterteilt sich in „must-have“ und „nice-to-have“. Erstere geben die Mindestvoraussetzungen zur plausiblen Anwendung der Modelle an. Die Verfügbarkeit von „nice-to-have“ Datengruppen kann die Aussage der Modellergebnisse verbessern. Zu beachten ist, dass bei der Angabe einer bestimmten Datengruppe in der Modellübersicht nicht alle dazugehörigen Parameter für die Modellanwendung vorhanden sein müssen. In der Regel bezieht sich die Angabe von Bestandsdaten auf Material, Funktion, Durchmesser, Baujahr, technische Nutzungsdauer und Geometrie. Für Inspektionsdaten sind hierbei meist nur Zustandsklassifikationen bei Kanalnetzen und Straßen sowie Schadensstatistiken bei Wasserleitungsnetzen relevant. Eine genaue Parameterbeschreibung kann in den Modellbeschreibungen in den Kapiteln 3.3 und 3.4 gefunden werden. Es wurden jene Modelle hervorgehoben, welche in der Praxis häufig zum Einsatz kommen oder im Zuge der Fallstudie von Bedeutung sind. Ein Vergleich der einzelnen Modelle ist aufgrund der unterschiedlichen Eingangsdaten und den stark voneinander abweichenden Ergebnisaussagen nicht sinnvoll. Die

Auswahl der Methoden muss immer an die Anforderungen der Beteiligten, die lokalen Gegebenheiten und die vorhandene Datengrundlage angepasst werden.

Die beschriebenen Modelle in Tabelle 18, die sich auf die Integration der Zustands- und Alterungsmodelle zur Gesamtanalyse aller Netze beziehen, unterscheiden sich in ihrer Komplexität und ihren Datenanforderungen. Die Komplexität der integrativen Modellierung ergibt sich durch unbekanntes Verhalten, welches durch die Interaktion der einzelnen Komponenten der Leitungsnetze entsteht. Die Herausforderung besteht neben der Abbildung dieser Verhaltensweisen in den integrativen Modellen, aus dem Umgang mit den unterschiedlichen Klassifizierungsansätzen der Einzelnetze. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Zuverlässigkeit der Ergebnisse mit der Anzahl der abgebildeten Faktoren steigt. Die Integration vieler Faktoren bedarf aber meist der Anwendung komplexer Modelle. Eine Modellvereinfachung kann durch Minimierung der Modellparameter in Kombination mit der Integration von Expertenwissen erfolgen. Aufgrund der Methode der Zustandsüberlagerung ist es notwendig, dass Zustandsklassifikationen des Ist-Zustandes aber auch zukünftiger Zustände vorhanden sind. Hierbei gilt der Grundsatz, dass unpräzise Daten unvollständigen Datensätzen vorzuziehen sind. Sollte eine notwendige Datengrundlage zur Durchführung von aufwendigen Zustandsbewertungen (z.B. ISYBAU 2006) bzw. Modellierungen von Alterungsprozessen (z.B. Kohorten Überlebensmodell) nicht vorhanden sein, werden in dieser Arbeit Alternativmethoden mit geringeren Datenanforderungen angeführt, welche in der Fallstudie zum Einsatz kommen. Somit können vergleichbare Zustandsklassifikationen für die integrative Sanierungsplanung, basierend auf Bestandsdaten, welche in der Regel bei den Netzbetreibern vorhanden sind, durchgeführt werden.

Tabelle 11: Parameterübersicht: Datengrundlage der Zustands- und Bewertungsmodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

	Bestandsdaten		Inspektionsdaten	Wirtschaftliche Informationen	Umweltinformationen	Weitere Informationen
	Haltungen/Leitungen	Knoten				
Kanal	Startknoten (ID)	Bezeichnung	Zustandsklassifikation	Anschaffungskosten	Klimainformationen (Niederschlag, Temperatur, etc.)	Risikopotential
	Endknoten (ID)	Typ (Schacht, Pumpwerk, ...)	Inspektionsprotokolle			
	Material	Schachtmaterial	Fotos			
	Funktion	Deckelmaterial	Videos			
	Durchmesser	Schachtdurchmesser	Schadensbeschreibungen			
	Gefälle	Deckeldurchmesser	Wasserschutzzonen	Investitionskosten	Grundwasserverhältnisse	
	Geometrie (Haltungsverlauf, -länge)	Deckelklasse	bauliche Gefährdungsaspekte			
		Geometrie (X,Y,Z)	betriebliche Gefährdungsaspekte			
		ID	umweltrelevante Gefährdungsaspekte			
		Netz (SWK, RWK, MWK)	Dichtheit			
	Baujahr (Alter)	Bodenart	Wertverlust			
	techn. Nutzungsdauer	Korrosion				
	Betreiber					
	Eigentümer					
Wasser	Startknoten (ID)	Bezeichnung	Schadensaufzeichnungen	sozioökonomische Kosten	Bevölkerungsinformationen (Demographische Daten, Anzahl der betroffenen Personen, etc.)	Vulnerabilität
	Endknoten (ID)	Typ (Schacht, Hydrant, Armatur)	Wasserverlust			
	Material	Schachttiefe	Funktionsprotokolle			
	Funktion	Einbautiefe	Fotos			
	Durchmesser	Geometrie (X,Y,Z)	Schadensbeschreibungen			
	Geometrie (Leitungsverlauf, -länge)		bauliche Gefährdungsaspekte	ökonomische Nutzungsdauer		
		ID	betriebliche Gefährdungsaspekte			
		Druckstufe	umweltrelevante Gefährdungsaspekte			
		Baujahr (Alter)	Dichtheit			
		techn. Nutzungsdauer	Bodenart			
	Betreiber		Korrosion			
	Eigentümer					
	ID	Zustandsklassifikation				
	Straßenkategorie	Inspektionsprotokolle				
	Baujahr (Alter)	Fotos				
Straße		Straßenoberfläche	Videos	Lebenszykluskosten	Verkehrsinformationen (Verkehrsbelastung, Schwerverkehr, Geschwindigkeit, etc.)	Expertenwissen (spezielle Eigenheiten der Netze, besondere Vorkommnisse, etc.)
		Geometrie (Straßenverlauf, -länge, -breite)	Schadensbeschreibungen			
		Erhalter	bauliche Gefährdungsaspekte			
		Eigentümer	betriebliche Gefährdungsaspekte			
			umweltrelevante Gefährdungsaspekte			

Tabelle 12: Modellübersicht Kanal: Zustandsbewertungsmodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Modell	Datenanforderungen		Literaturquelle
	Must-have	Nice-to-have	
STATUS	Inspektionsdaten	Bestandsdaten	Stein (2018), Trülzsch (2015)
DWA-M 149-3	Inspektionsdaten		DWA - Regelwerk Merkblatt DWA-M 149-3 (2015)
ISYBAU 2006	Inspektionsdaten	Bestandsdaten¹¹	Fischer und Scholz (2013)
Alternativbewertung		Bestandsdaten¹²	Tscheikner-Gratl et al. (2016b), Trülzsch (2015)

Tabelle 13: Modellübersicht Kanal: Zustandsprognosemodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Kategorie	Modelle	Datenanforderungen		Literaturquelle
		Must-have ¹³	Nice-to-have	
Statistisch	Kohorten Überlebensmodell		Inspektionsdaten	Kley und Caradot (2013)
	(Semi-)Markov Modell	Inspektionsdaten	Umweltinformationen	Kley und Caradot (2013)
	Logistische Regression	Inspektionsdaten	Umweltinformationen	Ana und Bauwens (2010), Tscheikner-Gratl et al. (2016)
Physikalisch / mechanisch	ExtCorr			Ana und Bauwens (2010)
	Care-S			Ana und Bauwens (2010)
Künstliche Intelligenz	Neuronale Netzwerke			Ana und Bauwens (2010)
	Fuzzy Set Theorie			Ana und Bauwens (2010)
Alternativmethoden		Bestandsdaten	Umweltinformationen	Tscheikner-Gratl (2015), Trülzsch (2015)

¹¹ Die Bestandsdaten werden im Zuge der Inspektion erhoben, ergänzt und kontrolliert

¹² Minimale Datenanforderung ist das Vorhandensein von Baujahr, Material und technischer Nutzungsdauer. Die Integration weiterer Bestandsdaten können das Ergebnis verbessern.

¹³ Für den Einsatz der Prognosemodelle wird lediglich die Zustandsbewertung benötigt. Vorhandene Bestandsdaten und Umweltinformationen können das Ergebnis jedoch verbessern

Tabelle 14: Modellübersicht Wasser: Zustandsbewertungsmodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Modell	Datenanforderungen		Literaturquelle
	Must-have	Nice-to-have	
PiReM	Bestandsdaten, Inspektionsdaten ¹⁴		<i>Fuchs-Hanusch et al. (2008)</i>
KANEW	Bestandsdaten, Inspektionsdaten, Wirtschaftliche Informationen		<i>Trülzsch (2015)</i>
Alternativbewertung	Bestandsdaten		<i>Trülzsch (2015), Scholten et al. (2013)</i>

Tabelle 15: Modellübersicht Wasser: Zustandsprognosemodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Kategorie	Modelle	Datenanforderungen		Literaturquelle
		Must-have	Nice-to-have	
Statistisch	Kohorten Überlebensmodell	Bestandsdaten	Wirtschaftliche Informationen	<i>Kleiner und Rajani (2001), Herz (1996)</i>
	Bayes'sche Diagnosemodell	Bestandsdaten		<i>Kleiner und Rajani (2001), Kulkarni et al. (1986)</i>
	(Semi-)Markov Modell	Inspektionsdaten	Bestandsdaten	<i>Kleiner und Rajani (2001), Gustafson und Clancy (1999)</i>
	Break Clustering	Inspektionsdaten		<i>Kleiner und Rajani (2001), Goulter und Kazemi (1983)</i>
Physikalisch / mechanisch	Frost load			<i>Kleiner und Rajani (2001)</i>
	Leitung - Boden Interaktionen			<i>Kleiner und Rajani (2001)</i>
	Reststruktur-beständigkeit			<i>Kleiner und Rajani (2001)</i>
	Korrosionsstatus-index			<i>Kleiner und Rajani (2001)</i>
Alternativmethoden		Bestandsdaten	Inspektionsdaten	<i>Tscheikner-Gratl (2015), Trülzsch (2015)</i>

¹⁴ Unvollständige Bestandsdaten werden bei der Modellierung ergänzt

Tabelle 16: Modellübersicht Straßen: Zustandsbewertungsmodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Modell	Datenanforderungen		Literaturquelle
	Must-have	Nice-to-have	
FGSV E EMI (SEP Maerschalk & Eagle Eye) ¹⁵	Inspektionsdaten	Bestandsdaten	Trülzsch (2015), FGSC E EMI
Alternativbewertung	Inspektionsdaten¹⁶	Bestandsdaten	Trülzsch (2015), Weninger-Vycudil et al. (2013)

Tabelle 17: Modellübersicht Straßen: Zustandsprognosemodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Kategorie	Modelle	Datenanforderungen		Literaturquelle
		Must-have	Nice-to-have	
Dringlichkeitsreihung	Lebenszyklusanalyse	Inspektionsdaten, Wirtschaftliche Informationen		Weninger-Vycudil et al. 2013, Babashamsi et al. (2016)

Tabelle 18: Modellübersicht Integrative Bewertungsmodelle (Eigene Darstellung, 02.10.2018)

Modell	Datenanforderungen	
	Must-have	Nice-to-have
Trülzsch (2015)	Inspektionsdaten, Bestandsdaten	
REHAB	Wirtschaftliche Informationen, Inspektionsdaten, Bestandsdaten	Weitere Informationen
Osman (2016)	Weitere Informationen	
Tscheikner-Gratl et al. (2016)	Bestandsdaten, Inspektionsdaten	Wirtschaftliche Informationen

¹⁵ Beide Methoden erheben im Zuge der Bewertung die benötigten Informationen wie Oberflächenzustand und Substanzmerkmale

¹⁶ Erhebung des Oberflächenzustandes im Zuge einer visuellen Zustandserfassung

4 Fallstudie: Anwendung der integrativen Planungsmethode am Praxisbeispiel der Landeshauptstadt Klagenfurt

In der folgenden Fallstudie soll der zuvor beschriebene methodische Ablauf des integrativen Planungsprozesses am Praxisbeispiel der Landeshauptstadt Klagenfurt umgesetzt werden. Die praktische Anwendung ist als Machbarkeitsstudie bzw. Aufbau eines Versuchsmodells anzusehen. Auf Basis der gegebenen Datengrundlage (siehe 4.2) ist es nicht möglich detaillierte integrative Sanierungsprioritäten abzuleiten. Es soll eine Diskussionsgrundlage für alle Beteiligten geschaffen werden, auf Basis derer weitere Schritte gemeinsam erarbeitet werden können. Da es sich hierbei um einen laufenden Prozess handelt, ist eine Funktionserweiterung bzw. Integration einer optimierten Datengrundlage im Projektzeitraum vorgesehen. Dieser Umstand wird vor allem in der Prozessmodellierung (siehe Kapitel 4.3) berücksichtigt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit Hilfe der Fallstudie die Anwendung, der in Kapitel 4 beschriebenen (meist komplexen und aufwendigen) Modellen, auf reale Herausforderungen untersucht wird. Damit einher gehen Modellvereinfachungen zur Anpassung an die gegebene Datengrundlage und die Interpretation der ermittelten Ergebnisse.

Einleitend wird in der Fallstudie zuerst das Untersuchungsgebiet beschrieben, wobei auf die prozessbeeinflussenden Faktoren wie demographische Zahlen, die Flächennutzung und Infrastrukturnetze eingegangen wird. Im Anschluss folgt eine genaue Beschreibung der Datengrundlage. Diese setzt sich aus einem topologisch aufbereiteten Straßennetz und dem Kanalnetz der Stadt zusammen, wobei nur die Straßen einer Zustandsbewertung unterzogen wurden. Bei der Prozessmodellierung erfolgt nach der Anwendung einer Alternativbewertung für den Kanalhaltungszustand die Ermittlung der Gesamtbewertung jedes Straßenabschnittes. Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, dass trotz der alternativen Bewertungsmodellierung plausible Ergebnisse ermittelt werden. Des Weiteren wird die Möglichkeit der Integration einer umfangreicheren Datengrundlage, in Form von Kanalzustandsbewertungen und weiteren Leitungsnetzen, diskutiert. Die Prozessmodellierung erfolgte mit Hilfe der Software FME Desktop und stellt die Grundlage für integrative Planungsmaßnahmen dar. Schlussendlich wurden die ermittelten Ergebnisse in die bereits beschriebenen Geo-BI Software M.App Enterprise zur Visualisierung und weiteren Analyse integriert. Danach werden die Möglichkeiten der praktischen Nutzung zur Planung integrativer Sanierungsmaßnahmen, die Evaluierung der Methode sowie Herausforderungen und der weitere Ausblick besprochen.

4.1 Untersuchungsgebiet

Die Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee im Zentrum des Klagenfurter Beckens erstreckt sich in ihrer Nord-Süd sowie Ost-West Ausdehnung auf ca. 15km und weist eine Fläche von 120 km² auf (Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee (Magistrat Klgf. 2017). Die 100.369 Einwohner (Stand 1.1.2018) verteilen

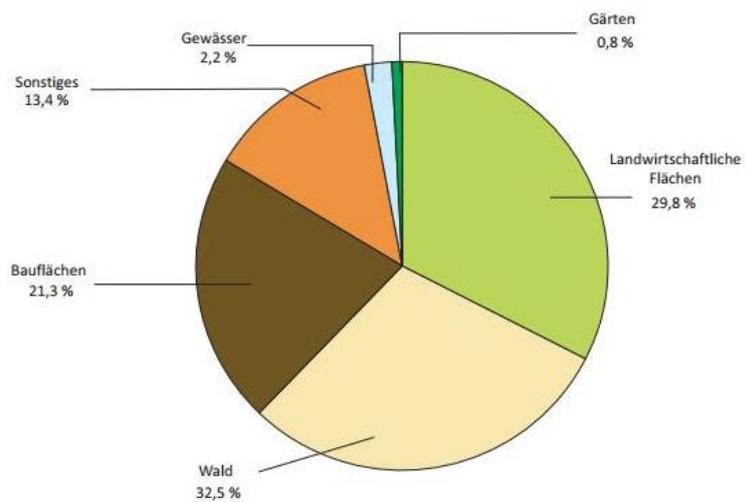
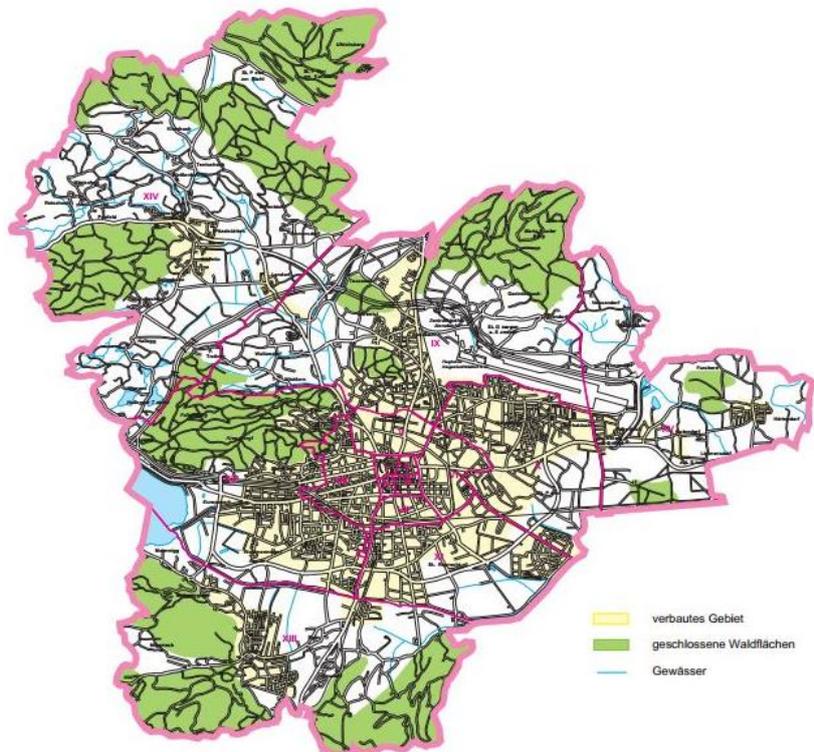


Abbildung 45: Grundstücke der LH Klagenfurt nach Benutzungsarten (Magistrat Klgf. 2017, S. 7)

sich auf 15 Bezirke und machen Klagenfurt zur sechst größten Stadt Österreichs (Statistik Austria 2018). Insgesamt befinden sich 20.150 Gebäude in der Landeshauptstadt, wobei 17.257 für Wohnzwecke genutzt werden. Bei den restlichen Gebäuden bilden, Industrie-, Lager-, Büro-, sowie Groß- und Einzelhandelsgebäude den größten Anteil. In Abbildung 45 sind die Anteile der Benutzungsarten der Grundstücksflächen dargestellt. Mit einem Anteil von fast 30% machen hierbei die landwirtschaftlichen Flächen den größten Teil aus. Zusammen mit dem Flächen für Bauland (21,3%) stellen sie einen wichtigen Einflussfaktor auf das Infrastrukturmanagement der Stadt dar. Einen groben Überblick der Stadtgliederung und der Unterteilung in Grün- und Bauflächen zeigt die Abbildung 46:



Stadtbezirk	Bezeichnung
I. - IV.	Innere Stadt
V.	St. Veiter Vorstadt
VI.	Völkermarkter Vorstadt
VII.	Viktringer Vorstadt
VIII.	Villacher Vorstadt
IX.	Annabichl

Stadtbezirk	Bezeichnung
X.	St. Peter (Welzenegg)
XI.	St. Ruprecht
XII.	St. Martin (Waidmannsdorf)
XIII.	Viktring
XIV.	Wölfnitz
XV.	Hörtendorf

Abbildung 46: Stadtgebiet und -gliederung der LH Klagenfurt (Magistrat Klgf. 2017, S. 3)

Das Kanalnetz der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee, welches zur Abwasserentsorgung der mehr als 47.000 Haushalte (Stand 2011) dient, weist eine Länge von ca. 800 Kilometer auf. 99% aller Liegenschaften sind an das Kanalnetz angeschlossen, was zu einem täglichen Abwasseranfall von 47 Millionen Liter führt. Für diese Herausforderung steht ein jährliches Budget von 15 Millionen € und 46 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zum Bau und Erhalt des Kanalnetzes zur Verfügung (Magistrat Klgf. 2017). Abbildung 47 zeigt eine Übersichtskarte des Kanalnetzes. Im Detailausschnitt der Karte ist der Haltungsverlauf mit Kanalschächten und -bauwerken eines Zentrumsausschnittes ersichtlich. Eine detailliertere Beschreibung des Kanalnetzes erfolgt im Kapitel 4.2.

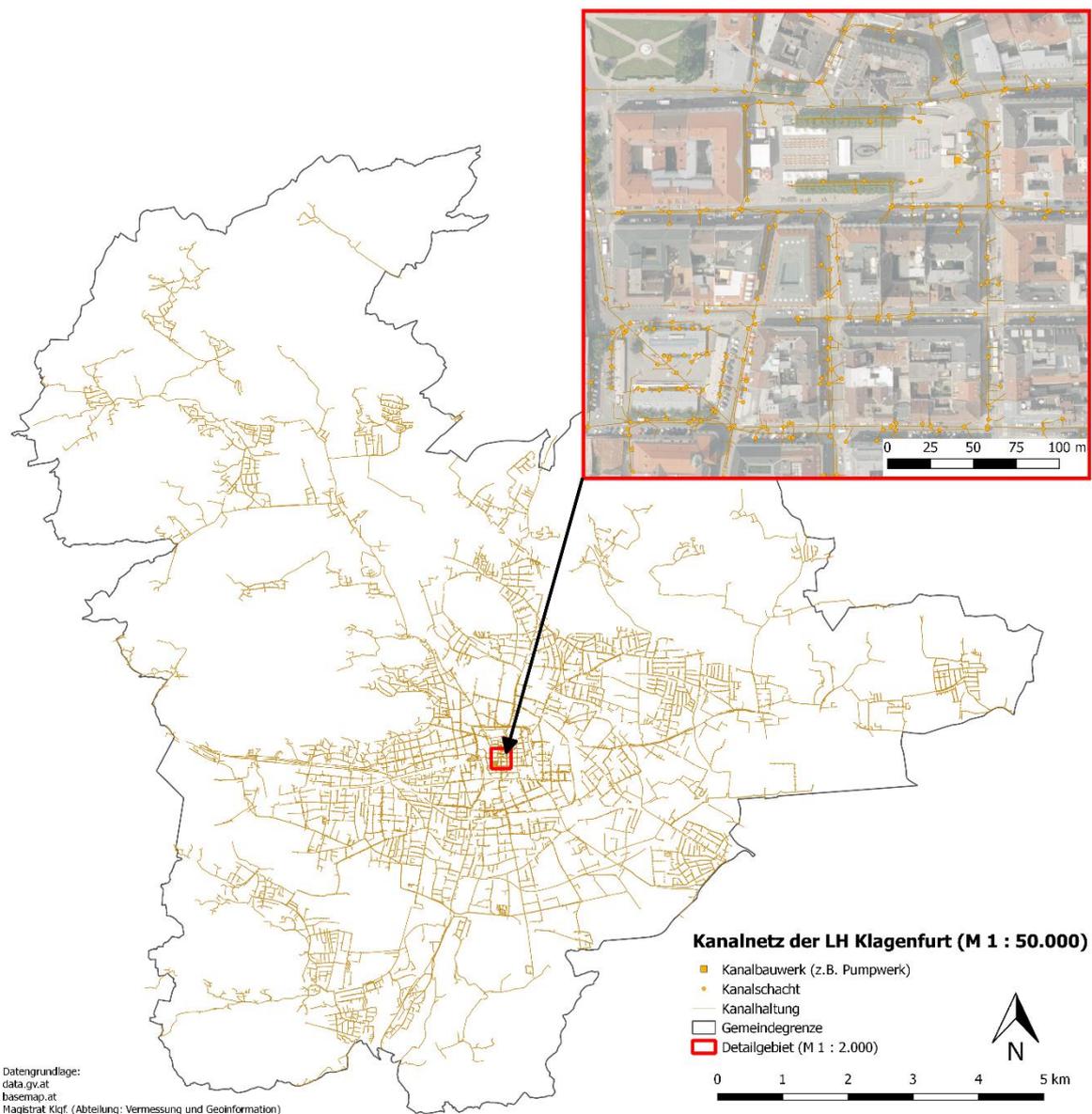


Abbildung 47: Kanalnetz der LH Klagenfurt (Eigene Darstellung, 16.10.2018)

Insgesamt sind in der Landeshauptstadt Klagenfurt 77.183 Kraftfahrzeuge gemeldet, wobei den größten Anteil ca. 65.000 Personenkraftwagen und Motorräder ausmachen. Der restliche Anteil unterteilt sich in Lastkraftwagen, Zugmaschinen u.a. Diese Kraftfahrzeuge beanspruchen zusätzlich zu den einpendelnden Fahrzeugen von anderen Gemeinden das öffentliche Straßennetz, welches eine Länge von 647,8 km aufweist. 571,5 km des öffentlichen Straßennetzes fällt in den Zuständigkeitsbereich der Stadt. In der unten dargestellten Übersichtskarte ist das Straßennetz im Zuständigkeitsbereich der Landeshauptstadt dargestellt (Abbildung 48). Eine detailliertere Beschreibung der Datengrundlage erfolgt im anschließenden Kapitel 4.2.

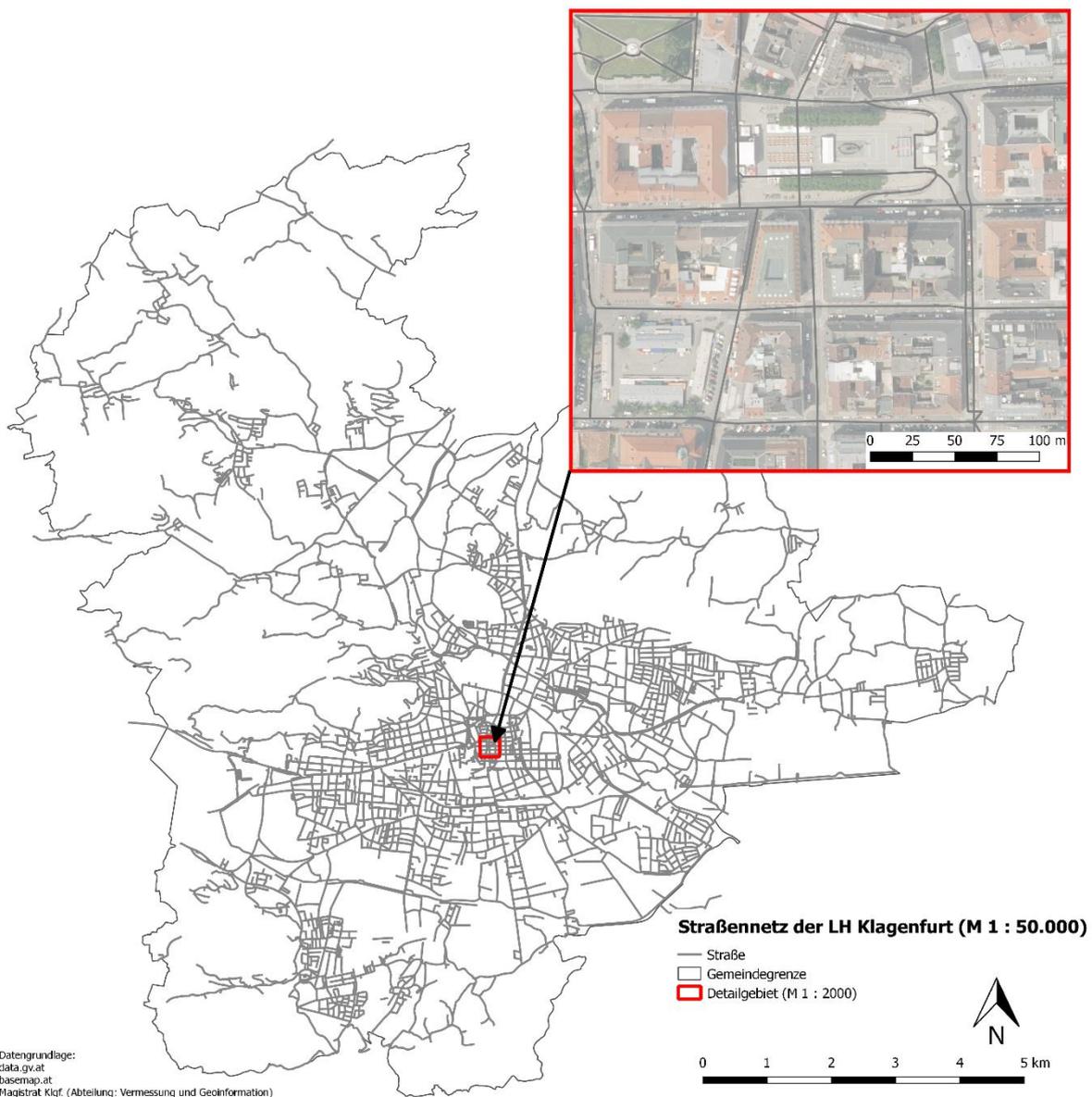


Abbildung 48: Straßennetz der LH Klagenfurt (Eigene Darstellung, 16.10.2018)

Die weiteren Infrastrukturnetze der Stadt setzen sich aus den Wasser-, Strom-, Gas-, Fernwärme und Telekommunikationsnetzen zusammen. Die im Jahr 2016 geförderte Wassermenge von 8.308.847 m³ wird in einem Leitungsnetz mit der Länge von ca. 600 km den Einwohnern zur Verfügung gestellt. Das Stromnetz setzt sich aus dem Verteilernetz mit der Länge von knapp 2 Millionen Meter und dem Übertragungsnetz von 18.700 m zusammen. Für die 1.800 Anschlüsse des Gasversorgungsnetzes steht ein Leitungsnetz von 151.890 m zur Verfügung. Das Fernwärmenetz mit 110.290 m versorgt 4.391 Gebäude der Stadt und das Telekommunikationsnetz in Form von LWL Leitungen hat eine Länge von 406.000 m (Magistrat Klfg. 2017).

4.2 Datengrundlage

Die Datengrundlage für die Modellierung der integrativen Zustandsbewertung wurde vom Magistrat Klagenfurt, Abteilung Vermessung und Geoinformation zur Verfügung gestellt. Für die Analyse stehen das Kanal- und Straßennetz der Stadt zur Verfügung.

4.2.1 Kanalnetz

In Abbildung 45 ist ein Zentrumsausschnitt des Kanalnetzes, unterschieden nach der Kanalart bzw. -funktion, der Landeshauptstadt Klagenfurt dargestellt. Das gesamte Kanalnetz, welches zur Modellierung des Gesamtzustandes verwendet wird, hat eine Länge von 882.907 m. Die Abbildung zeigt das Trenn- sowie Mischwassersystems der Stadt. Mit Hilfe der dargestellten Fließrichtungspfeile ist zu erkennen, dass teilweise sowohl Regen- als auch Schmutzwasser in Mischwasserkanälen gesammelt werden. Im Gesamtnetz überwiegt jedoch der Anteil des Trennsystems deutlich, den größten Anteil machen hierbei die Schmutzwasserkanäle aus (siehe Abbildung 50). Des Weiteren sind die Knotenpunkte in Form von Bauwerken und Schächten dargestellt. Diese fließen aufgrund der unzureichenden Datenqualität nicht in die weitere Analyse mit ein. Sie stellen jedoch aufgrund der genauen Lagevermessung die Grundlage der Netzdigitalisierung dar. Des Weiteren spielen sie für die Topologie des Netzes eine wichtige Rolle, da jeder Kanalhaltung der Start- bzw. Endknoten zugewiesen ist und so die Fließrichtung eindeutig definiert ist. Neben den bereits erwähnten Attributen Haltungsart und -funktion stehen noch das Bau- bzw. Sanierungsjahr, Haltungsmaterial sowie der Haltungsdurchmesser und die Haltungslänge zur Verfügung. Hierbei sind vor allem das Material, die Länge und das Bau- bzw. Sanierungsjahr für die weitere Analyse relevant. Die Verteilung der einzelnen Materialien ist in Abbildung 51 ersichtlich. Hierbei machen die Materialien Polyvinylchlorid (PVC) und Beton (B) den größten Anteil aus. Diese Information wird im weiteren Ablauf für die materialabhängige Nutzungsdauer benötigt.

Unsicherheiten der folgenden Prozessmodellierung ergeben sich, neben dem Fehlen der Zustandsbewertungen, da Hausanschlüsse und Hauptsammelkanäle nicht getrennt betrachtet

werden können. Da der Einsatz der alternativen Zustandsbewertung auf dem Baujahr und der technischen Nutzungsdauer basiert, können die meist jüngeren Hausanschlüsse eine Ergebnisverfälschung der Gesamtbewertung eines Straßensegmentes zur Folge haben. Dies wird in weiterer Folge durch eine längenabhängige Gewichtung berücksichtigt.

Eine Datenrekonstruktion fehlender Informationen wird in dieser Arbeit nicht umgesetzt, da aus dieser Fallstudie der Aufbau eines Versuchsmodells der praktischen Umsetzung abgeleitet werden soll. Derzeit fehlende Informationen, wie eine Kanalzustandsbewertung, werden nach der Durchführung einer Kanalinspektion in die Prozessmodellierung integriert. Dies wird zu einer laufenden Verbesserung der Analyse bzw. einer Genauigkeitssteigerung beitragen.

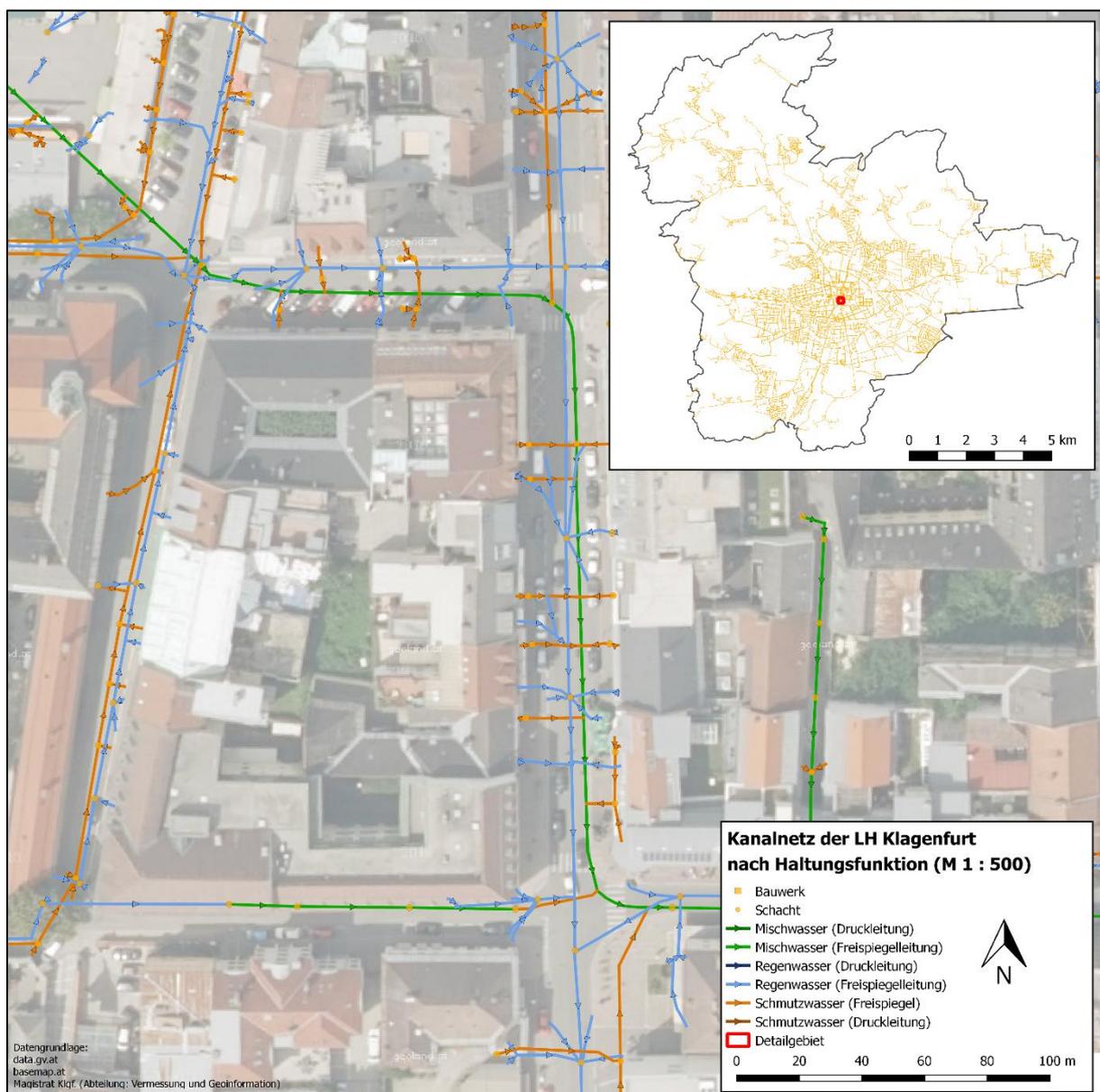


Abbildung 49: Datengrundlage: Kanalnetz nach Haltungsart und Funktion inkl. Knotenpunkte und Fließrichtungspfeile (eigene Darstellung, 17.10.2018)

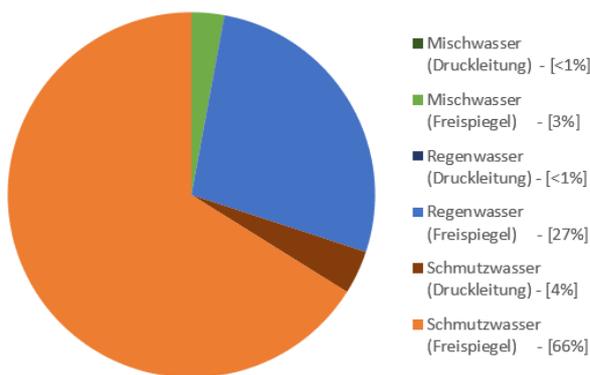


Abbildung 50: Anteile der Kanalart bzw. -funktion am Gesamtnetz (eigene Darstellung, 17.10.2018)

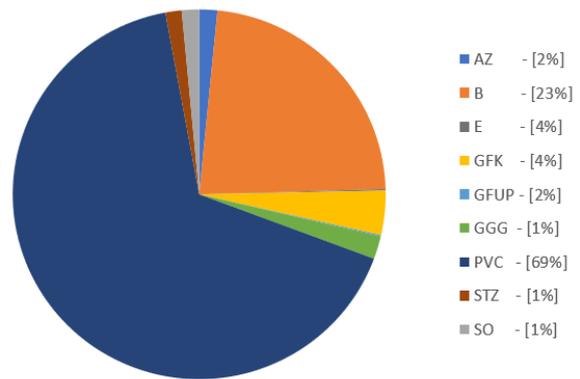


Abbildung 51: Anteile der Haltungsmaterialien am Gesamtnetz (eigene Darstellung, 17.10.2018)

Das Kanalnetz kann als relativ junges Leitungsnetz beschrieben werden, da nur ein sehr geringer Anteil älter als 50 Jahre und der Großteil jünger als 25 Jahre ist (siehe Tabelle 19). Beachtet werden muss hierbei, dass eine Unterscheidung nach dem Bau- und Sanierungsjahr nicht möglich ist. Bei 31,5% der Haltungslängen fehlen die Angaben zum Bau- bzw. Sanierungsjahr, dies entspricht 26% aller Haltungssegmente. In Abbildung 52 sind die Haltungslängen nach Bau- bzw. Sanierungsjahr dargestellt. Hierbei ist anhand der Trendlinie ein Rückgang der Neubautätigkeit ersichtlich. Die Vollständigkeit der Attribute Kanalart, -funktion und Material ist im Vergleich zu den Baujahren deutlich besser, da hier weniger als 1% der Informationen fehlen.

Tabelle 19: Relative Häufigkeiten des Kanalhaltungsalters (eigene Darstellung, 17.10.2018)

Haltungsalter	Rel. Häufigkeit
> 50 Jahre	0,5%
≤ 50 Jahre	31,7%
≤ 25 Jahre	28,6%
≤ 10 Jahre	7,7%
Keine Daten vorhanden	31,5%

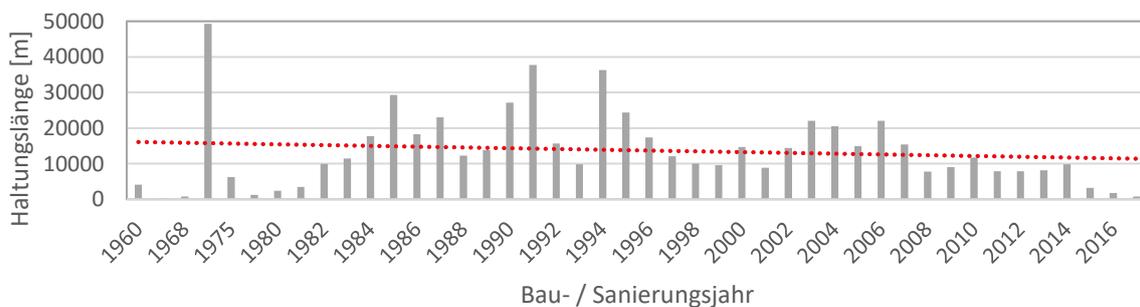


Abbildung 52: Bau- bzw. Sanierungsjahre des Kanalnetzes (eigene Darstellung, 17.10.2018)

4.2.2 Straßennetz

Die Länge des Straßennetzes im Zuständigkeitsbereich der Landeshauptstadt Klagenfurt beträgt 675.422 m, wobei 609.392 m in der weiteren Analyse miteinbezogen werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Schotterstraßen, aufgrund der unverhältnismäßigen Kosten im Falle von Grabungsarbeiten, nicht in der Analyse integriert sind.

Den einzelnen Straßenabschnitten ist eine eindeutige ID zugewiesen, welche der „ObjektID“ des originalen GIP Datensatzes (siehe 1.1.1.1) entspricht. Dies ermöglicht eine Erweiterung bzw. Ergänzung von Attributen. Des Weiteren besteht der Datensatz aus den Attributen Straßenkategorie, Baujahr und Breite. Die Straßenkategorie beschreibt den Zustand im Schulnotensystem. Der Zustand wurde in Form einer visuellen Inspektion durch Experten durchgeführt.

Abbildung 53 zeigt einen Zentrumsausschnitt des Straßennetzes, dargestellt nach Straßenbreite und Zustandsbewertung. Die Anteile der Straßenlängen nach ihrer Zustandsbewertung ist in Abbildung 54 ersichtlich. Mit über 57% machen hierbei die akzeptablen Zustände 1 bis 3 den größten Anteil aus. Abbildung 55 zeigt die Abschnittslängen nach Straßenbreiten. Die Angabe der Breite wird in der Prozessmodellierung für die Bildung der einzelnen Straßenflächen benötigt.

In Abbildung 57 ist der Prozentanteil der Baujahre in den jeweiligen Zustandskategorien dargestellt. Hierbei ist eine eindeutige Zunahme des Netzalters mit der Zustandsverschlechterung erkennbar. Während in der Zustandsklasse 1 alle Straßenabschnitte unter acht Jahre alt sind, sind in der Zustandsklasse 3, bereits 96% älter als zehn Jahre. In der Zustandsklasse 5 weisen nahezu alle Abschnitte ein Alter über 20 Jahre auf. Einflussfaktoren wie die Straßenoberfläche, die Verkehrsbelastung, u.a. werden in der weiteren Analyse nicht miteinbezogen. Durch die durchgeführte visuelle Zustandsinspektion wurden diese bereits indirekt erfasst. Aufgrund der unsicheren Datengrundlage konnten die oben genannten Einflussfaktoren auch für die Zustandsprognosen nicht miteinbezogen werden.

Die Unsicherheiten des Straßennetzes sind im Vergleich zum Kanalnetz als deutlich geringer anzusehen. Zum einen können 99% der Abschnitte eine Zustandsbewertung zugewiesen werden, zum anderen kann bei den Baujahren und Straßenbreite auf eine Verfügbarkeit von über 90% zurückgegriffen werden. Diese hohe Datenqualität ist für die weitere Durchführung sehr wichtig, da das Straßennetz die Basis der Prozessmodellierung bildet. Die hohe Datenqualität ist auf die topologische Aufbereitung des Netzes sowie der manuellen Erhebung der Zustände und Straßenbreiten durch Experten zurückzuführen.

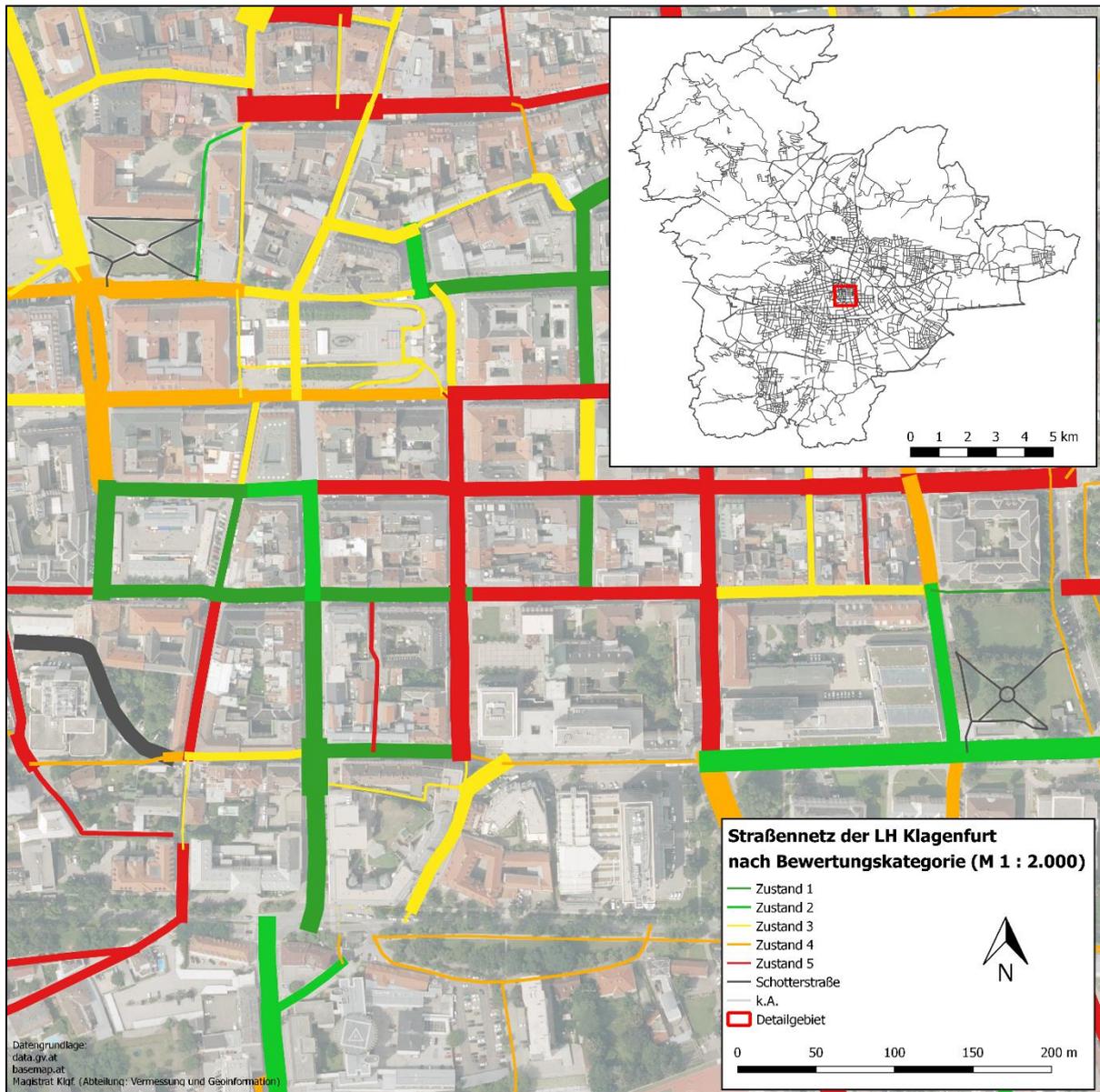


Abbildung 53: Datengrundlage: Darstellung des Straßennetzes in Abhängigkeit der Straßenbreite und Zustandsbewertung (eigene Darstellung, 17.10.2018)

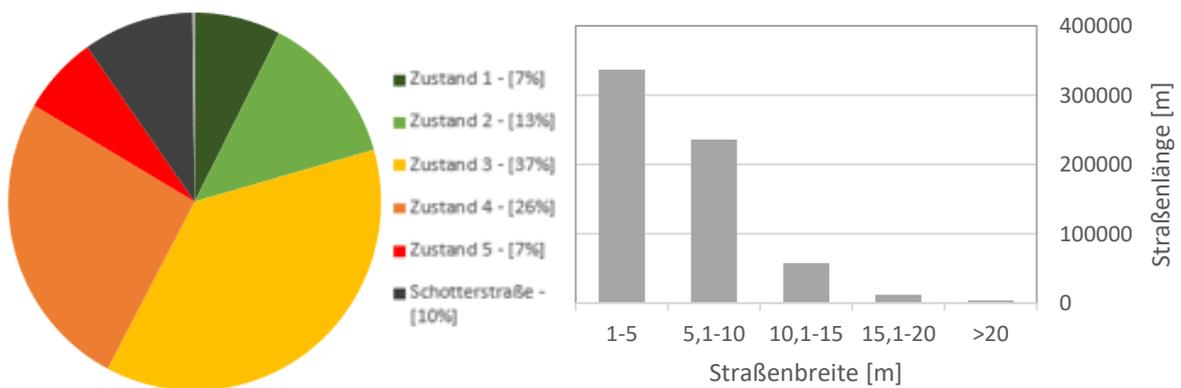


Abbildung 54: Anteile der Zustandsbewertungen am Gesamtnetz (eigene Darstellung, 17.10.2018) Abbildung 55: Straßenbreiten (eigene Darstellung, 17.10.2018)

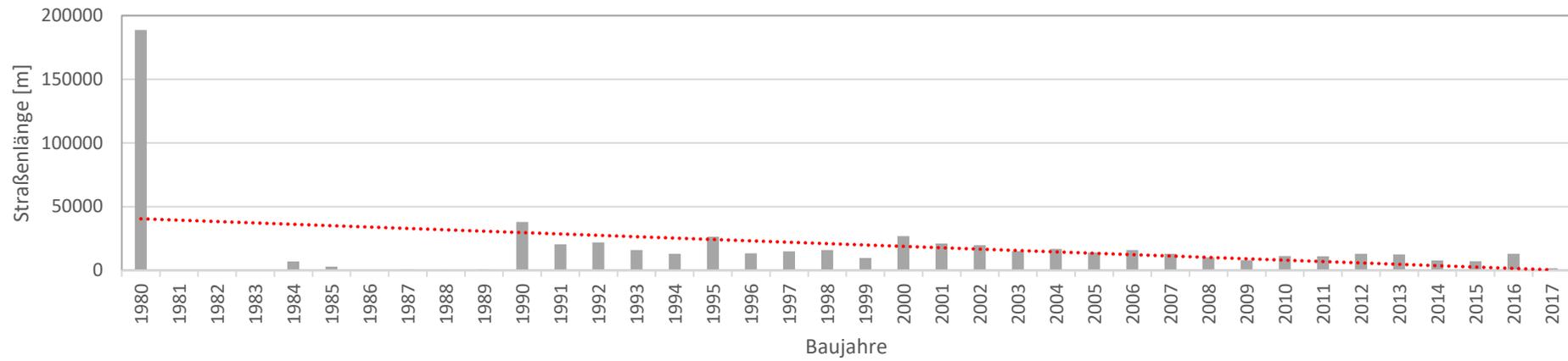


Abbildung 56: Baujahre des Straßennetzes (eigene Darstellung, 17.10.2018)

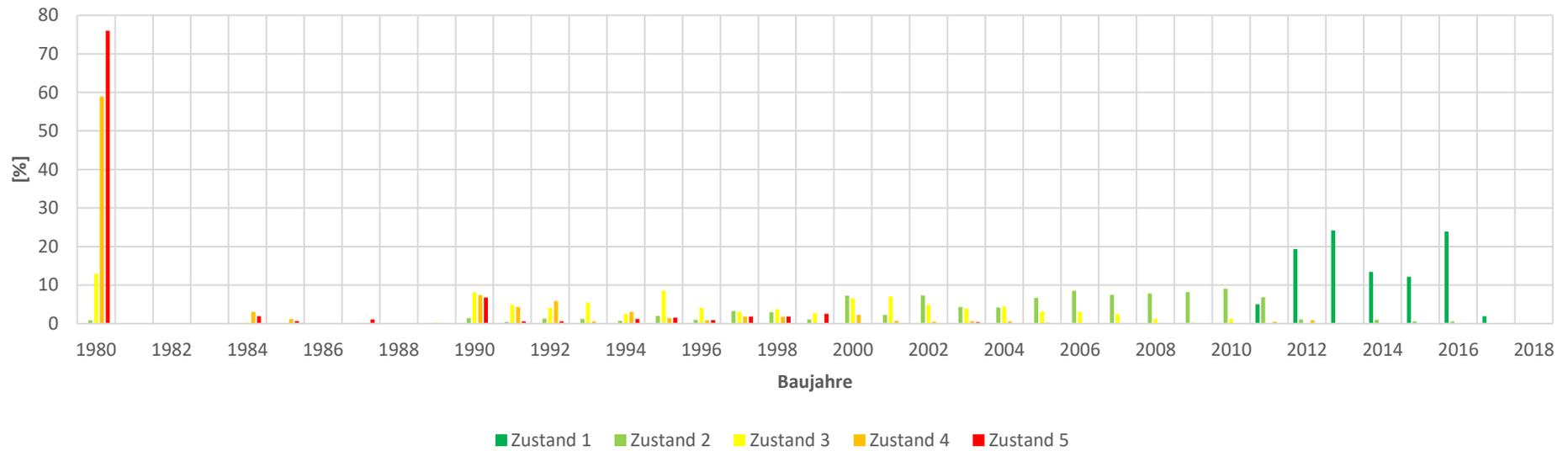


Abbildung 57: Prozentanteil der Baujahre nach Zustandskategorien (eigene Darstellung, 17.10.2018)

4.3 Prozessmodellierung

4.3.1 Datenintegration

Die praktische Umsetzung der Prozessmodellierung erfolgte mittels der Software FME Desktop. Diese ist eine Plattform zur Integration (räumlicher) Daten (siehe Abbildung 58). Mit Hilfe individuell erstellbarer Workflows, kann aus den Eingangsdaten ein gewünschter Output zur weiteren Bearbeitung bzw. Darstellung erzeugt werden. Zur Erstellung der Workflows steht eine Vielzahl an Möglichkeiten bezüglich Transformationen, Konvertierungen und Geoprocessingen von Geodaten zur Verfügung. FME Desktop zeichnet sich hierbei durch die Unabhängigkeit der eingesetzten Datenformate aus.

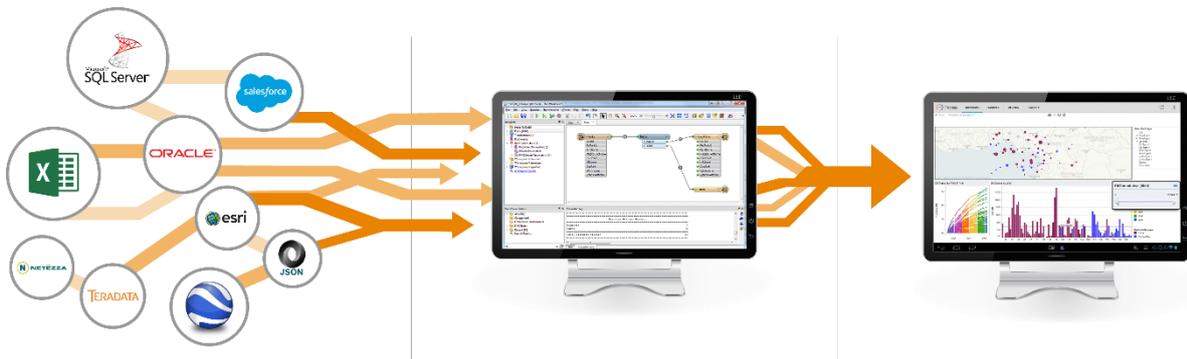


Abbildung 58: FME Desktop (Safe Software Inc 2018, <https://www.safe.com/integrate/tableau/>)

4.3.2 Kanalzustandsbewertung

Die Basis des Prozesses bildet die zuvor beschriebene Datengrundlage. Die Eingangsdaten lagen im Datenformat „Shape“ vor. Nach Integration dieser in FME Desktop wurden die fehlenden Kanalhaltungszustände mit Hilfe einer alternativen Bewertungsmethode ermittelt. Diese erfolgte in linearer Abhängigkeit der Baujahre von der Zeit und der durchschnittlichen materialabhängigen technischen Nutzungsdauer (siehe Tabelle 7). Die Zustandsklassifikation bezieht sich auf einen Wertebereich von 1 bis 5 im Schulnotensystem. Hierbei ist die Vergleichbarkeit zur Straßenbewertung ohne Normierungsverfahren gegeben, da diese im gleichen Wertebereich gegeben ist. Die Zustandsbewertung mittels der nachstehenden Formel wurde für jede vorliegende Kanalfunktion (Schmutzwasser, Mischwasser und Regenwasser) separat berechnet, um die mögliche Integration unterschiedlicher Leitungsnetze zu zeigen. Zur Bestimmung des Zustandes einer Kanalhaltung ist es notwendig, dass sowohl das Baujahr als auch das Material bekannt sind.

$$\begin{array}{l}
 Z_K 5 \\
 Z_K 4 \\
 Z_K 3 \\
 Z_K 2 \\
 Z_K 1
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 \leq A_j \\
 \leq A_j + \frac{Nd}{5} \\
 \leq A_j + \frac{Nd * 2}{5} \\
 \leq A_j + \frac{Nd * 3}{5} \\
 > A_j + \frac{Nd * 3}{5}
 \end{array} \right.
 \quad B_j + Nd$$

Die Angaben $Z_K 1$ bis $Z_K 5$ zeigen die ermittelte Zustandsbewertung im Schulnotensystem. B_j bezeichnet das Baujahr der Haltung und Nd die durchschnittliche materialabhängige technische Nutzungsdauer, gegeben in Tabelle 7. Die Berechnung der Umsetzung bezieht sich auf das aktuelle Jahr (A_j) 2018. Der Divisor 5 bezieht sich auf die fünfstufige Klassifizierung. Bei einem anderen Wertebereich müsste hier eine Anpassung durchgeführt werden. Der Bewertungsansatz leitet sich von der beschriebenen Alternativbewertung für Kanalnetze im Kapitel 3.3.1 ab.

4.3.3 Zustandsprognose

Im nächsten Schritt erfolgte die Bestimmung der prognostizierten Zustände der Kanalhaltungen und Straßenflächen. Bei den Straßenflächen wurde die vereinfachte Annahme getroffen, dass eine Zustandsverschlechterung um eine Zustandsklasse alle zehn Jahre stattfindet. Auf den Einsatz der Lebenszyklusanalyse von Verkehrsnetzen (siehe Kapitel 3.4.2) wurden aufgrund der hohen Datenanforderungen und dem enormen zeitlichen und finanziellen Aufwand verzichtet. Die Ermittlung der prognostizierten Kanalhaltungszustände $P_{5,10,20-Z_K 1}$ bis $P_{5,10,20-Z_K 5}$ erfolgte analog zur oben beschriebenen alternativen Zustandsbewertung, wobei zum aktuellen Jahr jeweils der Prognosezeitraum 5,10 und 20 addiert wurde.

$$\begin{array}{l}
 P_{5,10,20-Z_K 5} \\
 P_{5,10,20-Z_K 4} \\
 P_{5,10,20-Z_K 3} \\
 P_{5,10,20-Z_K 2} \\
 P_{5,10,20-Z_K 1}
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 \leq A_j + 5, 10, 20 \\
 \leq A_j + \frac{Nd}{5} + 5, 10, 20 \\
 \leq A_j + \frac{Nd * 2}{5} + 5, 10, 20 \\
 \leq A_j + \frac{Nd * 3}{5} + 5, 10, 20 \\
 > A_j + \frac{Nd * 3}{5} + 5, 10, 20
 \end{array} \right.
 \quad B_j + Nd$$

Sowohl für das Kanal- als auch für das Straßennetz wurde ein prognostizierter Zustand für 5,10 und 20 Jahre ermittelt.

4.3.4 Bildung der Straßensegmente

Nachdem alle Einzelzustände sowie deren prognostizierten Zustände bekannt waren bzw. ermittelt wurden, war die Basis zur Berechnung der Gesamtbewertung je Straßensegment geschaffen. Um diese jedoch veranschaulichen zu können, mussten Straßensegmente gebildet werden, welchen die Gesamtbewertung zugewiesen werden konnte. Im ersten Schritt wurden die GIP – Achsen um den Faktor

$$\frac{\text{Straßenbreite} * 0,002m}{2}$$

verlängert (siehe Abbildung 59). Dies führte zu Überschneidungen der Linien in Kreuzungsbereichen, wodurch bei der späteren Flächenbildung topologische Fehler wie „Gaps“ und „Spikes“ bei den aufeinandertreffenden Straßen minimiert wurden. Eine weitere topologische Korrektur wurde durch die Funktion des „Spike – Removers¹⁷“ erreicht. Die Bildung der Straßenflächen erfolgte durch eine Pufferanalyse der Linien, in Abhängigkeit der Straßenbreite (siehe Abbildung 60). Zur gegebenen Straßenbreite wurde auf beiden Seiten der Wert 0,5 addiert, um jene Abschnitte der Leitungsnetze, welche im direkten Randbereich der Straßen liegen, ebenfalls zu erfassen. Die Pufferflächen wurden am ersten und letzten Vertexpunkt der GIP - Achse gerade abgeschlossen. Die zuvor beschriebene Achsenverlängerung brachte neben dem Vorteil der Flächenschließung in Kreuzungsbereichen auch den Nachteil der Überlappung der Flächen mit sich. Diese führen zu einer Uneindeutigkeit bei der Gesamtbewertung und mussten deshalb eliminiert werden. Dies erfolgte über die Hierarchie des Straßennetzes. In Kreuzungsbereichen wurde eine sortierte Liste der Überlappungsbereiche nach der Straßenkategorie erstellt. Bei gleicher Kategorie erfolgte die Sortierung nach der ID. Im Anschluss wurden die Überlappungsbereiche der gepufferten GIP – Achsen aggregiert, wobei der höheren Straßenkategorie der Vorzug gegeben wurde.

Zur Bildung aussagekräftiger Segmente mussten die GIP – Flächen mit einer Länge gleich der ursprünglichen GIP-Achsen, gekürzt werden. Dies erfolgte durch die Überlagerung der Pufferflächen mit den ursprünglichen GIP - Linien. Auf diese Linien wurde alle 10 m ein Vertexpunkt hinzugefügt, auf den normal zur GIP Linie eine Linie mit der Länge

$$\text{Straßenbreite} * 1,45$$

gesetzt wurde (siehe Abbildung 61). Diese Linie schneidet die Pufferflächen wodurch sich 10 m lange Segmente ergeben (siehe Abbildung 62). Im Bereich von Kurven und kurzen Straßen-

¹⁷ Der Transformer „Spike Remover“ reinigt Geometrien, indem Spikes entfernt werden. Es wird jedes Paar von Liniensegmenten betrachtet, die aus drei aufeinanderfolgenden einzelnen Punkten bestehen. Wenn der Winkel zwischen zwei Liniensegmenten kleiner bzw. gleich dem angegebenen maximalen Winkel ist, dann ist der Mittelpunkt eine Spitze und wird entfernt. Des Weiteren werden auch doppelte Punkte entfernt. (Safe Software Inc 2018, <https://docs.safe.com/fme/>)

abschnitten, wo die Vertexpunkte der GIP – Achsen enger als 10 m beieinander lagen, wurden diese Punkte zur Segmentbildung herangezogen.

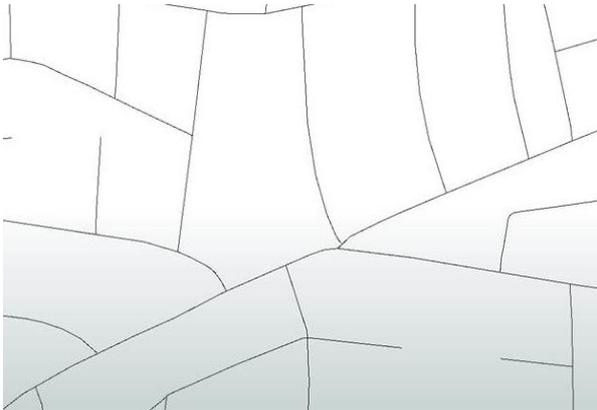


Abbildung 59: GIP-Achsen (eigene Darstellung, 23.10.2018)

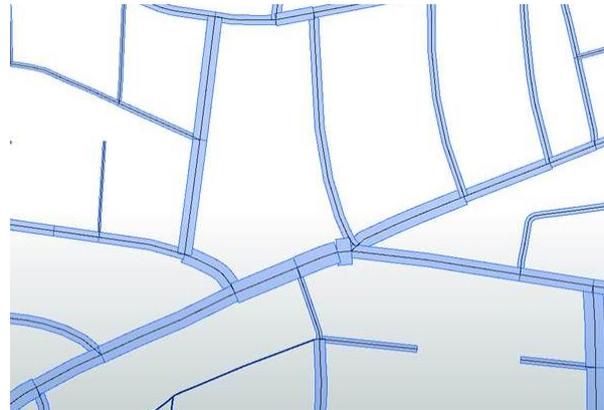


Abbildung 60: Gepufferte GIP – Achsen mit topologischer Korrektur (eigene Darstellung, 23.10.2018)

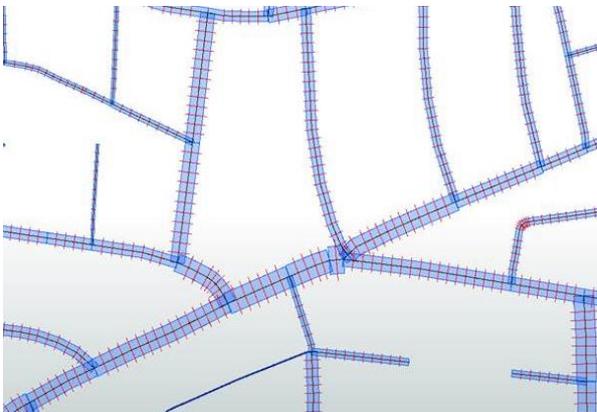


Abbildung 61: GIP – Flächen mit Schnittlinien im 10 m Abstand (eigene Darstellung, 23.10.2018)

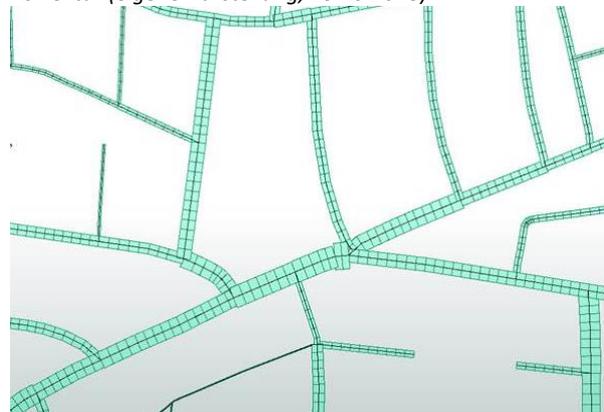


Abbildung 62: Resultierende Straßensegmente (eigene Darstellung, 23.10.2018)

4.3.5 Gesamtbewertung

Die Berechnung der Gesamtbewertung wurde auf jedes gebildete Straßensegment angewendet und ergibt sich aus der Überlagerung der Einzelzustände des Kanal- und Straßennetzes. Mit Hilfe der folgenden Formel wurde jedem Segment eine Bewertung im Schulnotensystem zugewiesen:

$$Z_{Ges} = \frac{Z_S + Z_{S,K} * 0,5}{1,5}$$

Der Kanalzustand für jedes Straßensegment ($Z_{S,K}$) fließt mit halber Gewichtung in die Berechnung der Gesamtbewertung (Z_{Ges}) ein. Zu beachten ist, dass sich $Z_{S,K}$ auf die Gesamtbewertung aller Kanalhaltungen je Straßensegment bezieht. Diese ergibt sich aus dem längen-abhängigen Mittel der Zustände und berücksichtigt das Vorkommen mehrerer Haltungen unterschiedlicher Zustände im Straßensegment. Der Divisor 1,5 ergibt sich aus der Summe der Gewichte. Es wurde die Bedingung integriert, dass bei Fehlen einer Kanalzustandsbewertung nur die Straßenbewertung herangezogen wurde. Die

prognostizierte Gesamtbewertung für die Jahre 5,10 und 20 erfolgte analog zur oben genannten Formel. Zur Berechnung wurden jedoch die prognostizierten Einzelzustände herangezogen.

Das Grundprinzip der eingesetzten Methode, der Überlagerung der Einzelzustände je Straßensegment, basiert auf dem Ansatz von Trülsch (2015), welcher im Kapitel 3.5.2 beschrieben wurde. Die Unterteilung der Straßensegmente erfolgte bei Trülsch (2015) nach den Nutzungsbereichen bzw. in Abhängigkeit der darunterliegenden Leitungsnetze. In der praktischen Umsetzung dieser Arbeit wurden mit dem Ziel einer verbesserten Vergleichbarkeit, gleich große Segmente mit einer Länge von 10 m und einer variablen Breite gebildet.

4.3.6 Mögliche Erweiterungen der praktischen Umsetzung

Im Projektzeitraum ist die Integration weiterer Leitungsnetze vorgesehen. Hierfür wären, vergleichbar zum Kanalnetz, alternative Methoden der Zustandsbewertung notwendig, sofern noch keine Zustandsbewertungen vorliegen. Sollten diese jedoch nach den im Kapitel 3.3 beschriebenen Verfahren vorliegen, wäre besondere Rücksicht auf die unterschiedlichen Wertbereiche zu nehmen. Weichen diese voneinander ab, müssen Methoden der Normierung bzw. Standardisierung eingesetzt werden. Die Einzelzustände würden im Anschluss ebenfalls in die Gesamtbewertung integriert werden, wobei hier auf die jeweilige Gewichtung der Einzelnetze Rücksicht genommen werden muss. Diese sollte im Optimalfall in Zusammenarbeit mit ExpertInnen der jeweiligen Leitungsnetze erfolgen, um die Priorität der Leitungsnetze in der integrativen Betrachtungsweise bestmöglich abzubilden. Eine weitere Herausforderung bei der Integration weiterer Leitungsnetze stellt die Betrachtung der Leitungsabschnitte außerhalb der Straßenbereiche dar. Hierzu besteht die Möglichkeit der Bildung eines leitungsdimensionsabhängigen Puffers. Befindet sich in dieser Pufferfläche ein weiterer Leitungsabschnitt, ist eine integrative Sanierung möglich und eine Gesamtbewertung kann errechnet werden.

Weitere Anpassungen müssten bei einer Veränderung der Datengrundlage erfolgen. Die Prozessmodellierung erfolgt nach dem Ansatz, dass Grundfunktionen wie die Segmentbildung und Überlagerung der Einzelzustände unverändert bleiben. Im Falle einer Datenoptimierung, wie der Durchführung einer Kanalzustandsbewertung, würde diese zur Ermittlung der Gesamtbewertung herangezogen werden. Eine Optimierung bzw. Erweiterung der Datengrundlage würde auch den Einsatz komplexerer Prognosemodelle (siehe Kapitel 3.4.2) bzw. integrativer Modelle (siehe Kapitel 3.5) ermöglichen. Eine verbesserte Aussagekraft der Ergebnisse müsste im Nachhinein durch einen evaluierenden Prozess überprüft werden.

4.4 Interpretation und Visualisierung der Ergebnisse

Die Funktionen und Möglichkeiten der Software M.App Enterprise zur Visualisierung von Geodaten wurden bereits im Kapitel 3.6.2 beschrieben. In diesem Abschnitt soll auf die konkreten Möglichkeiten und Vorteile des Einsatzes bezüglich der gegebenen Problemstellung eingegangen werden.

Einen großen Vorteil des Einsatzes der Geo-BI Software bietet der barrierefreie Zugang für EntscheidungsträgerInnen und anderen Beteiligten zu den Daten und den ermittelten Ergebnissen. Die übersichtliche und interaktive Visualisierung versteckt die Komplexität der Prozessmodellierung und bietet eine graphische und analytische Unterstützung im Entscheidungsfindungsprozess integrativer Sanierungsmaßnahmen. Dadurch können raumbedeutsame Erkenntnisse in einem partizipativen Prozess gewonnen werden, von denen sich in weiterer Folge Umsetzungsszenarien ableiten. Durch den Einsatz von M.App Enterprise als Planungs- und Analysewerkzeug wird eine Diskussionsgrundlage geschaffen, auf der, unter Einbindung aller Beteiligten, Entscheidungen bezüglich integrativer Sanierungsmaßnahmen getroffen werden können. Durch die integrative Diskussion von EntscheidungsträgerInnen, ExpertInnen und weiteren Beteiligten, können die eingeschränkte Datengrundlage sowie die fehlenden Einflussfaktoren, in Form von Umweltparametern, bei der Prozessmodellierung kompensiert werden. Die Heterogenität des Raumes lässt sich auch bei optimaler Datengrundlage nicht vollständig abbilden, weshalb immer eine Evaluierung und Plausibilitätsprüfung stattzufinden hat. Dies kann im Zuge eines gemeinschaftlichen Prozesses erfolgen, indem mit Hilfe des Planungswerkzeuges kritische Expertenmeinungen sowie lokale Gegebenheiten integriert werden.

Mit Hilfe der Abbildungen 63 bis 70 sollen die Ergebnisse des Modellierungsprozesses dargestellt werden und die Möglichkeiten zum praktischen Einsatz der Geo-BI Software M.App Enterprise als Planungswerkzeug integrativer Sanierungsmaßnahmen aufgezeigt werden.

Abbildung 63 zeigt die modellierten Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung, zusammengesetzt aus der Straßenzustandsbewertung und den Kanalzuständen innerhalb dieser Segmente. Die Zustände sind im Schulnotsystem von 1 (dunkelgrün) bis 5 (rot) dargestellt. Im linken oberen Bereich sind die Anteile der Straßensegmente nach ihren Gesamtzuständen in einem Kreisdiagramm ersichtlich. Mit Hilfe der Symbole auf der rechten Bildseite können räumliche Selektionen vorgenommen werden, wodurch Auswertungen bestimmter Gebiete durchgeführt werden können. Die Balkendiagramme im linken Bereich zeigen die Einzelzustände nach ihren Netzlängen, wodurch sich die Zusammensetzung der Gesamtzustände je Straßensegment nachvollziehen lässt. Die einzelnen Berichte in Form von Diagrammen stehen in Verbindung zueinander und passen sich interaktiv je nach Selektion an.

Selektiert man nur die Gesamtzustände 4 und 5 im Kreisdiagramm, geben die Balkendiagramme Aufschluss über die Längen und Zustände der Straßen und Kanalhaltungen in dieser Bewertungskategorie (siehe Abbildung 64). Diese Selektion kann als Diskussionsbasis für kurzfristige Sanierungen herangezogen werden. Die Angabe der betroffenen Netzlängen stellt die Grundlage für die Budgetplanung dar.

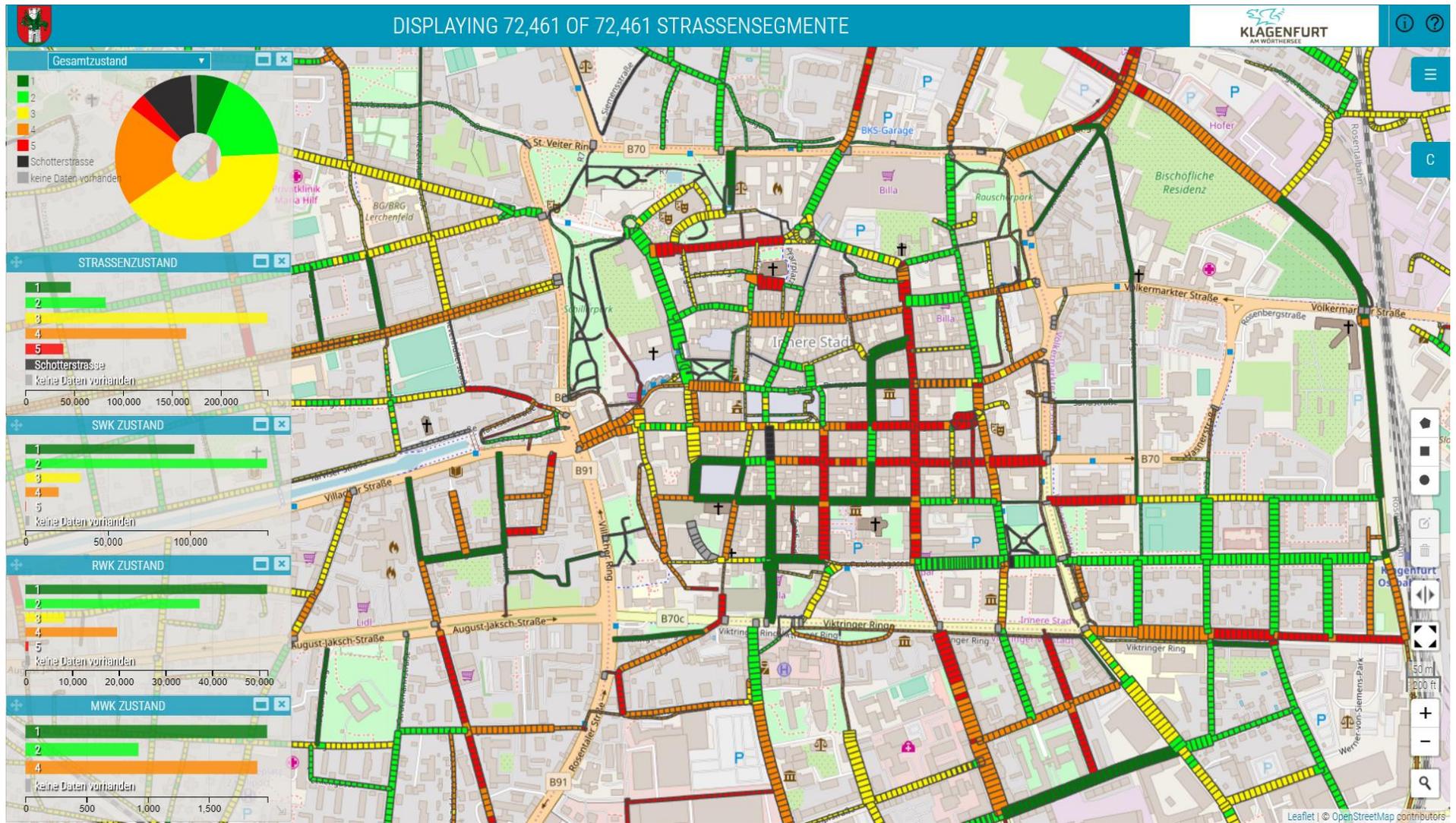


Abbildung 63: Darstellung der Straßensegmente nach Gesamtbewertung (eigene Darstellung, 25.10.2018)

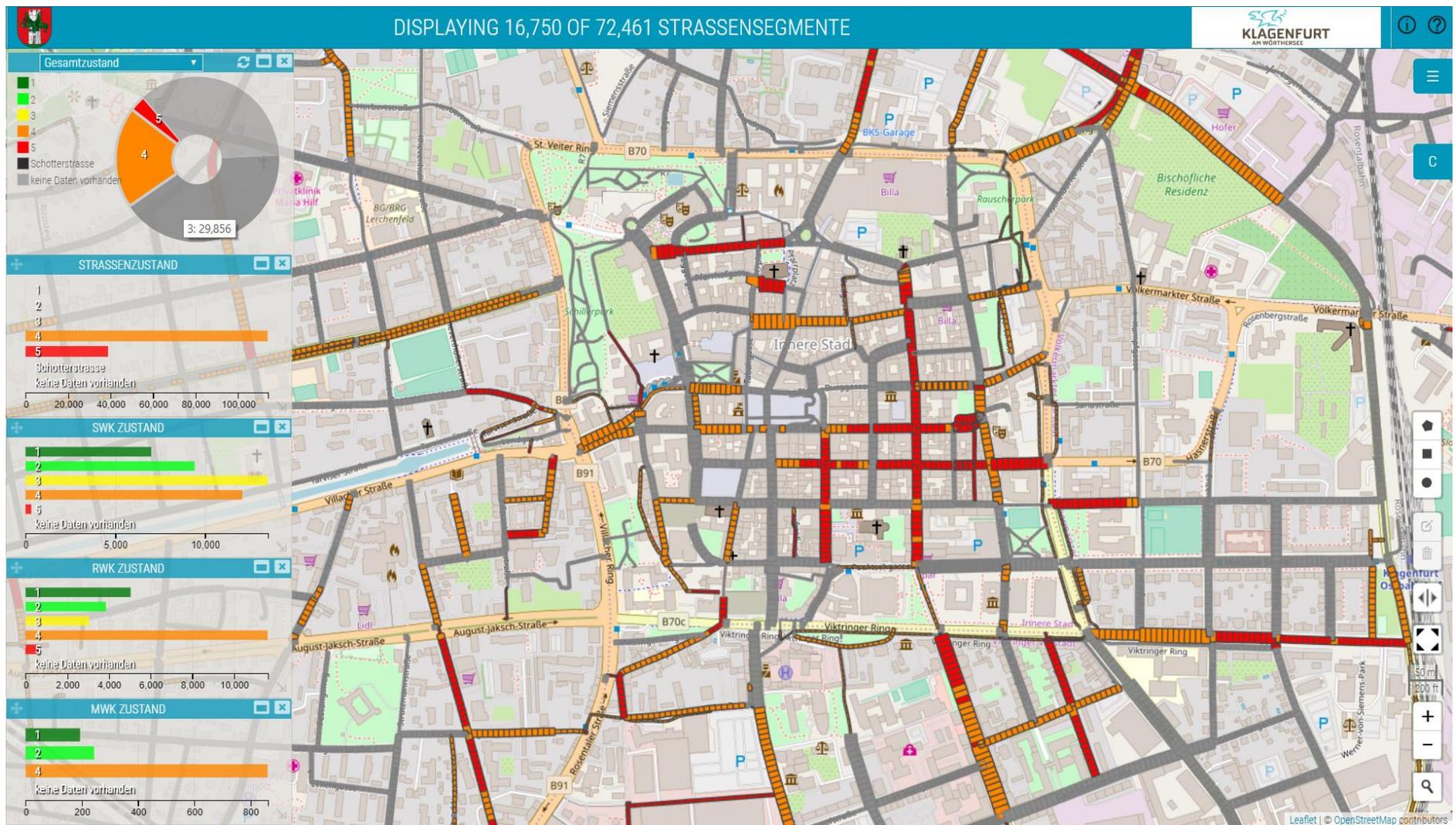


Abbildung 64: Darstellung der Straßensegmente nach den Gesamtbewertungen 4 und 5 (eigene Darstellung, 25.10.2018)

Mit Hilfe des „Drop – down“ Menüs oberhalb des Kreisdiagrammes können die Straßensegmente nach ihren Einzelzuständen sowie den Zustandsprognosen in 5,10 und 20 Jahren dargestellt werden. Abbildung 66 zeigt die Straßensegmente nach ihren Gesamtzuständen in 10 Jahren. Dies bietet die Planungsgrundlage mittelfristiger integrativer Sanierungsmaßnahmen.

Hinter dem „C“ – Symbol im rechten oberen Bildbereich verbergen sich mehrere Säulendiagramme zur Darstellung der Baujahre der einzelnen Kanalhaltungsfunktionen und Straßen nach ihren Netzlängen (siehe Abbildung 65). Dies ermöglicht die Selektion bestimmter Zeitabschnitte. Die Darstellung der Straßensegmente in der Karte passt sich dieser Selektion an (siehe Abbildung 67), wodurch Unterstützung bei Fragestellungen nach der Lage bestimmter Straßen bzw. Leitungsabschnitte, welche aufgrund ihres Alters möglicherweise einen kritischen Zustand aufweisen und einer genauen Zustandsinspektion unterzogen werden sollten, geboten wird. Durch die unterschiedliche Auswahlmöglichkeit der aktuellen (siehe Abbildung 67) bzw. zukünftigen (siehe Abbildung 68) Zustände kann erarbeitet werden, ob im bestimmten Bereich eine Einzelnetzsanierung bzw. integrative Sanierung derzeit oder in Zukunft sinnvoll ist.

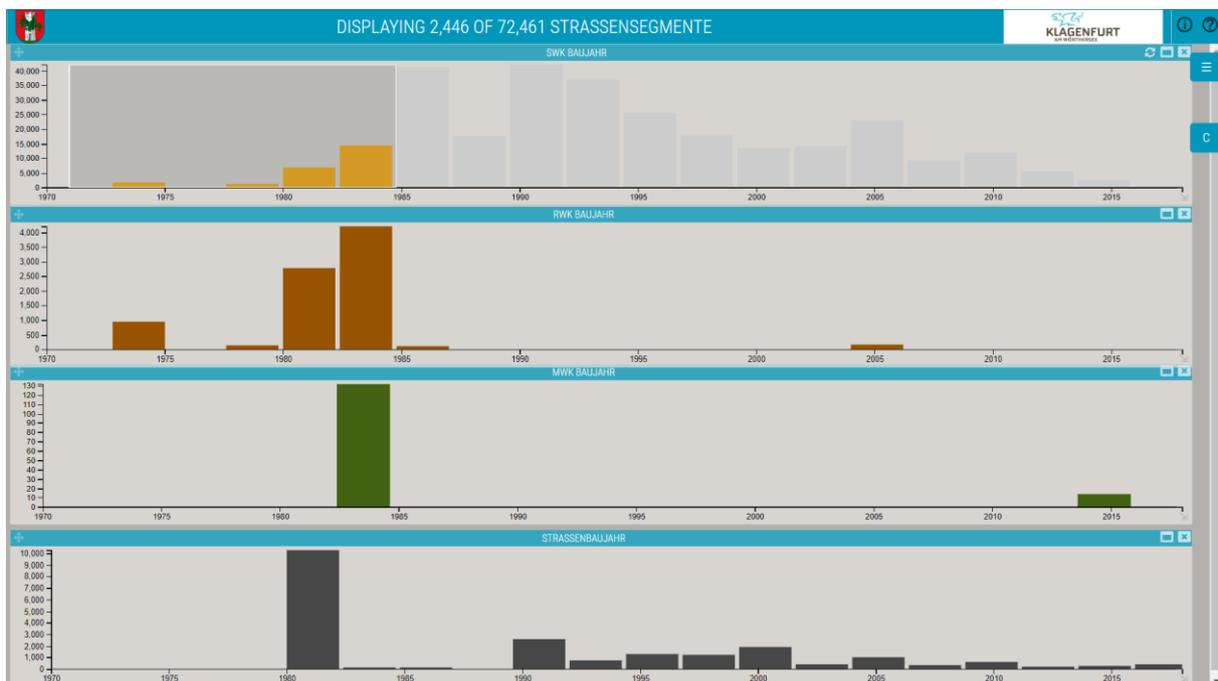


Abbildung 65: Darstellung der Baujahre der einzelnen Infrastrukturnetze (eigene Darstellung, 25.10.2018)

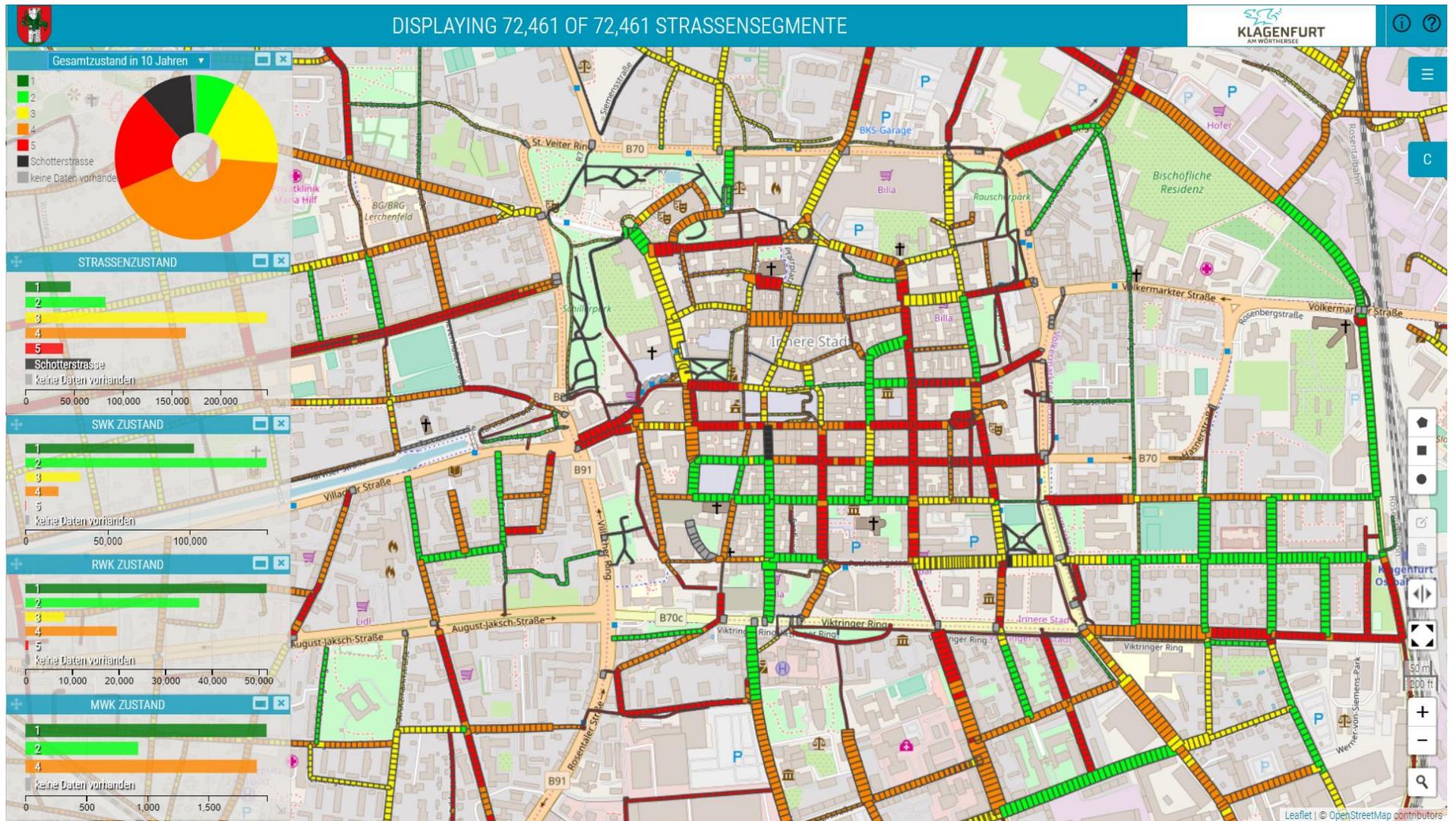


Abbildung 66: Darstellung der Straßensegmente nach den Gesamtzuständen in 10 Jahren (eigene Darstellung, 25.10.2018)

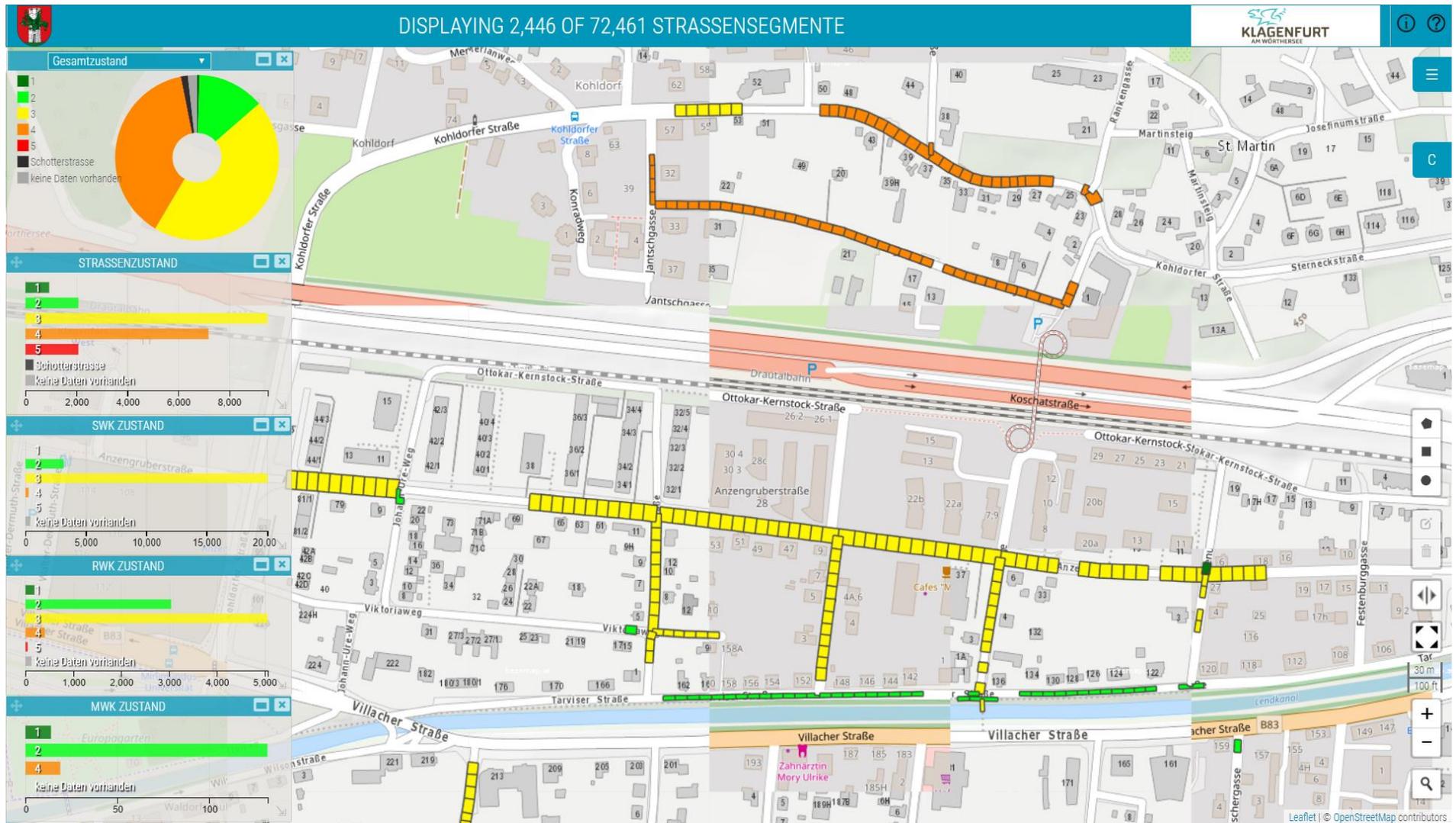


Abbildung 67: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung und Selektion der SW Kanäle mit einem Baujahr vor 1985 (eigene Darstellung, 25.10.2018)

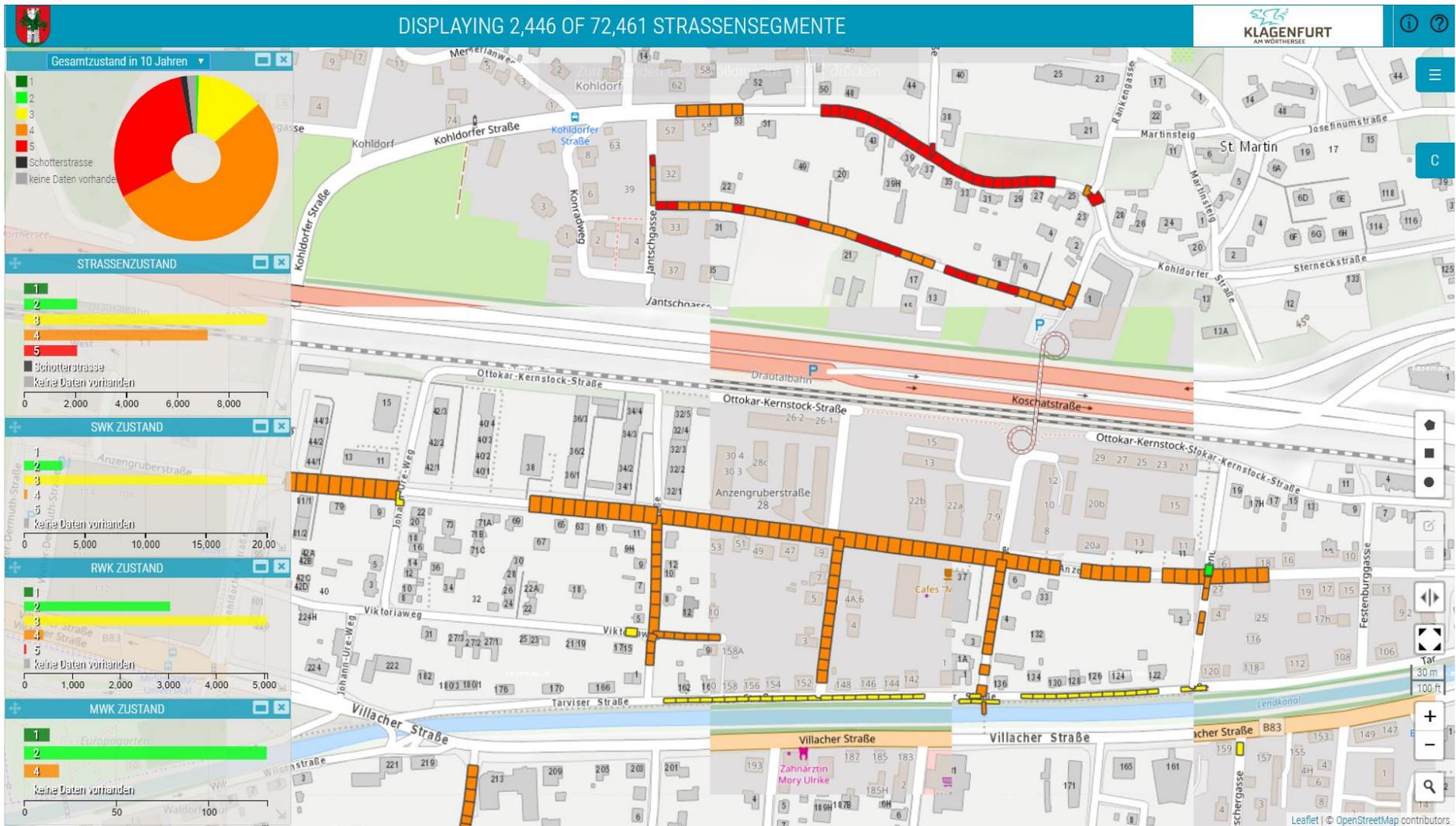


Abbildung 68: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung in 10 Jahren und Selektion der SW Kanäle mit einem Baujahr vor 1985 (eigene Darstellung, 25.10.2018)

Abbildung 69 zeigt die Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung, wobei nur jene dargestellt sind, bei denen eine kritische Straßenbewertung von 4 bzw. 5 vorliegt. Mit Hilfe der „Tooltipp“ Funktion und den Balkendiagrammen kann analysiert werden, wo eine integrative Sanierung sinnvoll wäre. Hierbei muss im Zuge des Entscheidungsfindungsprozesses abgewogen werden, ob kostengünstige Erhaltungsmaßnahmen bei Straßen eingesetzt werden, um die Zustandsverschlechterung zu verlangsamen und so eine gemeinsame Sanierung in Zukunft zu ermöglichen, oder ob eine Einzelsanierung des Straßenabschnittes unumgänglich ist.

Abbildung 70 zeigt einen Straßenzug, welcher basierend auf der zuvor beschriebenen Analyse als integrative Sofortmaßnahme in Betracht gezogen werden kann. Dieser Abschnitt wurde mit Hilfe des räumlichen Filters selektiert um spezifische Informationen zu erhalten. Da hier der Straßenzustand 5 aufweist und sich etwa 500 m Regenwasserkanal (RWK) mit Zustand 4 in diesem Abschnitt befinden, macht eine weitere Vorgehensweise zur Planung integrativer Maßnahmen Sinn.

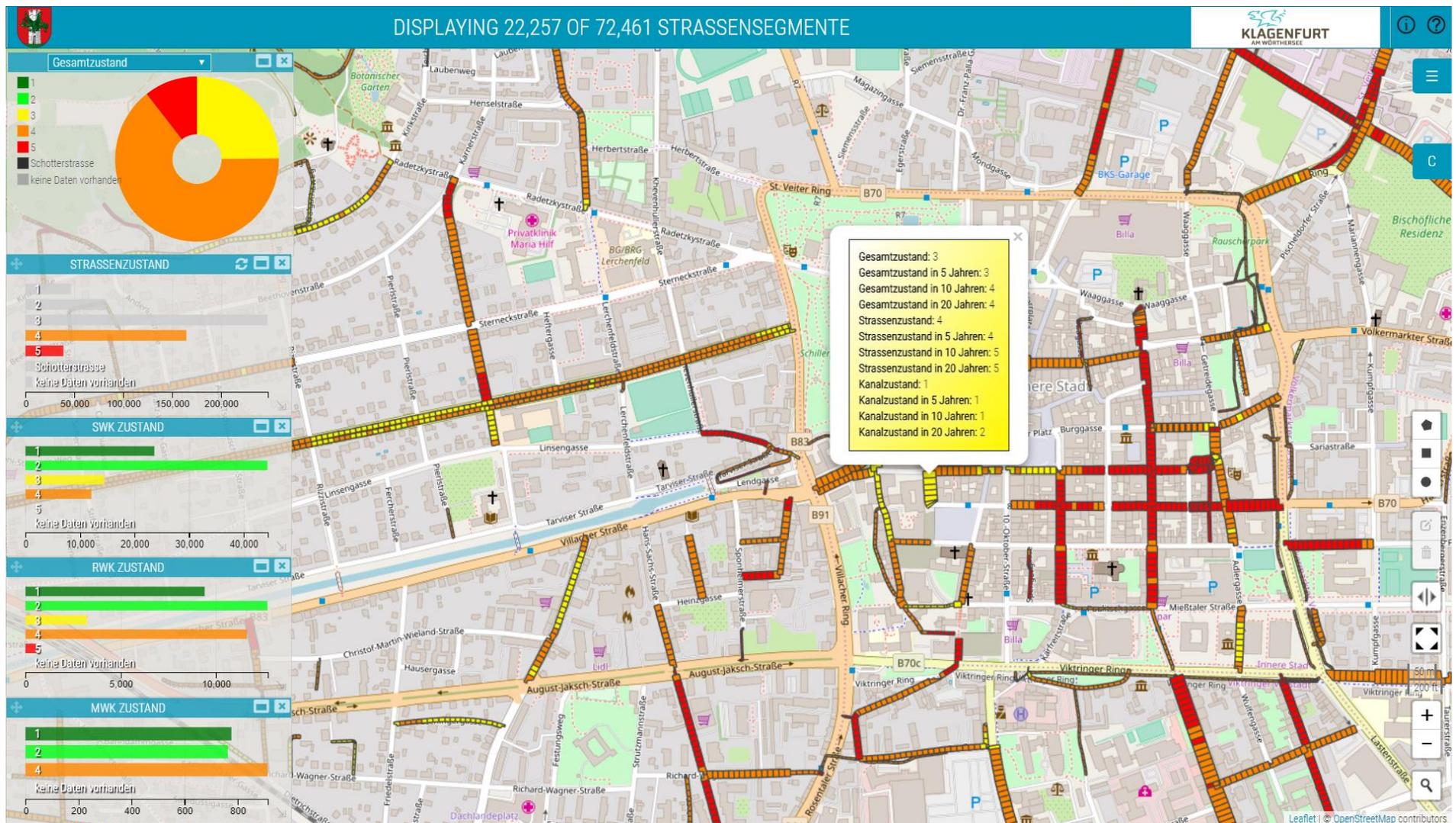


Abbildung 69: Darstellung der Straßensegmente nach ihrer Gesamtbewertung und Selektion der Straßenzustände 4 und 5 (eigene Darstellung, 25.10.2018)



Abbildung 70: Darstellung einer räumlichen Selektion der Straßensegmente mit der Gesamtbewertung 5 (eigene Darstellung, 25.10.2018)

5 Fazit und Ausblick

Die integrative Betrachtungsweise und die damit einhergehende räumliche und zeitliche Koordination aller Netzbetreiber, zur Vorbereitung von integrativen Tiefbausanierungsmaßnahmen, führt im Vergleich zur Einzelnetzsanierung bei erfolgreicher Umsetzung zur Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung. Dieser Vorteil ergibt sich durch die räumliche Nähe der Infrastrukturnetze im unterirdischen Straßenraum und der damit einhergehenden möglichen Nutzung von Synergieeffekten der unterschiedlichen Infrastrukturbetreiber. Das Gesamtsystem der städtischen Infrastruktur besteht aus dem öffentlichen Straßenraum und dem unterirdischen Bauraum. All diese Systemkomponenten haben unterschiedliche Alterungs- und Verschleißprozesse und weisen dadurch eine unterschiedliche Nutzungsdauer auf. Bei der Erneuerung zu unterschiedlichen Zeitpunkten ergeben sich neben den Mehrkosten aufgrund der höheren Baukosten, negative Auswirkungen auf andere Systemkomponenten und Belästigungen für Nutzer und Anwohner. Im weiteren Sinne führt die koordinierte Erneuerung städtischer Infrastrukturnetze, aufgrund einer schnelleren und einfacheren Realisierung von Mindeststandards und der Reduzierung von Schadenshäufigkeiten, zu einer allgemeinen Verbesserung der Versorgungssicherheit.

Eine erfolgreiche Umsetzung setzt neben einer entsprechenden (Geo-)Datengrundlage voraus, dass alle Beteiligten bzw. Betroffenen in den Entscheidungsfindungsprozess involviert werden und diesen auch verstanden haben. Um mit der Herausforderung der Abbildung der Komplexität realer Problemstellung in den räumlichen integrativen Entscheidungsfindungsprozess bestmöglich umzugehen, ist eine exakte Definition der räumlichen Problemstellung notwendig. Hierfür stellt GIS ein wichtiges Planungswerkzeug dar, da es einerseits in allen Bearbeitungsschritten

- Datenakquisition,
- Datenverwaltung,
- Datenanalyse bzw. -modellierung und
- Visualisierung der Ergebnisse

zum Einsatz kommt und andererseits die Modellierung, Analyse und Visualisierung der komplexen Beziehung zwischen Umwelt, Landnutzung und Infrastruktur ermöglicht. Ein erfolgreicher GIS Einsatz kann so zu einer Effizienzsteigerung, Kosteneinsparung, verbesserten Entscheidungsfindung und stärkeren Bürgernähe im Infrastrukturmanagement führen.

Datenakquisition

Der Einsatz von GIS ermöglicht eine strategische und einheitliche Vorgehensweise zur Datenakquisition. Dies bezieht sich auf die geodätische Vermessung der sichtbaren Netzelemente und Digitalisierung der Leitungsnetze inklusive der Attributvergabe. Obwohl die Haupthindernisse des GIS Einsatzes in der Vergangenheit, die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Geodaten sowie Soft- und Hardwarekosten, durch europäische bzw. nationale Richtlinien und dem technischen Fortschritt minimiert werden konnten, stellt die Datenakquisition den teuersten auf zeitaufwendigsten Teil der Planung von (integrativen) Sanierungsmaßnahmen dar. Hinzu kommt die Herausforderung, dass die Datenerhebung im kommunalen Umfeld meist in unterschiedlichen Institutionen erfolgt. Damit einher gehen unterschiedliche Datenmodelle sowie Zeit- und Budgetplanungen. Der Aufwand zur Koordination dieser Herausforderungen rechtfertigt sich jedoch nur, wenn die erhobenen Daten mehrfach verwendet werden, indem sie einer Vielzahl kommunaler Problemstellungen einfach und barrierefrei zur Verfügung gestellt werden.

Datenverwaltung

Die Datenverwaltung erfolgt in der Regel mit Hilfe eines LIS und einer integrierten zentralen Geodatenbank. Die gemeinsame Datenverwaltung der Leitungsnetze sowie deren Analyse und Visualisierung bildet das Herzstück der Netzdokumentation, auf Basis derer in weiterer Folge eine integrative Betrachtung zur Planung von Sanierungsmaßnahmen erfolgen kann. Der Einsatz einer zentralen Datenbank ermöglicht eine nicht redundante Datenhaltung und stellt die Daten bei Bedarf allen NutzerInnen, unabhängig von Ort und Zeit, zur Verfügung. Die Möglichkeiten und Funktionen in einem LIS sollten immer an die jeweiligen NutzerInnenanforderungen angepasst werden.

Datenanalyse bzw. -modellierung

Die Voraussetzung einer plausiblen Datenanalyse bzw. -modellierung zur integrativen Betrachtungsweise wird mit Hilfe des zuvor beschriebenen Datenmanagements geschaffen. Darauf aufbauend wird in der Prozessmodellierung dem Ziel nachgegangen, basierend auf der gegebenen Datenbasis, angepasste Zustandsbewertungs- bzw. Alterungsmodelle der Verkehrs- und Leitungsnetze zu integrieren, um in weiterer Folge durch Überlagerung der Einzelnetzbewertungen, Gesamtbewertungen je Straßensegment zu erhalten, von denen sich sofortige bzw. langfristige integrative Maßnahmen im Entscheidungsfindungsprozess ableiten. Hierfür kamen in der Modellierung neben GIS Standardfunktionen zur Überlagerung der Einzelzustände auch spezielle Funktionen zum Umgang mit unterschiedlichen geometrischen und topologischen Ausprägungen der Leitungsnetze zum Einsatz.

Eine zentrale Fragestellung war die Integration der unterschiedlichen Netzzustandsbewertungen. Sind Zustandsklassifikationen auf Basis detaillierter Zustandserhebungen vorhanden, kann diese Bewertung direkt in der Modellierung der Gesamtbewertung je Straßensegment übernommen werden. Beachtet werden muss hierbei jedoch die Interpretation der jeweiligen Zustandsklassen sowie die Vereinheitlichung der Wertebereiche. Nur dann ist die Vergleichbarkeit der Einzelnetzzustände gegeben und eine Ermittlung von Gesamtzuständen sinnvoll. Liegt keine konkrete Zustandsbewertung vor, erfolgt die Zustandsbewertung in Form einer alternativen Bewertung auf Basis der Bestandsdaten erst im Zuge der Prozessmodellierung. Hierbei besteht die Möglichkeit einer individuellen Anpassung des Wertebereichs, wodurch Normierungs- bzw. Standardisierungsverfahren überflüssig werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Ergebnisse der Gesamtbewertung nur so genau sind wie die ermittelten Einzelnetzzustände. Die Integration der Alterungsmodelle erfolgt analog. Erfüllt die Datengrundlage die Anforderungen komplexer Alterungsmodelle, kann die Zustandsverschlechterung im Vorfeld bestimmt und in Modellierungsprozesse übernommen werden. Ist dies nicht möglich, erfolgt die Anwendung alternativer Modelle mit Hilfe der Bestandsdaten ebenfalls im Zuge der Modellierung.

Aus mehreren Untersuchungen geht hervor, dass den größten Einfluss auf Zustandsverschlechterungsprozesse die Bestandsdaten Alter, Länge und Material haben. Auf diesen Parametern bauen auch die alternativen Zustands- und Prognosemodelle im Zuge der Fallstudie auf. Dieser Methode liegt jedoch der umstrittene Ansatz zu Grunde, dass das Netzalter ein Indikator für das Schadensrisiko bzw. die Zustandsverschlechterung ist. Zusammenfassend kann jedoch festgehalten werden, dass die Kombination von Literaturangaben bezüglich der durchschnittlichen technischen Nutzungsdauer von Leitungsmaterialien sowie dem ExpertInnenwissen zur Integration lokaler Gegebenheiten zu plausiblen Ergebnissen führt.

Eine kritische Betrachtungsweise der modellierten Ergebnisse ist unabhängig der eingesetzten Methoden notwendig. Auch der Einsatz der komplexesten Methoden auf Basis einer „optimalen“ Datengrundlage kann die realen Bedingungen nicht vollkommen wiedergeben. Besondere lokale Verhältnisse, welche Netzzustände bzw. den Zustandsverschlechterungsprozess gesondert beeinflussen, sowie spezielle Anforderungen der Beteiligten müssen im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden, indem sie in gemeinsamer Betrachtungsweise erarbeitet und in den Entscheidungsprozess integriert werden.

Visualisierung der Ergebnisse

Die Visualisierung der Ergebnisse bildet die Grundlage auf der im Zuge eines integrativen und partizipativen Prozesses, die EntscheidungsträgerInnen und Netzbetreiber Entscheidungen gemeinsam treffen. Die Komplexität der Prozessmodellierung soll hierbei im Verborgenen bleiben, der Prozess muss aber allen Betroffenen transparent und verständlich gemacht werden. Die Visualisierung spielt hierbei eine wichtige Rolle, da eine nutzerInnenfreundliche Darstellung der ermittelten Alternativen den Entscheidungsprozess vereinfacht, indem die Beteiligten räumliche Informationen lokalisieren können und eine räumliche und kritische Betrachtung erfolgt. Karten ermöglichen EntscheidungsträgerInnen räumliche Beziehungen und Muster direkt wahrzunehmen wodurch sie wenige, klare und einfach zu vergleichende Optionen erhalten.

Der Einsatz einer web-basierten Geo-BI Lösung, welche neben der interaktiven und übersichtlichen Visualisierung der Ergebnisse, die Antwort auf bestimmte räumliche Fragestellungen mit Hilfe statistischer Auswertungen liefert, ermöglicht einen einfachen und barrierefreien Zugang zu den wichtigen Informationen. Die Ergebnisse bieten in der Regel keine endgültige und unumstrittene Lösung, sondern stellen eine Diskussionsgrundlage weiterer Entscheidungen dar. Ein einfacher und barrierefreier Zugang ist notwendig, damit alle Betroffenen an dieser Diskussion teilnehmen können und ein vielseitiger Nutzen geschaffen wird. Im Zuge dieser Diskussion kann auch eine Plausibilitätsprüfung und Evaluierung der Ergebnisse erfolgen.

Der beschriebenen Gesamtprozess zur Vorbereitung integrativer Tiefbausanierungsmaßnahmen geht über die Einsatzmöglichkeiten von den GIS – Routineaufgaben (Erfassung, Speicherung und Analyse von Geodaten) hinaus. Für den Einsatz von GIS als Werkzeug zur Entscheidungshilfe im Infrastrukturmanagement sind Lösungen für die erwähnten geometrischen und topologischen Herausforderungen sowie der nutzerorientierten Umsetzung notwendig. Durch die Bildung von Schnittmengen unterschiedlicher Themenbereiche und der Herstellung räumlicher Beziehungen, wird die Möglichkeit der Gesamtbetrachtung der Auswirkungen von Entscheidungen geschaffen.

Eine große Herausforderung in der Vorbereitung integrativer Tiefbausanierungsmaßnahmen stellt die Erfolgskontrolle und Evaluierung dar. Kurzfristig können zwar über bestimmte Indikatoren, wie der Schadensrate oder der Anzahl von Aufgrabungen, positive Effekte abgeschätzt werden, langfristig machen jedoch die vielen Unsicherheiten eine genaue Abwägung der Vor- und Nachteile nahezu unmöglich. In dieser Arbeit wird eine Plausibilitätsprüfung bzw. Evaluierung der Ergebnisse im Zuge des Entscheidungsprozess

durch eine Diskussion aller Beteiligten empfohlen. Hierbei sollen lokale Gegebenheit integriert und Fehlannahmen durch die Prozessmodellierung bestmöglich ausgeschlossen werden.

Eine bestmögliche Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung für alle Beteiligten sowie eine Minimierung der negativen Auswirkungen der betroffenen Bevölkerung durch den Einsatz integrativer Sanierungsmaßnahmen, kann nur erreicht werden, wenn auf Basis einer bestmöglichen Datengrundlage verlässliche Ergebnisse in Form von konkreten Maßnahmen abgeleitet werden können. Eine Verbesserung der Datengrundlage in Richtung einer „optimalen“ Datengrundlage würde bei der Prozessmodellierung den Einsatz komplexerer Modelle, welche eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren berücksichtigen, erlauben. Eine verbesserte Ergebnisaussage bei korrekter Methodenanwendung könnte die Folge sein. Zur Verbesserung der integrativen Betrachtung von Infrastrukturnetzen würde neben der Optimierung der Datengrundlage, die Integration weiterer Leitungsnetze in den Modellierungsprozess beitragen.

6 Literaturverzeichnis

AG GEODATEN (2012): Geodaten in Kommunen. Leitfaden zur Betroffenheit und Pflichten der Kommunen im Rahmen der europäischen Geodateninfrastruktur (INSPIRE). Hg. v. Städte- und Gemeindetag Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.

AHMADI, M.; CHERQUI, F.; MASSIAC, J.-C. DE; LE GAUFFRE, P. (2014): Influence of available data on sewer inspection program efficiency. In: Urban Water Journal 11, 8, S. 641-656. DOI: 10.1080/1573062X.2013.831910.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (AdLReg Stmk) (2015a): Richtlinie zur Übergabe von Daten des Kanalkataster, vom 22.10.2015 3.4.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (AdLReg Stmk) (2015b): Richtlinie zur Übergabe von Daten des Wasserleitungskatasters, vom 22.10.2015 3.4.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hg.) (2016): Highway 2020. 15 Schritte zum ultraschnellen Internet. 2. Aufl. Abteilung 12 - Wirtschaft, Tourismus, Sport. Graz.

ANA, E. V.; BAUWENS, W. (2010): Modeling the structural deterioration of urban drainage pipes: the state-of-the-art in statistical methods. In: Urban Water Journal 7, 1, S. 47-59. DOI: 10.1080/15730620903447597.

ANDREAS JOSEF DONAUBAUER (2004): Interoperable Nutzung verteilter Geodatenbanken mittels standardisierter Geo Web Services. Dissertation. Technische Universität München. Bauingenieur- und Vermessungswesen, München.

ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N.; JANKOWSKI, P.; KEIM, D.; KRAAK, M.-J.; MAC EACHREN, A.; WROBEL, S. (2007): Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. In: International Journal of Geographical Information Science 21, 8, S. 839-857. DOI: 10.1080/13658810701349011.

BABASHAMSI, P.; MD YUSOFF, N. I.; CEYLAN, H.; MD NOR, N. G.; SALARZADEH JENATABADI, H. (2016): Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis. In: International Journal of Pavement Research and Technology 9, 4, S. 241-254. DOI: 10.1016/j.ijprt.2016.08.004.

BACH, P. M.; RAUCH, W.; MIKKELSEN, P. S.; MCCARTHY, D. T.; DELETIC, A. (2014): A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond. In: Environmental Modelling & Software 54, S. 88-107. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.12.018.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DER FINANZEN (StMF) (2003): Geoinformationssysteme. Leitfaden für kommunale GIS-Einsteiger. 1. Aufl. München: Bayer. Staatsministerium der Finanzen.

BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LfU) (2010): Leitfaden zur Inspektion und Sanierung kommunaler Abwasserkanäle. Hg. v. Bayrisches Landesamt für Umwelt. Bayrisches Landesamt für Umwelt. Augsburg.

BERGER, C.; FALK, C.; HETZEL FRIEDRICH; PINNEKAMP, J.; RODER, S.; RUPPELT, J. (2016): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. In: Sonderdruck KA Abwasser Abfall 2016, 6, S. 1-12.

BUNDESGESETZBLATT (BGBl) I Nr. 14/2010: Bundesgesetz über eine umweltrelevante Geodateninfrastruktur des Bundes. Geodateninfrastrukturgesetz – GeoDIG, letzter Zugriff: 11.10.2018. Fundstelle: Rechtsinformationssystem des Bundes.

BUNDESGESETZBLATT (BGBl) Nr. 186/1996: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV). letzter Zugriff: 11.10.2018. Fundstelle: Rechtssystem des Bundes.

BUNDESGESETZBLATT (BGBl) Nr. 215/1959: Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG. 1959. letzter Zugriff: 25.04.2018. Fundstelle: Rechtssystem des Bundes.

BUNDESGESETZBLATT (BGBl) II Nr. 304/2001: Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Trinkwasserverordnung - TWV, letzter Zugriff: 25.04.2018. Fundstelle: Rechtssystem des Bundes.

BÖLKE, K.-P. (2013): Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren. 4., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39221-4>.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. (1985): Note—A Preference Ranking Organization Method. In: Management Science 31, 6, S. 647-656. DOI: 10.1287/mnsc.31.6.647.

BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALISIERUNG UND WIRTSCHAFTSSTANDORT (BMDW) (2018): Digitales Österreich - Was ist E-Government? -. Hg. v. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. <https://www.digitales.oesterreich.gv.at/was-ist-e-government->, letzter Zugriff: 19.02. 2018.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW) (2013): INFOSAN. Strategische Informationsbeschaffung als Basis für die mittel- und langfristige ganzheitliche generelle Sanierungsplanung von Kanalisationsanlagen in Österreich Kanalisationsanlagen in Österreich. Endbericht. Unter Mitarbeit von Florian Kretschmer, Dominik Schwarz, Hanns Plihal, Thomas Ertl, Daniela Fuchs-Hanusch, Franz Friedl et al. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Universität für Bodenkultur Wien. Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW) (2016): Förderungsrichtlinie für die Kommunale Siedlungswasserwirtschaft 2016.

BURGER, G.; HOCHEDLINGER, M. (2008): Festlegung von Sanierungsprogrammen - Vor und Nachteile einer Baustellenkoordination anhand Beispielen. In: Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft 54, O1-O18.

CHAKRABORTY, A.; McMILLIAN, A. (2018): GIS and Scenario Analysis. Tools for Better Urban Planning. In: Huang, B. (Hg.): Comprehensive Geographic Information Systems: Elsevier, S. 371-380.

CHURCHMAN, C. W.; ACKOFF, R. L. (1954): An Approximate Measure of Value. In: OR 2, 2, S. 172-187. DOI: 10.1287/opre.2.2.172.

COUTINHO-RODRIGUES, J.; SIMAO, A.; HENGGELER ANTUNES, C. (2011): A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. In: Decision Support Systems 2011, 51, S. 720-726.

DI MICHELE, S.; DANIELA, L. (2011): Decision-support tools for municipal infrastructure maintenance management. In: Procedia Computer Science 3, S. 36-41. DOI: 10.1016/j.procs.2010.12.007.

DONAUBAUER, A. J. (2004): Interoperable Nutzung verteilter Geodatenbanken mittels standardisierter Geo Web Services. Dissertation. Technische Universität München. Bauingenieur- und Vermessungswesen, München.

- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (DWA) (2008):** Alterungsmodelle für Entwässerungssysteme: Entwicklung, Anforderungen und Nutzen. Hg. v. Abfall KA Korrespondenz Abwasser. DWA-Arbeitsgruppe ES-8.9.
- ERICH WILMERSDORF (1994):** Anforderungen an ein kommunales Geoinformationsmanagement. In: VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 82, S. 150-157.
- EU-RICHTLINIE 2007/2/EG** des europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft. INSPIRE, vom 14.03.2007. Fundstelle: Amtsblatt der Europäischen Union.
- FISCHER; SCHOLZ (2013):** Arbeitshilfen Abwasser. Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium der Verteidigung.
- FRIEDL, F. (2014):** Vergleich von statistischen und physikalischen Modellen zur Berechnung der Auftrittswahrscheinlichkeit von Schadensarten auf Trinkwasser-Haupt- und Zubringerleitungen. Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss. Graz: Verl. der Techn. Univ. Graz (Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Bd. 69).
- FUCHS-HANUSCH, D. (o.J.):** Wie alt werden Wasserleitungen. Hg. v. Technische Universität Graz. Institute of Urban Water Management and Landscape Water Engineering. Graz.
- FUCHS-HANUSCH, D.; GANGL, G.; KORNBERGER, B.; KÖLBL, J.; HOFRICHTER, J.; KAINZ, H. (2008):** "PIREM–Pipe rehabilitation management developing a decision support system for rehabilitation planning of water mains. In: Water Practice and Technology 3, 1.
- FUCHS, D.; ERTL, T. (2006):** Überprüfung, Bewertung und Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von Kanalisationsanlagen. In: Wasser am Nachmittag.
- GANGL, G. (2008):** Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen. Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss., 2008. Graz: Techn. Univ (Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, 53).
- GOTTHARDT, H. (2006):** Wirtschaftlichkeit von GIS. Leitfaden für das kommunale eGovernment. Runder Tisch GIS. 1. Aufl. Köln: sig Media (Geoinformationssysteme).
- GRAEFF, B.; SCHNEEBERGER, R. (2005):** E-Government-gerechte GIS-Infrastrukturen für Gemeinde: ein Plädoyer für mehr Kooperation. In: Geomatik Schweiz 2005, 5, S. 236-239.
- GUPE SOFTWARE (2015):** PiReM Systems, <http://www.pirem.net/de/content/veroeffentlichungen/14>, letzter Zugriff: 11.10.2018
- HAGHWERDI-POOR, G. (2007):** GIS-Konzept und Konturen eines IT-Master-Plans. Planungs- und Systementwicklung für die Informationstechnologie. Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2007. 1. Aufl. DOI: 10.1007/978-3-8348-9373-4.
- HALFAWY, M. R.; DRIDI, L.; BAKER, S. (2008):** Integrated decision support system for optimal renewal planning of sewer networks. In: Computing in Civil Engineering 22, 6, S. 360-372.
- HEIMBUCHNER, K. (2018):** GIP.at. Unter Mitarbeit von Gip.at, Gip.gv.at und VAO. <http://www.gip.gv.at/>, zuletzt aktualisiert am 12.05.2018.
- HORLACHER, H.-B. (2018):** Rohrleitungen 2. Einsatz, Verlegung, Berechnung, Rehabilitation. 2., neu bearbeitete Auflage.
- HUANG, J.-J.; TZENG, G.-H.; LIU, H.-H. (2009):** A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making - The Perspective of Regret Theory. In: Shi, Y., Wang, S., Peng, Y., Li, J. und Zeng, Y. (Hg.): Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making, Bd. 35. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Communications in Computer and Information Science), S. 761-768.

INTERGRAPH (2012): GeoMedia SmartClient. A Smarter Way to Enable Your World. <https://www.hexagongeospatial.com/white-papers/geomedia-smart-client-a-smarter-way-to-enable-your-world>, letzter Zugriff: 11.10.2018

KABIR, G.; SADIQ, R.; TEFAMARIAM, S. (2014): A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. In: Structure and Infrastructure Engineering 10, 9, S. 1176-1210. DOI: 10.1080/15732479.2013.795978.

KAINZ, H. (2008): Instandhaltung von Trinkwasser- und Abwasserleitungen. ÖWAV - TU Graz Symposium; Graz, 09./10. Juli 2008. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband; ÖWAV-TU Graz Symposium Instandhaltung von Trinkwasser- und Abwasserleitungen. Graz: Verl. der Techn. Univ. Graz (Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, 54).

KALASEK, R. (1997): Kommunale Informationssysteme in Österreich. In: Schrenk, M. (Hg.): Symposium CORP'97.

KHAN, A. R.; QUADRI, S.M.K. (2012): Business Intelligence: An Integrated Approach. In: Business Intelligence Journal 5, 1, S. 64-70.

KLEIDORFER, M.; MÖDERL, M.; TSCHIEKNER-GRATL, F.; HAMMERER, M.; KINZEL, H.; RAUCH, W. (2013): Integrated planning of rehabilitation strategies for sewers. In: Water Science & Technology 68, 1, S. 176. DOI: 10.2166/wst.2013.223.

KLEINER, Y.; NAFI, A.; RAJANI, B. (2010): Planning renewal of water mains while considering deterioration, economies of scale and adjacent infrastructure. In: Water Science & Technology: Water Supply 10, 6, S. 897. DOI: 10.2166/ws.2010.571.

KLEINER, Y.; RAJANI, B. (2001): Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. In: Urban Water Journal 3, S. 131-150.

KLEY, G.; CARADOT, N. (2013): Review of Sewer Deterioration Models. Hg. v. Kompetenzzentrum Wasser Berlin. Surface Water. Berlin.

KOMMUNALE KOORDINIERUNGSGREMIUM GEODATENINFRASTRUKTUR DEUTSCHLAND (GDI-DE) (2012): Einsatz von Geoinformation in den Kommunen. Ergebnisse der Umfrage Good Practice Beispiele Handlungsempfehlungen. Hg. v. Deutscher Städtetag, Deutscher Landkreistag und Deutscher Städte- und Gemeindebund. Berlin.

MAGISTRAT DER LANDESHAUPTSTADT KLAGENFURT AM WÖRTHERSEE (Magistrat KlGf) (2017): Statistisches Jahrbuch 2017. Unter Mitarbeit von Gabriele Stoiser, Michaela Jernej, Dietmar Konic und Guiseppa Ferrara. Klagenfurt.

UMWELTFÖRDERUNG KOMMUNALKREDIT PUBLIC CONSULTING (KPC) (2012): Ergebnisse der Investitionskostenenerhebung Siedlungswasserwirtschaft 2012.

KROPP, I.; HERZ, R. (2005): Bewertung von Leitungsnetzen. Analyse und Prognose von Schäden. In: wwt 5, S. 10-14.

LANGE, N. (2013): Geoinformatik. In Theorie und Praxis. 3., vollst. überarb. u. akt. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34807-5>.

LIU, Z.; KLEINER, Y. (2012): State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. In: Measurement 2013, S. 1-15.

MA, Z.; REN, Y. (2017): Integrated Application of BIM and GIS: An Overview. In: Procedia Engineering 196, S. 1072-1079.

MAIR, M.; SITZENFREIT, R.; MÖDERL, M.; RAUCH, W. (2012): Identifying multi utility network similarities. In: World Environmental and Water Congress, S. 3147-3153.

- MALCZEWSKI, J. (2006):** GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. In: International Journal of Geographical Information Science 20, 7, S. 703-726. DOI: 10.1080/13658810600661508.
- MARC WOLFRAM (2010):** Nutzung von Geoinformation in der Stadtplanung: Stand und Perspektiven. Ergebnisse einer Online-Befragung unter deutschen Groß- und Mittelstädten. Unter Mitarbeit von Stefan Mühl, Mario Dammköhler und Verena Teucher. Hg. v. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Dresden.
- MASSER, I. (Hg.) (1996):** GIS diffusion. The adoption and use of geographical information systems in local government in Europe. London u.a.: Taylor & Francis (GISDATA, 3).
- MEERWARTH, W. (1994):** Koordinierte Planung der Erneuerung städtischer Infrastrukturnetze. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 1994. Karlsruhe: Inst. für Städtebau und Landesplanung (Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung, 26).
- NAFI, A.; KLEINER, Y. (2010):** Scheduling Renewal of Water Pipes While Considering Adjacency of Infrastructure Works and Economies of Scale. In: J. Water Resour. Plann. Manage. 136, 5, S. 519-530. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000062.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC) (2018):** Hg. v. OGC. OGC. <http://www.opengeospatial.org/>, zuletzt geprüft am 25.04.2018.
- OSMAN, H. (2016):** Coordination of urban infrastructure reconstruction projects. In: Structure and Infrastructure Engineering 12, 1, S. 108-121. DOI: 10.1080/15732479.2014.995677.
- ROSE, A.; SCHEU, M. (2005):** Einbettung von Geoinformation in E-Government-Prozesse. In: ZTV, 2005 1, S. 6-11.
- SAATY, T. L. (1988):** The analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation. 2nd ed.: Thomas Saaty.
- SCHATTAUER, G. (2008):** Leitungskataster am Beispiel der Stadtgemeinde Liezen. Hg. v. Kainz Harald. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU Graz. Graz.
- SCHOLTEN, L.; SCHEIDEGGER, A.; REICHERT, P.; MAURER, M. (2013):** Combining expert knowledge and local data for improved service life modeling of water supply networks. In: Environmental Modelling & Software 42, S. 1-16.
- STATISTIK AUSTRIA (Hg.) (2018):** Bevölkerung am 1.1.2018 nach Politischen Bezirken, Alter - Insgesamt. Wien.
- STÜRMER, S. (2007):** Qualitätsgesicherter Aufbau digitaler Netzdokumentation. Möglichkeiten, Grenzen und Risiken von Prozessorientiertem Qualitätsmanagement (PQM). Dissertation. Universität der Bundeswehr München. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, München.
- TRÜLZSCH, S. (2015):** Integrative Planung von Infrastrukturmaßnahmen. Dissertation. TU Dresden. Bauingenieurwesen, Dresden.
- TSCHAIKNER-GRATL, F. (2015):** Integrated approach for multi-utility rehabilitation planning of urban water infrastructure. Focus on small and medium sized municipalities. Dissertation. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. Fakultät für technische Wissenschaften, Innsbruck.
- TSCHAIKNER-GRATL, F.; EGGER, P.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2017):** Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. In: Water 9, 2, S. 68. DOI: 10.3390/w9020068.

- TSCHEIKNER-GRATL, F.; MIKOVITS, C.; MÖDERL, M.; HAMMERER, M.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2013):** Integrated Rehabilitation Management for Different Infrastructure Sectors. In: gwf - Wasser| Abwasser 154, 1, S. 56.
- TSCHEIKNER-GRATL, F.; MIKOVITS, C.; SITZENFREI, R.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2015a):** GIS-Anwendungen in der integrierten Rehabilitierungsplanung von urbaner Wasserinfrastruktur. In: AGIT - Journal für Angewandte Geoinformation 1, S. 308-314.
- TSCHEIKNER-GRATL, F.; SITZENFREI, R.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2016a):** Enhancement of limited water supply network data for deterioration modelling and determination of rehabilitation rate. In: Structure and Infrastructure Engineering 12, 3, S. 366-380. DOI: 10.1080/15732479.2015.1017730.
- TSCHEIKNER-GRATL, F.; SITZENFREI, R.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2016b):** Integrated rehabilitation planning of urban infrastructure systems using a street section priority model. In: Urban Water Journal 13, 1, S. 28-40. DOI: 10.1080/1573062X.2015.1057174.
- TSCHEIKNER-GRATL, F.; SITZENFREI, R.; STIBERNITZ, C.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. (2015b):** Integrated rehabilitation management by prioritization of rehabilitation areas for small and medium sized municipalities. In: World Environmental and Water Congress, S. 2045-2057.
- VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. (2014):** Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. In: Automation in Construction 38, S. 109-127.
- WENINGER-VYCDIL, A.; LITZKA, J.; VEIT-EGERER, R.; BUCHTA, M.; MAURER, P.; FURTNER, P. (2013):** Bauliche Erhaltung kommunaler Straßen. Eine Grundlage für das Erhaltungsmanagement der kommunalen Straßeninfrastruktur. Wien.
- WERNER, M. (2016):** Geoinformationssysteme als E-Government-Basistechnologie. In: Soziale Technik, 2016 1, S. 12-14.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2017):** Data and statistics. Water-related diseases. WHO. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/data-and-statistics>, letzter Zugriff: 22.10.2017.
- WICKRAMASURIYA, R.; MA, J.; BERRYMAN, M.; PEREZ, P. (2013):** Using geospatial business intelligence to support regional infrastructure governance. In: Knowledge-Based Systems 53, S. 80-89. DOI: 10.1016/j.knosys.2013.08.024.
- WOLFRAM, M. (2010a):** Nutzung von Geoinformation in der Stadtplanung: Stand und Perspektiven. Ergebnisse einer Online-Befragung unter deutschen Groß- und Mittelstädten. Unter Mitarbeit von Stefan Mühl, Mario Dammköhler und Verena Teucher. Hg. v. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Dresden.
- WOLFRAM, M. (2010b):** Status and strategies of spatial data technology adoption in local governments in germany: Requisite variety or digital disparity? City choices and strategic planning. Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung. EURA Conference 2010. Darmstadt, 2010.
- YOON, K. P.; HWANG, C.-L. (2003):** Multiple attribute decision making. An introduction. [Nachdr.]. Thousand Oaks, Calif.: Sage (Sage university papers, 104).