

DECISION SUPPORT SYSTEME FÜR DIE REHABILITATIONSPLANUNG VON WASSERROHRNETZEN

DISSERTATIONSSCHRIFT

Eingereicht an der Fakultät für Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Graz

von

Daniela Fuchs

Diplomingenieurin für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

Universitätsassistentin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz

Graz, im Juni 2001

Auf der ganzen Welt gibt es kaum etwas Weicheres und Schwächeres als das Wasser.
Und doch in der Art, wie es dem Harten zusetzt, kommt nichts ihm gleich.

(LAOTSE)

Gewidmet meinem Vater

VORWORT

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand zwischen 1998 und 2001 während meiner Tätigkeit als Universitätsassistentin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz, in enger Zusammenarbeit mit den Grazer Wasserwerken.

Für die Ermöglichung dieser Arbeit möchte ich mich daher bei den Institutsvorständen während dieser Zeit Herrn O.Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Renner und Herrn Univ.-Prof. DDI Dr. Harald Kainz bedanken.

Mein Dank gilt aber im Besonderen Herrn Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Peter Kauch für den wertvollen Beistand, den er mir nicht nur in fachlicher Hinsicht geleistet hat und für die Übernahme der Erstbegutachtung. Für die freundliche Übernahme der Zweitbegutachtung danke ich herzlichst Herrn Univ.DoZ. DI Dr. Maximilian Steinkellner.

Ebenso möchte ich mich bei den Grazer Wasserwerken, insbesondere bei Herrn DI Peter Weinbauer und Herrn Direktor DI Helmut Nickl für die konstruktive Zusammenarbeit und die angeregte Diskussion bedanken.

Meinem Kollegen Herrn cand. Ing. Friedrich Rupp möchte ich für die Unterstützung und Hilfestellung bei den ersten Schritten in die Welt der Datenbanken danken.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Freundin Sabine Bürgler für die Durchführung der Korrekturlesung.

Ein Dank vom Herzen geht zu guter Letzt vor allem an meinen Lebensgefährten Wolfgang, meine Großmutter und meine Eltern, die steirischen Berge, das Almtal, den indischen Himalaya und seine Menschen und die vielen anderen wunderbaren und ruhigen Flecken dieser Erde, die ich bisher besuchen konnte, die letztendlich die „Kraftspender“ für diese Arbeit waren.

Graz, im Juni 2001

Daniela Fuchs

Decision Support Systeme für die Rehabilitationsplanung von Wasserrohrnetzen

KURZFASSUNG

Für eine vorbeugende Strategieverfolgung bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen sind umfassende Bestands- und Zustandsanalysen des Wasserrohrnetzes erforderlich. Datenverwaltungssysteme, wie relationale Datenbanken oder Geoinformationssysteme, können hierfür nach entsprechender Anpassung als Instrument zur Unterstützung von Entscheidungsfindungsprozessen dienen.

Zur Lokalisierung von Schwachstellen in Wasserrohrnetzen und die darauf aufbauende zustandsorientierte Rehabilitationsplanung wurde versucht, ein Desktop-GIS als Decision Support System anzuwenden. Für die Untersuchungen konnten Bestands- und Zustandsdaten des Grazer Wasserrohrnetzes verwendet werden.

Ein wesentlicher Teil umfassender Rehabilitationsplanungen ist die Abschätzung des langfristigen Rehabilitationsbedarfes. Zu diesem Zweck wurde das Alterungsmodell nach HERZ in eine Access Datenbank integriert. Es liefert die mathematische Grundlage des, in dieser Arbeit entwickelten Decision Support Systems PiReP (Pipe Rehabilitation Planning System). Es kann für die Verwaltung von Bestandsdaten und Schäden, die Gruppierung von Leitungen mit ähnlichem Nutzungsdauerverhalten, die Ermittlung der Trendfunktionen der Schadensraten und die Kalibrierung der Alterungsfunktionen der Leitungsgruppen, die Prognose des langfristigen Rehabilitationsbedarfs, für Szenarioanalysen sowie für die Ermittlung vorrangig zu erneuernder Leitungsabschnitte eingesetzt werden.

Decision Support Systems in Rehabilitation Planning of Water-Pipe Networks

SUMMARY

The pursuance of a preventive strategy in the planning of rehabilitation measures requires a detailed inventory as well as state analysis of the existing water-pipe network. Once they have been adjusted accordingly, data management systems, such as relational data bases and geo-information systems, can serve as valuable tools in decision-making.

To locate weak spots in water-pipe networks and, as a consequence, to plan their rehabilitation based on their current state, a desktop GIS was employed as decision support system. The data of the urban water-pipe network of the city of Graz were available for the study .

A crucial part of any comprehensive rehabilitation scheme is the assessment of the long-term need for rehabilitation. To this end, the ageing model according to HERZ was integrated into an Access data base. It provided the mathematical foundation of the decision support system PiReP (Pipe Rehabilitation Planning System), which was developed in the course of the study. It can be used for the administration of inventory data and recorded damage, the grouping of pipes displaying similar fatigue behaviour, the determination of trends in failure rates as well as for the calibration of ageing functions of groups of pipes, long-term rehabilitation requirement forecasting and scenario analyses.

Inhaltsverzeichnis:

1	VERANLASSUNG UND ZIEL	9
2	REHABILITATIONSSTRATEGIEN FÜR WASSERROHRNETZE	11
2.1	Begriffsdefinitionen.....	11
2.2	Allgemeines	15
2.3	Ereignisorientierte Rehabilitationsstrategie.....	17
2.4	Vorbeugende, intervallorientierte Rehabilitationsstrategie	18
2.4.1	Alterungsfunktionen	18
2.4.2	Leitungsgruppenbildung.....	23
2.4.3	Schätzung der Alterungsparameter.....	24
2.4.4	Rehabilitationsbedarf	27
2.4.5	Strategieverfolgung.....	27
2.4.6	Zusammenfassung	29
2.5	Vorbeugende, zustandsorientierte Rehabilitationsstrategie	30
2.5.1	Schritt 1: Festlegung von Kriterien und Regeln für die Entscheidungsfindung	31
2.5.2	Schritt 2: Bildung von Netzzonen	45
2.5.3	Schritt 3: Reihung der Netzzonen	46
2.5.4	Schritt 4: Aufstellung des Rehabilitationsplanes.....	49
2.5.5	Zusammenfassung	50
2.6	Zusammenfassung.....	51
3	DATENVERWALTUNGS- UND ANALYSESYSTEME	53
3.1	Datenbanken.....	53
3.1.1	Allgemeines	53
3.1.2	Relationale Datenbanken (RDB).....	54
3.2	Geoinformationssysteme (GIS)	56
3.2.1	Allgemeines	56
3.2.2	Netzinformationssysteme.....	58
4	DECISION SUPPORT SYSTEME (DSS) FÜR DIE REHABILITATIONSPLANUNG	60
4.1	Allgemeines	60
4.2	GIS als DSS für die Rehabilitationsplanung	61
4.3	Relationale Datenbanksysteme als DSS für die Rehabilitationsplanung.....	62
5	DAS GRAZER ROHRNETZ – DIE AUSGANGSSITUATION	63
5.1	Allgemeines	63
5.2	Datenerhebung	66
5.2.1	Allgemeines	66

5.2.2	Bestandspläne	67
5.2.3	Digitaler Rechennetzplan	67
5.2.4	Hausanschlussdatenbank	68
5.2.5	Schadensstatistik - Versorgungsleitungen.....	68
5.2.6	Bestandskarteien – und dateien.....	70
5.2.7	Kennwerte Messzonen A-H	70
5.2.8	Versorgungsdruck.....	73
5.3	Zusammenfassung.....	73
6	UNTERSUCHUNG ZUR VERWENDBARKEIT EINES DESKTOP-GIS ALS DSS	75
6.1	Allgemeines	75
6.2	Verwendbarkeit Rechennetzplan.....	75
6.3	Lokalisierung von Schäden	78
6.4	Zusammenfassung.....	78
7	DSS FÜR DIE STRATEGISCHE PLANUNG VON REHABILITATIONEN (PIREP)	80
7.1	Funktionsprinzip PiReP	81
	7.1.1 Prinzip der Rehabilitationsplanung mit PiReP	81
7.2	Hauptmenü	84
7.3	Datenerfassung.....	84
	7.3.1 Bestandslängen	85
	7.3.2 Schadensstatistik.....	87
7.4	Voruntersuchungen	89
	7.4.1 Bildung von Leitungsgruppen.....	89
	7.4.2 Auswertung der Schadensstatistik	92
	7.4.3 Leitungsgruppenbildung / Schadensauswertung Graz:	96
	7.4.4 Ergebnisse der Voruntersuchungen für Graz	107
7.5	Schätzung der Alterungsparameter	110
7.6	Rehabilitationsbedarfsprognose	114
	7.6.1 Rehabilitationsbedarfsprognose Grazer Rohrnetz.....	114
7.7	Szenarioanalyse.....	122
7.8	Strangauswahl.....	125
8	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	126
	LITERATURVERZEICHNIS	129
	ANHANG A: Auswertungen Grazer Wasserrohrnetz	
	ANHANG B: Überblick Datenbankschema	

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 2.1.1: <i>Instandhaltung von Wasserversorgungsrohrleitungen nach DVGW-Hinweis W401 (1997)</i>	12
Abb. 2.2.1: <i>Materialstruktur ausgewählter WVUs [Wien, Innsbruck, Stuttgart, Erfurt und Zürich aus R. Herz (1996)]</i>	15
Abb. 2.2.2: <i>Material- und Durchmessererteilung des Grazer Rohrnetzes</i>	16
Abb. 2.4.1: <i>Lebensdauererteilung mit Garantieausfällen (Phase I), Resistenzzeit (Phase II) und Verschleißausfällen (Phase III) [nach R. Herz (1993)]</i>	19
Abb. 2.4.3: <i>Technische Nutzungsdauer nach Leitungsgruppen [DVGW-Hinweis W401 (1997)]</i>	25
Abb. 2.4.4: <i>Abschätzung der jährlich erforderlichen Rehabilitationsraten [C. Skarda (1998)]</i>	28
Abb. 2.5.1: <i>Planungsschritte bei der zustandsorientierten Strategieerteilung nach S. Evins, G. Stevenson et al. (1989)</i>	30
Abb. 2.5.2: <i>Entwicklung der Bruchquote in Berlin nach Riege D., 1991 zitiert bei H. Mayr (1996)</i>	41
Abb. 3.1.1: <i>Zusammensetzung eines Informationssystems [nach N. Bartelme (1999)]</i>	53
Abb. 3.2.1: <i>Funktionsweise eines Geoinformationssystems [nach J. Fürst (1990)]</i>	57
Abb. 3.2.2: <i>Zusammensetzung eines Netzinformationssystems [aus Gas & Wasser digital 1 (1993)]</i>	59
Abb. 5.1.1: <i>Anstieg der Schadenshäufigkeiten im Grazer Rohrnetz [H. Nickl (1999)]</i>	64
Abb. 5.2.1: <i>Erforderliches Datenmaterial für die zustandsorientierte Netzanalyse</i>	66
Abb. 5.2.2: <i>Schadenshäufigkeiten je Alter und Material [aus P. Weinbauer (1997)]</i>	69
Abb. 5.2.3: <i>Kennwerte der Messzone F des Grazer Rohrnetzes [P. Weinbauer (1996)]</i>	71
Abb. 6.2.1: <i>ArcView® Grafik und Attributtabelle bei Verwendung des Rechenetzplanes</i>	76
Abb. 6.2.2: <i>Grafik (Netz.shp) und Attributtabelle der Leitungen des Rechenetzplanes nach Verknüpfung des Textes mit der Liniengeometrie der Leitungen</i>	77
Abb. 6.3.1: <i>Grobe Lokalisierung von Schäden über die Adresse aus der Schadensstatistik</i>	78
Abb. 7.1.1: <i>Flussdiagramm zum Entscheidungsfindungsprozess mit Hilfe von PiReP</i>	82
Abb. 7.3.1: <i>Formular für die Bestandslängeneingabe aus den Karteikarten</i>	85
Abb. 7.3.2: <i>Kohortenlängen (Verlegelänge je Jahrgang) AZ DN < 100</i>	86
Abb. 7.3.3: <i>Eingabeformular für die Eingabe von Schäden an Versorgungsleitungen</i>	88
Abb. 7.4.1: <i>Einige Variationsmöglichkeiten für die Leitungsgruppenerteilung</i>	89
Abb. 7.4.2: <i>Je nach Verlegeperioden [5-jahres Schritte] eingesetzte Materialien des Grazer Wasserver-sorgungsnetzes</i>	91
Abb. 7.4.3: <i>Erste Auswahl der Leitungsgruppen für das Grazer Rohrnetz</i>	91
Abb. 7.4.4: <i>Modul „Auswertung der Schadensstatistik“ mit PiReP</i>	93
Abb. 7.4.5: <i>Trendfunktion der Schadensrate des Grazer Rohrnetzes in Abhängigkeit vom Alter</i>	94
Abb. 7.4.6: <i>Anstieg des mittleren Alters des Grazer Rohrnetzes</i>	95
Abb. 7.4.7: <i>Entwicklung der Schadensraten des Grazer Rohrnetzes seit 1975</i>	95
Abb. 7.4.8: <i>Altersabhängige Schadensraten für GG DN < 150</i>	98
Abb. 7.4.9: <i>Entwicklung der Schadensrate GG DN < 150 1870-1875 (englische Gussrohre)</i>	100
Abb. 7.4.10: <i>Entwicklung der Schadensrate GG DN < 150 1940 –1969</i>	100
Abb. 7.4.11: <i>Altersabhängige Schadensraten für GG DN < 100</i>	101
Abb. 7.4.12: <i>Altersabhängige Schadensraten für GG DN 100 und DN125</i>	101
Abb. 7.4.13: <i>Durchschnittliche jährliche Schadensrate GG DN < 100 1876 -1939</i>	102
Abb. 7.4.14: <i>Altersabhängige Schadensraten AZ DN < 100</i>	103

Abb. 7.4.15: Trend der jährlichen Schadensrate an AZ-Leitungen DN < 100.....	104
Abb. 7.4.16: Jährliche Schadensrate von Stahlleitungen.....	105
Abb. 7.4.17: Jährliche Schadensrate von PVC Leitungen DN ≥ 150.....	106
Abb. 7.5.1: Modul zur der Schätzung der Alterungsparameter.....	110
Abb. 7.5.2: Detailansicht der, durch Parametervariation an die Schadensrate angepassten Ausfallrate (ar) für PVC DN ≥ 150.....	112
Abb. 7.6.1: Modul Rehabilitationsbedarfsprognose	114
Abb. 7.6.8: Erforderliche jährliche Erneuerungsraten des Grazer Rohrnetzes (Soll-Werte).....	119
Abb. 7.7.1: Modul Szenarioanalyse	122
Abb. 7.7.2: Prognostizierter Erneuerungsbedarf bei Beibehaltung der derzeitigen Erneuerungsstrategie bis 2006 (Szenario 1)	123
Abb. 7.7.3: Erneuerungsraten ab 2007 bei Beibehaltung der derzeitigen Instandhaltungspraxis.....	123
Abb. 7.7.4: Prognostizierter Erneuerungsbedarf bei Beibehaltung der derzeitigen Erneuerungsstrategie bis 2020 (Szenario 2)	124
Abb. 7.7.5: Prognostizierte Schadensrate des Grazer Rohrnetzes	125
Abb. 7.8.1: Auswahl vorrangig zu erneuernder Abschnitte	125

Tabellenverzeichnis:

Tab. 2.4.1: Anforderungen an die Überlebensfunktion (ÜF)	19
Tab. 2.5.1: 3-stufige Akzeptanzklassen [S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989)].....	32
Tab. 2.5.2: Akzeptanzlevels der Mindestbetriebsdrücke für englische Verhältnisse [S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989)].....	32
Tab. 2.5.3: Mögliche Punktevergabe für die Zustandsverbesserung in Abhängigkeit vom Dringlichkeits-level und dem Rehabilitationskriterium	33
Tab. 2.5.4: Bewertungsmöglichkeit der Zuverlässigkeit einer Maßnahme.....	34
Tab. 2.5.5: Kosten/Nutzenfaktor Ermittlung Zone X	35
Tab. 2.5.6: Kosten/Nutzenfaktor Ermittlung Zone Y	35
Tab. 2.5.7: Kennzahlen Anlagenbetrieb und Versorgungsqualität [W. HIRNER (1997)]	37
Tab. 2.5.8: Kennzahlen Personal und Produktivität [W. HIRNER (1997)].....	38
Tab. 2.5.9: Kennzahlen Wirtschaftlichkeit [W. HIRNER (1997)]	39
Tab. 2.6.1: Vergleich verschiedener Rehabilitationsstrategien	51
Tab. 3.1.1: Beispiel einer Datentabelle für die Entität Material in PiReP.....	54
Tab. 5.1.1: Empfohlene Erneuerungsraten in Abhängigkeit von der Schadensrate und den Wasser-verlusten [nach A. Böhm (1993)].....	63
Tab. 5.1.2: Geplante Erneuerungen für den Zeitraum 2001 bis 2006 [H. Nickl (1999)]	65
Tab. 5.2.1: Gliederung der Bestandskarteien.....	70
Tab. 5.2.2: Berechnung der theoretischen Schadensraten und Reihung der Messzonen	72
Tab. 5.3.1: Mögliche Schadensanfälligkeit in Abhängigkeit vom Werkstoff in Graz (Punkte: nein 0; evtl. 0,5; ja 1; stark 2)	74
Tab. 6.2.1: Attribute der SEBIS Datenbank für die Rohrnetzberechnung.....	75
Tab. 7.4.1: Standardleitungsgruppen in PiReP	90
Tab. 7.4.2: Jährliche Schadens- und Erneuerungsraten der Leitungsgruppen.....	109
Tab. 7.5.1: Alterswerte und -parameter (pessimistisch).....	112
Tab. 7.5.2: Alterswerte und -parameter (optimistisch).....	113
Tab. 7.6.7: Mittlere jährliche Erneuerungslänge.....	121

1 VERANLASSUNG UND ZIEL

Die Wasserverteilungsanlagen der Industriestaaten befinden sich nach einer mehr als 100-jährigen Periode des Ausbaues nun in einer intensiven Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsphase. Die Kosten für die Instandhaltung und den Betrieb des Rohrnetzes machen nach H. MAYR (1996) ca. 70% der eingesetzten Betriebsmittel deutscher Wasserversorgungsunternehmen (WVU) aus. In Österreich werden diese Kosten in den nächsten 12 Jahren laut Kommunalkredit Austria AG (ÖKK) auf einen Betrag von rund 30 Mrd. ATS geschätzt. Fundierte Entscheidungsgrundlagen für Zeitpunkt, Ort und Ausmaß der erforderlichen Rehabilitationsmaßnahmen (Erneuerung, Reinigung und Sanierung) sind für den optimalen Einsatz der oft begrenzten finanziellen Mittel von großer Bedeutung.

Oft werden Erneuerungen nur auf Veranlassung von Projekten anderer Betreiber unterirdischer Infrastruktur oder im Zuge von Straßenbaumaßnahmen vorgenommen. Diese vorwiegend passive Erneuerung (Leitungsumlegung) führt mit der Zeit zu einer Überalterung der Rohrnetze, vor allem wenn die verschleißbedingten jährlichen Erneuerungsraten gering sind. Das Alter einer Leitung allein ist zwar kein primäres Erneuerungskriterium, die Rohre können jedoch nicht ewig in Verwendung bleiben. Materialermüdung, innere und äußere Beanspruchungen schwächen die Leitungen mit der Zeit. Es kommt zu Verschleißerscheinungen, die sich durch Leckagen und Rohrbrüche bemerkbar machen. In Graz werden diese Alterserscheinungen in den letzten Jahren durch einen Anstieg der jährlichen Schadenshäufigkeiten erkennbar. Die jährliche Erneuerungsrate (inklusive Leitungsumlegung) betrug in den letzten 20 Jahren im Durchschnitt 0,25% des Bestandes. Das mittlere Rohrnetzalter liegt mittlerweile bei 41 Jahren.

Um für die Zukunft eine qualitativ und quantitativ einwandfreie Versorgung mit Trinkwasser sicherstellen zu können, sind zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort ausreichende Rehabilitationsmaßnahmen zu setzen. Voraussetzung für die vorausschauende Planung dieser Rehabilitationsmaßnahmen sind fundierte Datengrundlagen über das Rohrnetz und dessen Zustand.

Geoinformationssysteme (GIS) bzw. Netzinformationssysteme (NIS) zur Leitungsdokumentation und zur Unterstützung von Planung und Betrieb gewinnen für die Verwaltung und Analyse der Rohrnetzdaten immer mehr an Bedeutung.

Die Rehabilitationsplanung für große Wasserversorgungsnetze kann durch Programmsysteme, die eine Datenerfassung, Datenverwaltung, graphische Darstellung und die entsprechenden Analysen für die Entscheidungsfindungsprozesse ermöglichen, erleichtert werden.

Zu diesem Zweck wird versucht eine computergestützte Entscheidungshilfe (Decision Support System) zu entwickeln, die den jeweiligen Entscheidungsträgern als Unterstützung für die Rehabilitationsplanung dienen soll.

Ein Decision Support System (DSS) muss nach J. FÜRST (1990) definitionsgemäß folgende Zwecke erfüllen:

- ✗ Bereitstellung von Fakten. Dazu zählen Daten, Statistiken und wissenschaftliche Erkenntnisse (z.B. mathematische Funktionen),
- ✗ Unterstützung beim Entwurf von Handlungsalternativen und der Analyse ihrer Auswirkungen,
- ✗ Hilfe bei der systematischen multikriteriellen Evaluation und dem Variantenvergleich, d.h. Strukturierung und Unterstützung des eigentlichen Entscheidungsprozesses.

(Geo)Datenbanksysteme können durch entsprechende Anpassungen mittels Anwendungsprogrammierung diese Forderungen erfüllen.

In dieser Arbeit soll anhand des Grazer Rohrnetzes versucht werden, (Geo)Datenbanksysteme für die Planung von Rehabilitationsmaßnahmen einzusetzen. Es ist vorab zu untersuchen, welche Informationen für die Verfolgung verschiedener Rehabilitationsstrategien erforderlich sind. Weiters ist zu prüfen, ob und in welcher Form (Dateien/Karteien/Pläne/Akten) die nötigen Netzinformationen bei den Grazer Wasserwerken vorliegen.

Die Integration der vorliegenden Daten in ein einfaches Desktop-GIS soll versucht werden. Dadurch wird die räumliche Analyse des Netzzustandes ermöglicht. Randbedingungen, die auf das Ausfallsverhalten von Leitungsabschnitten Einfluss nehmen, können besser erkannt werden.

Der langfristige Rehabilitationsbedarf kann unter anderem anhand der Ausfallswahrscheinlichkeit verschiedener Rohrtypen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften und Randbedingungen abgeschätzt werden. Dafür ist eine genaue Kenntnis des Leitungsbestandes erforderlich.

Die Zusammenführung der Informationen über Bestand und Zustand des Netzes in einer relationalen Datenbank soll die Grundlage für umfassende Analysen sein. Mathematische Funktionen der Zuverlässigkeitstheorie sollen in ein Datenbanksystem integriert werden. Darauf aufbauend soll eine Modellierung des Rehabilitationsbedarfs des Grazer Rohrnetzes versucht werden. Die Aussagekraft der Ergebnisse soll bei der Erhebung weiterer Daten verbessert werden können.

2 REHABILITATIONSSTRATEGIEN FÜR WASSERROHRNETZE

Das Kapitel beschreibt jene Strategien, die bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen verfolgt werden können. Dabei wird unter anderem auf die unterschiedliche Methodik der Strategien eingegangen. Sämtliche Teilschritte der Strategien werden beschrieben. Anhand von Beispielen werden diese näher erläutert. Die für die Strategieverfolgung erforderlichen Netzinformationen stellen einen zentralen Teil bei der Rehabilitationsplanung und somit auch in diesem Abschnitt dar. Abschließend werden die Einsatzmöglichkeiten der Strategien aufgezeigt, die im wesentlichen vom Informationsgrad über das jeweilige Netz abhängen.

2.1 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Die Definitionen wurden dem DVGW–Hinweis W401 (1997) und dem DVGW–Merkblatt W395 (1998) entnommen.

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNGSDAUER:

Begrenzung der Nutzungsdauer im Zuge der kalkulatorischen Bewertung der Gesamtkosten (Kapital-, Betriebs- und Instandsetzungskosten unter Berücksichtigung der Kosten für Wasserverluste) einer neuen Leitung im Vergleich zu einer vorhandenen Leitung.

FUNKTIONSFÄHIGKEIT:

Gesicherte Verteilung von Trinkwasser in ausreichender Menge, mit erforderlichem Druck und einwandfreier Qualität.

INSPEKTION:

Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen.

INSTANDHALTUNG:

Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit, sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen (siehe Abb. 2.1.1). Die Maßnahmen schließen auch die Abstimmung der Instandhaltungsziele mit den Unternehmenszielen und die Festlegung entsprechender Instandhaltungsstrategien ein.

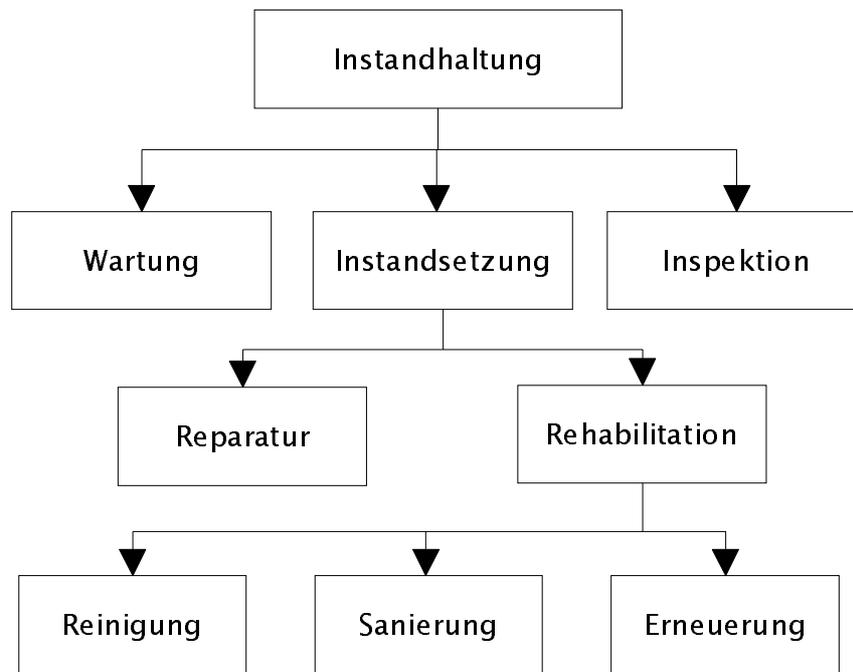


Abb. 2.1.1: *Instandhaltung von Wasserversorgungsrohrleitungen nach DVGW-Hinweis W401 (1997)*

INSTANDSETZUNG:

Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen. Diese Maßnahmen schließen Reparatur und Rehabilitation von Verteilungsanlagen ein.

LEITUNGSALTER:

Alter eines Leitungsabschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

LEITUNGSERNEUERUNG:

Erneuerung aufgrund der Schadensanfälligkeit.

LEITUNGSGRUPPEN:

Gruppenweise Zusammenfassung einzelner Leitungsabschnitte hinsichtlich gleichartiger Merkmale und Verhaltensweisen (z. B. Rohrwerkstoff, Verbindungsart, Rohrdurchmesser, Verlegebedingung, Korrosionsverhalten, Bruchanfälligkeit).

MITTLERE NUTZUNGSDAUER:

Statistischer Erwartungswert der Nutzungsdauer für einzelne Leitungsgruppen, gestützt auf Erfahrungen und Prognosen.

MITTLERES LEITUNGSALTER:

Gewichtetes, arithmetisches Mittel des Alters einer Leitungsgruppe oder des gesamten Netzes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

NETZANALYSE:

Untersuchung der Verteilungsanlagen nach quantitativen, qualitativen und zustandsbedingten Gesichtspunkten zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Schwachstellen im Netz.

QUALITATIVE NETZANALYSE:

Untersuchung der Verteilungsanlagen hinsichtlich der Beeinträchtigung der Wasserqualität (Veränderung des Wassers auf dem Transportweg).

QUANTITATIVE NETZANALYSE:

Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Verteilungsanlagen mit Hilfe der Rohrnetzrechnung und Vergleichsmessungen im Netz [DVGW-Arbeitsblatt GW 303 (1986)].

REHABILITATION:

Maßnahmen zur Erhaltung oder Verbesserung der Funktionsfähigkeit bestehender Wasserverteilungsanlagen - Sie schließt alle Reinigungs-, Sanierungs- und Erneuerungsmethoden ein.

REHABILITATIONSRATE:

Anteil der jährlichen Rehabilitationslänge, bezogen auf eine Leitungsgruppe oder das gesamte Wasserrohrnetz.

REPARATUR:

Schadensbehebung durch Einzelmaßnahmen.

SANIERUNG:

Ertüchtigung einer vorhandenen Rohrleitung mit einer nicht selbsttragenden Auskleidung (z. B. Zementmörtel-Auskleidung, Schlauchrelining).

SCHADEN:

Eine lokale unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit – in aller Regel mit Wasseraustritt verbunden. - Ein Schaden führt meist zur unmittelbaren Instandsetzung durch Reparatur.

SCHADENSRATE:

Jährliche Anzahl der Schäden je km Rohrleitung - Bei Hausanschlüssen wird die Schadensrate auf die Anzahl der Hausanschlüsse bezogen.

SCHWACHSTELLE:

Schadensauffälliges Anlagenteil, das die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen kann.

TECHNISCHE NUTZUNGSDAUER:

Begrenzung der Nutzungsdauer einer Leitung aus versorgungstechnischen Gründen - Sie liegt meist deutlich über der betriebswirtschaftlichen Nutzungsdauer.

UMLEGUNG:

Erneuerung aufgrund anderer Fremdmaßnahmen.

VERSTÄRKUNG:

Erneuerung wegen Druckmangels oder hygienischer Probleme.

WARTUNG:

Maßnahmen zur Bewahrung der Funktionsfähigkeit der Verteilungsanlagen.

ZUSTANDBEDINGTE NETZANALYSE:

Untersuchung des Netzzustandes nach Schwachstellen, Schadensraten und Wasserverlusten. Diesbezügliche Regelblätter sind für Deutschland das DVGW Arbeitsblatt W 391 „Wasserverluste in Wasserverteilungsanlagen“ und DVGW Merkblatt W 395 „Schadensstatistik“. In Österreich kann die ÖVGW Richtlinie W 63 „Wasserverluste in Versorgungsnetzen, Anschlussleitungen und Verbrauchsleitungen“ für die Analysen herangezogen werden. Betreffend Schadensstatistik gibt es in Österreich derzeit kein eigenes Regelblatt.

2.2 ALLGEMEINES

Die Wasserversorgungsrohrnetze der Industriestaaten sind seit dem 19. Jahrhundert langsam gewachsen. Sie setzen sich aus den unterschiedlichsten Materialien, Durchmessern und Verbindungsarten zusammen (Abb. 2.2.1 und Abb. 2.2.2). Die einzelnen Leitungen liegen zum Teil unter verkehrsreichen Straßen, im Einflussbereich von Streuströmen oder in aggressiven Böden. Nicht immer wurden sie entsprechend geschützt. Auch die verschiedenen Verlegeverfahren oder bereits erfolgte Sanierungen bewirken Unterschiede im Nutzungsdauerverhalten der einzelnen Leitungsabschnitte.

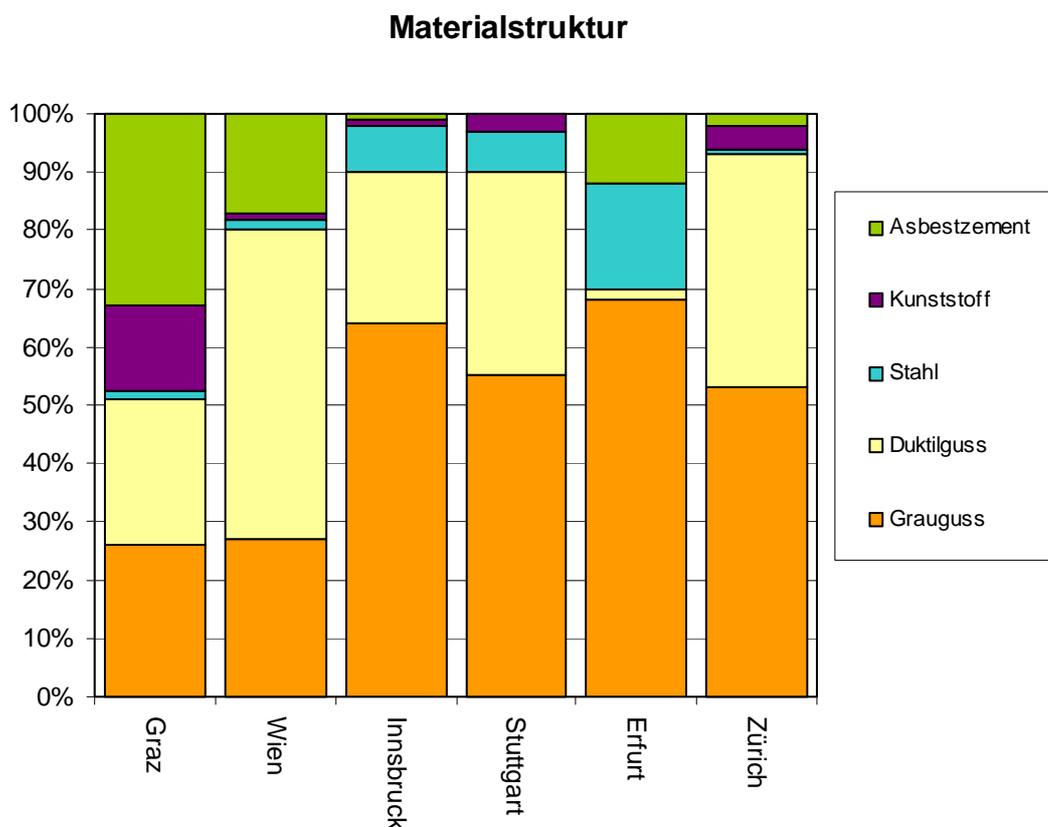


Abb. 2.2.1: Materialstruktur ausgewählter WVUs [Wien, Innsbruck, Stuttgart, Erfurt und Zürich aus R. HERZ (1996)]

Viele der bereits im 19. Jahrhundert verlegten Rohrleitungen befinden sich nach wie vor in Betrieb. Zum Großteil genügen sie auch noch den, an den Transport unseres kostbarsten Gutes gestellten, hohen Anforderungen. Der Anstieg des mittleren Netzalters, der Schadensraten und vor allem der Kosten für Wartung und Betrieb gibt jedoch dringenden Anlass für die Entwicklung vorausschauender Strategien zur zielgerichteten Rehabilitation der „kränkelnden“ Leitungsabschnitte. Nach H. MAYR (1996) fließen laut Statistik in deutschen WVUs im Durchschnitt ca. 70% der Investitionen ins Rohrnetz. Die gewissenhafte und zielgerichtete Ausarbeitung von Rehabilitationsstrategien ist daher für den optimalen Einsatz der oftmals begrenzten Betriebsmittel von äußerster Wichtigkeit.

Material- und Durchmesserverteilung Grazer Wasserrohrnetz

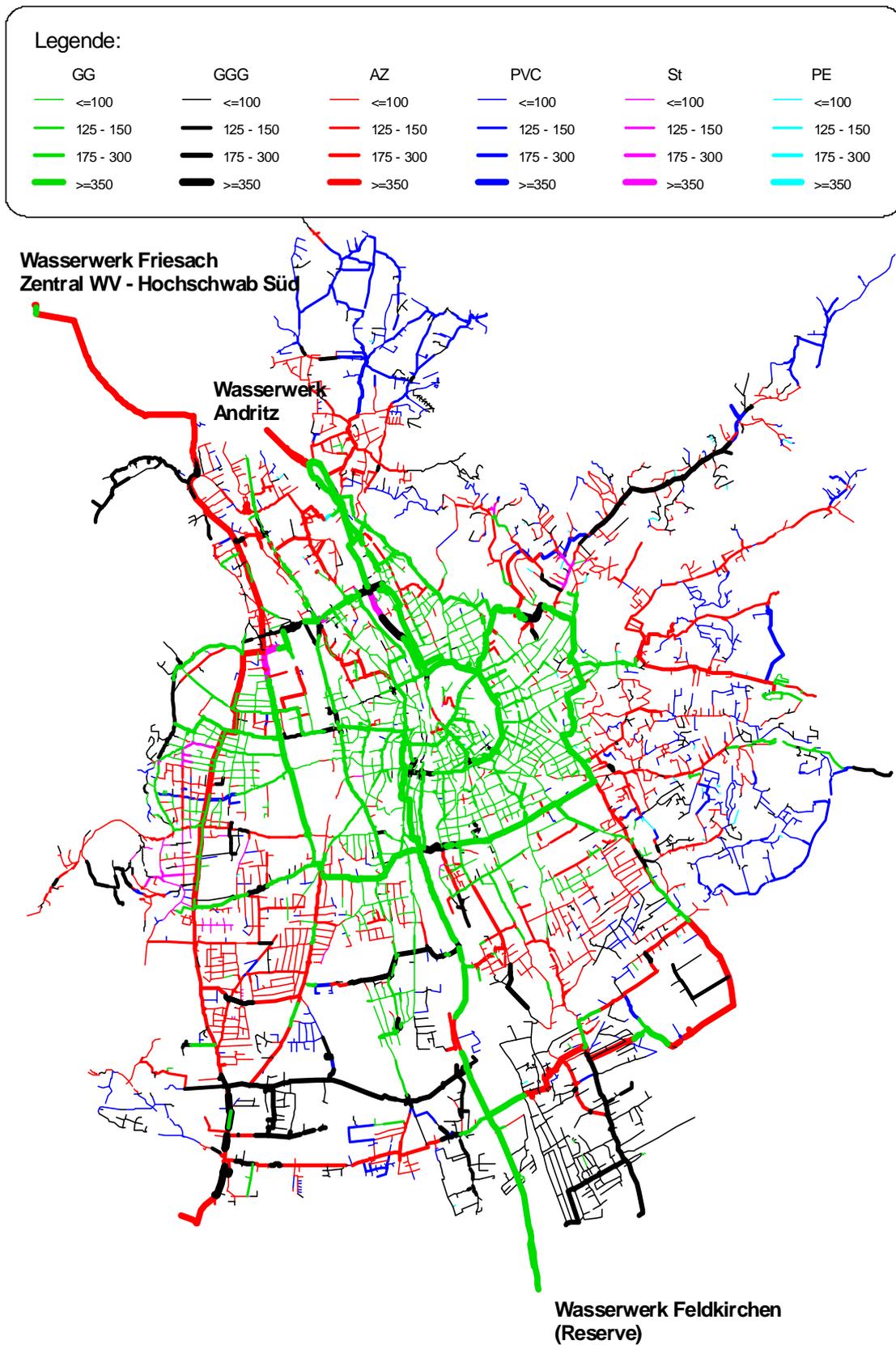


Abb. 2.2.2: Material- und Durchmesserverteilung des Grazer Rohrnetzes

Bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen gibt es verschiedene Ansätze. Prinzipiell können drei Grundtypen von Rehabilitationsstrategien unterschieden werden:

- ✗ Die ereignisorientierte Rehabilitationsstrategie,
- ✗ die vorbeugende, intervallorientierte Rehabilitationsstrategie,
- ✗ sowie die vorbeugende, zustandsorientierte Rehabilitationsstrategie.

Rehabilitationsentscheidungen werden durch zahlreiche Kriterien beeinflusst. Detaillierte Untersuchungen sind erforderlich, um jene Leitungsabschnitte rechtzeitig zu erkennen, zu bewerten und zu beseitigen, welche die Funktionsfähigkeit des Rohrnetzes gefährden können. Die Auswahl der für die Planung der erforderlichen Rehabilitationen zu bevorzugenden Strategie hängt sehr stark von der Verfügbarkeit der Informationen über das Rohrnetz und dessen Zustand ab. Für manche Einflussparameter auf die Rehabilitationsentscheidung können Parallelen zu anderen Versorgungsunternehmen vorliegen. Im Allgemeinen sind jedoch die maßgeblichen Rehabilitationskriterien und -maßnahmen speziell für das betrachtete Unternehmen festzulegen.

Im folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Strategietypen gegeben. Es wird versucht die Strategien, hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile, zu beurteilen.

2.3 EREIGNISORIENTIERTE REHABILITATIONSSTRATEGIE

Diese Strategie wird auch als „Feuerwehrstrategie“ bezeichnet. Es wird „behandelt“, wo es brennt. Tritt ein Schaden ein, wird repariert. Der Austausch von Rohrleitungen erfolgt fast ausschließlich als Umlegung, also infolge von Fremdbaumaßnahmen. Aktive Rehabilitationen werden kaum vorgenommen.

Diese Strategie ist die kostengünstigste. Sie sollte jedoch nur verfolgt werden, wenn im Netz keine gravierenden Probleme bestehen oder zu erwarten sind.

Nachteilig ist, dass langfristige Budgetplanungen nicht möglich sind. Eine hohe Einsatzbereitschaft der Reparaturtrupps ist erforderlich und die Instandsetzungsarbeiten erfolgen immer unter enormen Zeitdruck [nach R. HERZ, K. HOCHSTRATE (1987)].

Manchmal wird bei WVUs, die vorwiegend ereignisorientiert rehabilitieren, eine Statistik über zurückliegende Schäden geführt. Dadurch kann die Strategie verbessert werden. Leitungen, die eine bestimmte Anzahl von Schäden überschreiten, können erfasst und aktiv erneuert werden. Diese Vorgangsweise stellt eine Übergangsform in Richtung zustandsorientierter Rehabilitationsplanung dar.

2.4 VORBEUGENDE, INTERVALLORIENTIERTE REHABILITATIONSSTRATEGIE

Bei der vorbeugenden, intervallorientierten Strategie wird, anhand der zu erwartenden Nutzungsdauer verschiedener Rohrtypen, die jährliche Ausfallrate prognostiziert und daraus die jährlich erforderliche Rehabilitationsrate ermittelt.

Nach R. HERZ (1993) kann die Alterung von Rohrnetzen in Analogie zur natürlichen Bevölkerungsentwicklung beschrieben werden. Beim sogenannten *Cohort-Survival-Model* wird davon ausgegangen, dass die Kohorte eines Bevölkerungsjahrganges altert und dabei von Jahr zu Jahr um die Sterbefälle reduziert wird. Analog dazu werden die Rohre einzelner Leitungsgruppen entsprechend ihrer Verlegejahre zu „Jahreskohorten“ zusammengefasst. Die Leitungslängen der Jahres - Kohorten nehmen nach diesem Modell im Zuge der Alterung mit der altersspezifischen Ausfallrate (= Erneuerungsrate) kontinuierlich ab. Neue Kohorten innerhalb und außerhalb der Leitungsgruppen entstehen durch Neubau und Rehabilitation im Wasserrohrnetz. Der Rehabilitationsbedarf kann dabei als Funktion der Menge und des Alters der Rohrleitungen ermittelt werden.

2.4.1 ALTERUNGSFUNKTIONEN

Infrastrukturelemente besitzen spezifische Ausfallwahrscheinlichkeiten und Überlebensfunktionen. Die Ausfallrate je Kohorte ergibt sich aus dem Quotienten der Ausfälle zum jeweils vorhandenen Bestand. Die Ausfälle entsprechen der Lebensdauer-Verteilung, wobei Anfangsausfälle von Alterungsausfällen zu unterscheiden sind. Anfangsausfälle resultieren meist aus unsachgemäßer Herstellung und werden in der Regel im Rahmen von Gewährleistungen ersetzt. Alterungsausfälle verteilen sich um den Erwartungswert der Lebens- bzw. Nutzungsdauer (Abb. 2.4.1). Bei Infrastrukturanlagen liegt sie in der Größenordnung von 40 bis 80 Jahren. Die tatsächliche Nutzungsdauer der einzelnen Elemente streut mehr oder weniger stark um den Erwartungswert, in der Form einer Glockenkurve oder linksschiefen Verteilung, falls die überlebenden Elemente eine besondere Widerstandsfähigkeit aufweisen [R. HERZ (1993)].

Eine vorbeugende Instandhaltung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit ist aufgrund des zeitlichen Verlaufs der Ausfallrate erst ab dem Eintritt in die Verschleißphase (Phase III) sinnvoll. Davor kann durch vorbeugende Rehabilitation die Eintrittswahrscheinlichkeit von Ausfällen nicht verringert werden.

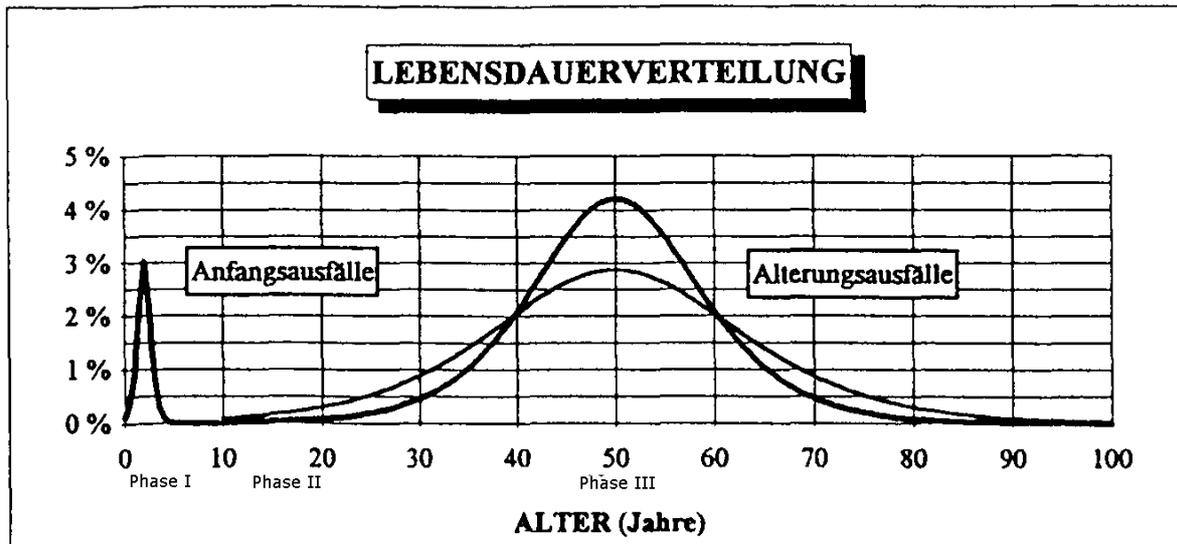


Abb. 2.4.1: Lebensdauervertelung mit Garantieausfällen (Phase I), Resistenzzeit (Phase II) und Verschleißausfällen (Phase III) [nach R. HERZ (1993)]

Die Länge des Zeitintervalls zwischen Inbetriebnahme ($t = 0$) und Ausfall ($t = T$) eines Elements (in unserem Fall eines Leitungsstranges) ist die Lebensdauer T . Gewöhnlich ist die Lebensdauer eine Zufallsvariable. Wie bei jeder Zufallsgröße lässt sich auch für die Lebensdauer eine Wahrscheinlichkeitsverteilung festlegen. Sie wird als *Ausfallwahrscheinlichkeit* $F(t)$ eines Elements bezeichnet. Ihr Komplement $1-F(t)$ ist die *Überlebensfunktion* $R(t)$, auch Zuverlässigkeitsfunktion genannt. Die erste Ableitung der Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ ergibt die Wahrscheinlichkeitsdichte der Lebensdauer, sie wird als *Lebensdauervertelung* $f(t)$ bezeichnet. Der Quotient aus $f(t)$ und $R(t)$ ergibt die *momentane Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Ausfallrate* $z(t)$, auch Risikofunktion genannt. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass die bis zum Zeitpunkt t nicht durchgehaltenen Elemente im darauffolgenden Intervall dt ausfallen. Die Ausfallrate $z(t)$ ist ein Maß für die Anfälligkeit eines Elementes vom Alter t . Falls das ausgefallene Element erneuert wird, ist die Ausfallrate zugleich die Erneuerungsrate. Für diese Alterungsfunktionen kommen verschiedene mathematische Verteilungen in Frage (Weibull-Verteilung, Normalverteilung,...). Ist eine der Alterungsfunktionen bekannt, so können die anderen daraus abgeleitet werden [R. HERZ (1996); D. RÖTSCH (1999); R. TRUJILLO ALVAREZ (1995)].

Tab. 2.4.1: Anforderungen an die Überlebensfunktion (ÜF)

Alter t	ÜF R	1. Ableitung von ÜF R'	2. Ableitung von ÜF R''
0	1	0	0
Modalwert			0
∞	0	0	0

Für die Überlebensfunktion $R(t)$ müssen die in Tab. 2.4.1 angeführten mathematischen Zusammenhänge gelten.

Die von HERZ speziell für Wasserversorgungssysteme hergeleitete Überlebensfunktion $R(t)$ erfüllt diese Bedingungen.

$$(1) \quad \text{Überlebensfunktion:} \quad R(t) = \frac{a+1}{a+e^{b(t-c)}} \quad [-] \quad \text{für} \quad t \geq c$$

$$R(t) = 1 \quad [-] \quad \text{für} \quad t < c$$

wobei:

R [-] Anteil der überlebenden Leitungen
 t [a] Alter der Leitung
 a, b, c Alterungsparameter
 a [-] Alterungsfaktor
 b [-] Ausfallfaktor
 c [a] Resistenzzeit

Innerhalb der Resistenzzeit c kommt es zu keinen verschleißbedingten Ausfällen. Danach wird der Verlauf der Überlebensfunktion $R(t)$ durch die Parameter a und b festgelegt. Der Alterungsfaktor a bestimmt, wie langsam die Alterung in Gang kommt. Bei großem a setzt der Alterungsprozess sehr langsam ein, die Kurve steigt sehr flach an. Je kleiner a ist, umso sprunghafter setzt die Alterung mit Ende der Resistenzzeit ein. Der Ausfallfaktor b bestimmt die Geschwindigkeit des Alterungsprozesses. Je größer b , umso schneller geht die Alterung vor sich.

Mit der Überlebensfunktion $R(t)$ lässt sich das Alter t_p berechnen, das von einem bestimmten Anteil p [%] des Ausgangsbestandes erreicht wird.

$$(2) \quad t_p = c + \frac{1}{b} \left[\ln \left(a + 1 - \frac{ap}{100} \right) - \ln \frac{p}{100} \right] \quad [\text{a}]$$

Die Lebensdauervertelung $f(t)$ ergibt sich bei HERZ wie folgt.

$$(3) \quad \text{Lebensdauervertelung} \quad f(t) = \frac{(a+1)be^{b(t-c)}}{(a+e^{b(t-c)})^2} \quad [-] \quad \text{für} \quad t \geq c$$

$$f(t) = 0 \quad [-] \quad \text{für} \quad t < c$$

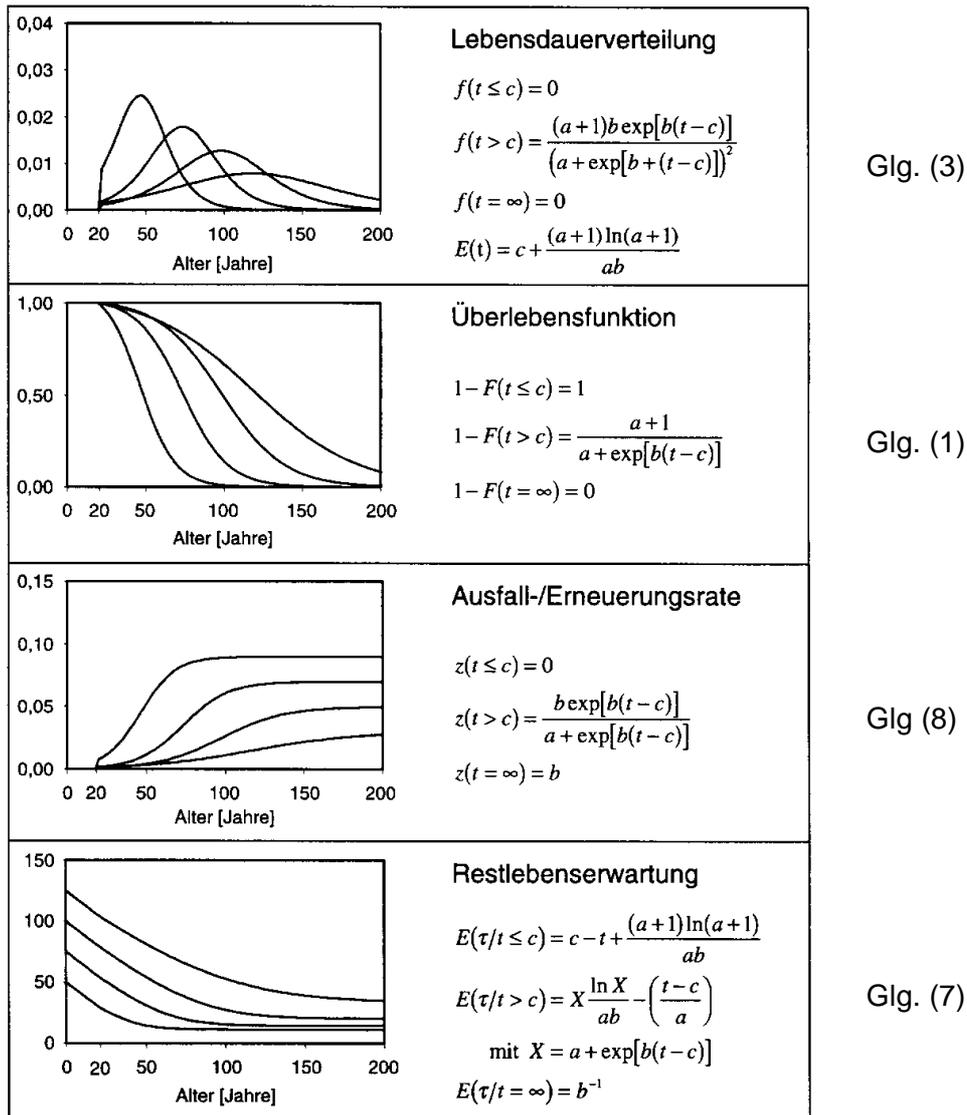


Abb. 2.4.2: Alterungsfunktionen der Herz-Verteilung [R. Herz (1996)]

Modalwert i und Median \tilde{t} der Lebensdauer ergeben sich aus $df/dt(t) = 0$ bzw. $R(t) = 0,5$

(4) Modalwert der Lebensdauer
$$i = c + \frac{\ln a}{b} \text{ [a]}$$

(5) Median der Lebensdauer
$$\tilde{t} = c + \frac{\ln(a+2)}{b} \text{ [a]}$$

Der Erwartungswert der Lebensdauer eines Elementes μ bis zum ersten Ausfall errechnet sich nach Glg. (6). Die Herleitung kann bei R. HERZ (1993) nachgeschlagen werden.

$$(6) \quad \text{Erwartungswert der Lebensdauer} \quad \mu = c + \frac{(a+1)\ln(a+1)}{ab} \quad [a]$$

Ein Vergleich der Lageparameter der Lebensdauerverteilung zeigt, dass diese sich mit wachsendem a einer symmetrischen Glockenkurve annähert. Je kleiner a ist, desto ausgeprägter sind die positive Schiefe der Verteilung und die Unstetigkeit an der Stelle $t = c$.

Mit Hilfe der Überlebensfunktion $R(t)$ Glg. (1) lässt sich der Erwartungswert der Restlebensdauer $E(t)$ in Abhängigkeit vom Alter berechnen.

$$(7) \quad \text{Restlebenserwartung} \quad E(t) = (a + e^{b(t-c)}) \left[\frac{\ln(a + e^{b(t-c)})}{ab} - \frac{t-c}{a} \right] \quad [-] \quad \text{für } t \geq c$$

$$E(t) = c - t + \frac{(a+1)\ln(a+1)}{ab} \quad [-] \quad \text{für } t < c$$

Mit steigendem Alter nähert sich der Erwartungswert asymptotisch dem Wert $1/b$.

Die Varianz und die Standardabweichung der Lebensdauer lassen sich durch Lösung eines weiteren Integrals als Funktion der Alterungsparameter angeben, wobei die Resistenzzeit ohne Einfluss bleibt [siehe dazu R. HERZ (1993)].

Wie bereits erwähnt, ist die Ausfallrate $z(t)$ definiert als Verhältnis der Ausfälle bezogen auf den jeweiligen Bestand. Somit ergibt sich aus der Lebensdauerverteilung $f(t)$ Glg. (3) und der Überlebensfunktion $R(t)$ Glg. (1) die

$$(8) \quad \text{Ausfallrate} \quad z(t) = \frac{be^{b(t-c)}}{a + e^{b(t-c)}} \quad [-] \quad \text{für } t \geq c$$

$$z(t) = 0 \quad [-] \quad \text{für } t < c$$

Die Ausfallrate $z(t)$ ist zunächst gleich Null und steigt dann an, um sich mit wachsendem Alter asymptotisch dem Ausfallfaktor b anzunähern. Am Modalpunkt der Lebensrate beträgt die Ausfallrate die Hälfte von b . Diese Eigenschaften resultieren aus der gewählten Überlebensfunktion und erscheinen nach R. HERZ (1993) für unterirdische Infrastrukturelemente durchaus plausibel.

Die Alterungsfunktionen nach HERZ haben gegenüber den gängigen Funktionen der Zuverlässigkeitstheorie (Exponentialverteilung, Weibull - Verteilung, etc.) einen gravierenden Vorteil. Die Funktion für die Ausfallrate nähert sich mit steigendem Alter asymptotisch einem bestimmten Maximalwert (siehe Abb. 2.4.2). Im Gegensatz dazu steigt die Ausfallrate z.B. bei der Weibull - Verteilung, die vielfach für die Beschreibung des Ausfallverhaltens von Elementen verwendet wird, mit steigendem Alter wei-

ter an. Die Alterungsfunktionen von Herz kommen dem Alterungsverhalten von Wasserinfrastrukturanlagen somit am nächsten, da sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein Leitungsabschnitt, der bereits ein sehr hohes Rohrnetzalter erreicht hat, ausfällt, meist nicht mehr weiter erhöht.

2.4.2 LEITUNGSGRUPPENBILDUNG

Ein wesentlicher Punkt bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen ist die Unterteilung des Rohrnetzes in überschaubare Einheiten. Bei der vorbeugenden intervallorientierten Rehabilitationsstrategie kommt hierfür vor allem der Leitungsgruppenbildung große Bedeutung zu.

Auch wenn das Leitungsalter kein primäres Kriterium für eine Rehabilitation ist, können - ausgehend von den zu bestimmten Zeiten verlegten Materialien und ausgeführten Konstruktionen - verschiedene Leitungsgruppen definiert werden, die einen gleichen oder ähnlichen Zustand im Netz aufweisen und ein statistisch gleichartiges Nutzungsdauerverhalten erwarten lassen. Damit kann das Leitungsalter als indirektes Kriterium in die Strategie mit einfließen.

Werkstoff- bzw. konstruktionsbezogene Beurteilungen können nach DVGW-HINWEIS W401 (1997) zur Bildung folgender Gruppeneinteilungen, getrennt nach Anschlussleitungen und Rohrnetz, führen:

X Graugussleitungen (GG)

- mit Stemmmuffen, bis Mitte der 30er Jahre verlegt,
- mit Schraubmuffen, bis Mitte der 60er Jahre verlegt,
- in situ Zementmörtel-ausgekleidete Leitungen.

X Leitungen aus duktilem Gusseisen (GGG)

- ohne ausreichende Umhüllung und Auskleidung, von Mitte der 60er Jahre bis Mitte der 70er Jahre verlegt,
- mit Zementmörtel-Auskleidung, Verzinkung sowie Außenschutz nach DIN 30 674, ab Mitte der 70er Jahre verlegt,
- in situ Zementmörtel-ausgekleidete Leitungen.

X Stahlrohrleitungen (St)

- mit Stemmmuffen, Bitumentumhüllung, bis Ende der 30er Jahre verlegt,
- mit Schraubmuffen, Bitumentumhüllung, ohne Auskleidung, bis Ende der 60er Jahre verlegt,

- geschweißt, Bitumentummhüllung, ohne Auskleidung, bis Beginn der 70er Jahre verlegt,
 - in situ ZM- ausgekleidete Stahlleitungen der vorstehenden Gruppen,
 - geschweißt, mit Umhüllung, Auskleidung und ggf. zusätzlich aktivem Außenkorrosionsschutz, ab Beginn der 70er Jahre verlegt,
- ✗ Kunststoffleitungen aus Polyäthylen (PE) und Polyvinylchlorid (PVC)
- Leitungsgruppen entsprechend Material, Verbindungsart, Verlegung und ortsspezifischer Kriterien.
- ✗ Leitungen aus Asbestzement (AZ)
- ✗ Bleileitungen (Pb)
- ✗ neuere Rohrleitungsmaterialien, sanierte Leitungen

Zustand und Verhalten dieser Leitungsgruppen können gebietsweise in Abhängigkeit von Boden- und Verlegebedingungen sowie anderen Einflüssen wie Streuströmen, Bodenbewegungen, usw. unterschiedlich sein. Die angegebenen Zeiträume variieren von Unternehmen zu Unternehmen zum Teil erheblich.

Entsprechende Gruppen können auch für Armaturen oder andere Einbauteile gebildet werden (z. B. Armaturen mit unterschiedlichen Merkmalen wie Konstruktion, Funktionsfähigkeit und Wartungsaufwand).

Der Anteil solcher Leitungen und Anlagen im Rohrnetz ergibt, in Verbindung mit den Erfahrungswerten über den Zustand dieser Leitungsgruppen und deren mittlere Nutzungsdauer, einen Hinweis auf den möglichen langfristigen Rehabilitationsbedarf.

2.4.3 SCHÄTZUNG DER ALTERUNGSPARAMETER

Meist erlaubt es die Datenlage nicht zur empirischen Bestimmung der Alterungsparameter gängige statistische Schätzverfahren (z. B. nach Prinzip der kleinsten quadratischen Abweichungen) anzuwenden.

R. HERZ (1993) schlägt daher vor, weichere Schätzverfahren anzuwenden und durch Konsistenzprüfungen zu erhärten. Unterstützt durch Statistiken (v.a. Schadensstatistik) empfiehlt er die Alterungsparameter bzw. die mittlere Nutzungsdauer und die Standardabweichung von Fachleuten (z. B. Rohrnetzleiter) schätzen zu lassen.

2.4.3.1 Schätzung von a, b und c über die mittlere Nutzungsdauer und die Standardabweichung

Die Resistenzzeit c lässt sich hierbei, vor allem für ältere Leitungsgruppen bei vorhandener Schadensstatistik, am einfachsten schätzen. Sie liegen nach R. HERZ (1993) meist im Bereich

$$(9) \quad 10 \text{ Jahre} < c \leq \bar{t} - 3\sigma$$

wobei: \bar{t} [a] Mittelwert
 σ [a] Standardabweichung

Die mittlere Nutzungsdauer ist eine statistische Annahme für einen Rohrtyp mit bestimmten Eigenschaften. Die mittlere technische Nutzungsdauer der Leitungsgruppen kann nach P. HOFER (1993) aus dem, in der Vergangenheit festgestellten, schadensbedingten Instandsetzungsumfang abgeleitet werden. Dazu müssen jedoch detaillierte Statistiken über Schäden und Rehabilitationen aus der Vergangenheit vorhanden sein.

In der Literatur - u.a. im DVGW-HINWEIS W401 (1997) - sind hinsichtlich der Bandbreite der mittleren Nutzungsdauer die in Abb. 2.4.3 dargestellten Annahmen zu finden. Diese wurden zum Teil aus langjährigen Untersuchungen anhand des Rohrnetzes der Stadt Stuttgart abgeleitet und können daher für andere Städte nur bedingt herangezogen werden.

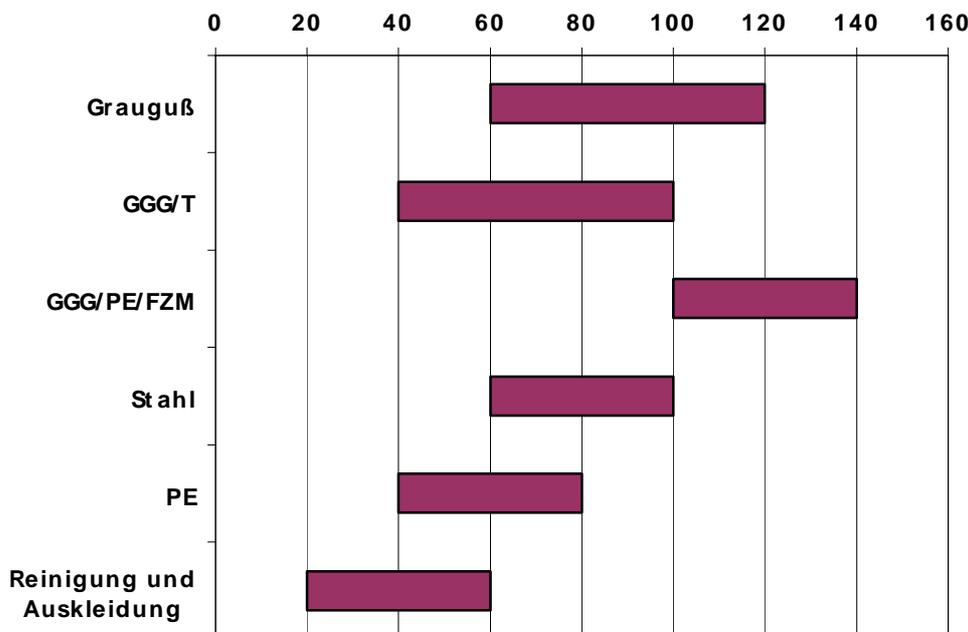


Abb. 2.4.3: Technische Nutzungsdauer nach Leitungsgruppen [DVGW-Hinweis W401 (1997)]

Der Alterungsfaktor a kann rechnerisch aus Gleichung (10) und der Ausfallfaktor b aus Gleichung (11) mit den gewählten Schätzwerten für die mittlere Nutzungsdauer \bar{t} und für die Standardabweichung σ ermittelt werden.

$$(10) \quad \frac{\bar{t} - c}{\sigma} = \frac{\ln a}{\sqrt{\frac{p^2}{2} + 2 \ln 2 \ln a}} \quad [-]$$

$$(11) \quad b = \frac{\ln a}{\bar{t} - c} \quad [-]$$

2.4.3.2 Befragung von Fachleuten

Bei dieser Methode wird nach dem Alter gefragt das, nach Ansicht der im WVU zuständigen Fachpersonen, von einem bestimmten Prozentsatz der Rohre erreicht wird. Aus drei Angaben ergeben sich die drei Alterungsparameter zum Beispiel folgendermaßen:

$$(12) \quad p = 100\% \Rightarrow t_{100} = c \quad [\text{a}]$$

$$(13) \quad p = 50\% \Rightarrow t_{50} = c + \frac{\ln(a+2)}{b} \Rightarrow b = \frac{\ln(a+2)}{t_{50} - c} \quad [\text{a}]$$

$$(14) \quad p = 10\% \Rightarrow t_{10} = c + \frac{t_{50} - c}{\ln(a+2)} \ln(9a+10) \quad [\text{a}]$$

Der Parameter a muss über Gleichung (14) iterativ ermittelt werden. Danach lässt sich b aus Gleichung (13) berechnen.

Mit einer Rückrechnung des aktuellen Bestandes auf einen weiter zurückliegenden Bestand lässt sich die Genauigkeit der geschätzten Funktionen überprüfen [HOCHSTRATE (1992) zitiert bei R. HERZ (1993)].

2.4.4 REHABILITATIONSBEDARF

Mit Hilfe der leitungsgruppenspezifischen Ausfallrate kann der Rehabilitationsbedarf in Abhängigkeit von den sich noch im Netz befindlichen Leitungen der entsprechenden Kohorten jährlich ermittelt werden.

Für die Kohorte einer bestimmten Leitungsgruppe R mit dem Alter T, kann der Rehabilitationsbedarf $e_{R,T}$ mit folgender Gleichung bestimmt werden [R. TRUJILLO ALVAREZ (1995)]:

$$(15) \quad e_{R,T} = \frac{dl}{dt} = l_{R,T} (z_{R,T} + u) \quad [-]$$

wobei: $l_{R,T}$ [m] .. Länge der Leitungen vom Rohrtyp R mit dem Alter T
 $z_{R,T}$ [-] ... Ausfallrate des Rohrtyps R als Funktion des Kohortenalters T,
 u [-] Umlegungsrate im Netz (wird näherungsweise als konstant angenommen)
 $e_{R,T}$ [m] .. Rehabilitationsbedarf einer Kohorte des Rohrtyps R mit dem Alter T

Der Bestand der Kohorte errechnet sich für das darauffolgende Jahr folgendermaßen:

$$(16) \quad l_{R,T+1} = l_{R,T} - l_{R,T} (z_{R,T} + u) \quad [m]$$

Der gesamte Rehabilitationsbedarf eines Rohrtyps zum Zeitpunkt t entspricht der Summe des Rehabilitationsbedarfes aller Kohorten.

$$(17) \quad E_{R,T} = \sum_{T=1}^{T \max} [l_{R,T} (z_{R,T} + u)]$$

Die jährlich erforderliche Rehabilitationsrate für das gesamte Rohrnetz kann über die Summe der erforderlichen Rehabilitationslängen aller Rohrtypen bezogen auf die Gesamtnetzlänge berechnet werden.

2.4.5 STRATEGIEVERFOLGUNG

Der berechnete jährliche Rehabilitationsbedarf gibt durch seine Größe und zeitliche Entwicklung eine erste längerfristige Orientierung. Auf dieser Basis lassen sich Strategien entwickeln, wie und wann der Rehabilitationsbedarf im Rahmen der verfügbaren Mittel und der einzuhaltenden Standards zu realisieren ist [R. TRUJILLO ALVAREZ (1995)].

Am internationalen IWSA-Kongress in Durban 1995 wurde eine durchschnittliche Erneuerungsrate von 0,6 % präsentiert. Die IWSA empfiehlt, eine jährliche Erneuerungsrate von 1,5 % des Rohrnetzes. In diversen EU Ländern bestehen Empfehlungen zwischen 1 und 2 % [nach C. SKARDA (1998)]. C. SKARDA (1998) führt weiters an, dass für 10 EU-Städte die Lebensdauer verschiedener Rohrtypen individuell geschätzt wurde. Diese wurden anschließend von Verantwortlichen im Teamwork diskutiert. Daraufhin wurden die, aus den jeweiligen Nutzungsdauern resultierenden Rehabilitationsraten, aus optimistischer und pessimistischer Sicht zusammengefasst.

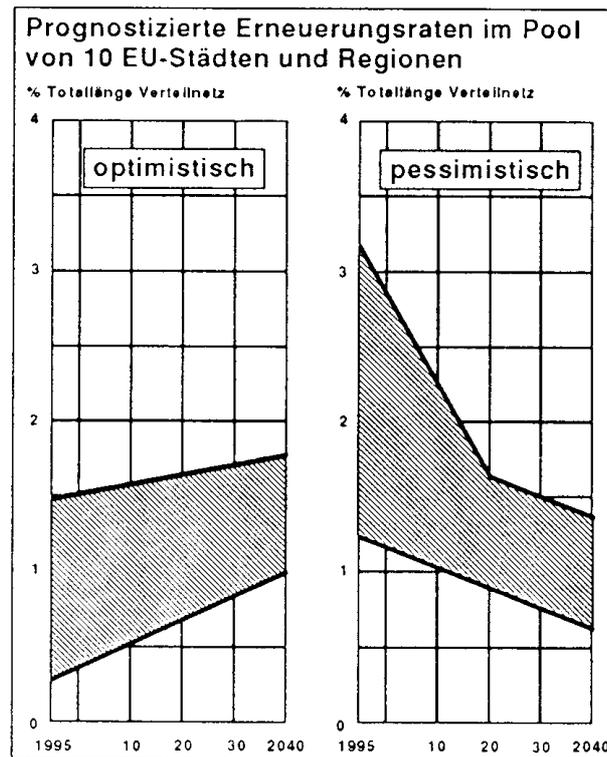


Abb. 2.4.4: Abschätzung der jährlich erforderlichen Rehabilitationsraten [C. Skarda (1998)]

Die Streuung der jährlich erforderlichen Rehabilitationsraten ist erheblich. Aus Abb. 2.4.4 wird weiters ersichtlich, dass ein Hinauszögern der Rehabilitation, durch geringe Rehabilitationsraten am Beginn der Strategieverfolgung, unweigerlich für spätere Jahre zu höher werdenden Rehabilitationsraten führt. Wird hingegen anfangs verstärkt rehabilitiert, wie dies beim pessimistischen Ansatz der Fall ist, so lassen sich die Rehabilitationsraten zukünftig wieder stark reduzieren. Je nach den in den einzelnen Jahren zu erwartenden Finanzmitteln ist abzuwägen, ob ein Hinauszögern der Rehabilitation, also ein optimistischer Ansatz der Raten, sinnvoller ist oder umgekehrt.

Durch eine entsprechende programmtechnische Umsetzung des Kohorten-Überlebens-Modells können mit Hilfe der EDV verschiedene Szenarien durchgerechnet und vergleichend bewertet werden. Eine solche Applikation wurde zum ersten Mal von R. TRUJILLO ALVAREZ (1995) erstellt. Sie wurde und wird weiterhin, unter

dem Namen KANEW, an der TU–Dresden auf verschiedene Versorgungsnetze angewendet.

2.4.6 ZUSAMMENFASSUNG

Die *vorbeugende intervallorientierte Strategie* eignet sich vor allem für die langfristige Planung von Rehabilitationsmaßnahmen. Positiv zu bewerten ist, dass die Zusammensetzung und die Altersstruktur des Netzes durchleuchtet werden. Die Auswirkungen verschiedener Strategien (Höhe der Rehabilitationsrate, Erneuern oder Sanieren,...) können abgeschätzt werden. Ein Vorteil, vor allem gegenüber der ereignisorientierten Strategieverfolgung ist, dass die erforderlichen Mittel durch die vorausschauende Rehabilitationsbedarfsprognose bereitgestellt werden können.

Voraussetzung für diese Strategie ist jedoch, dass Aufzeichnungen aus der Vergangenheit über die Netzstruktur, über die bereits erfolgten Rehabilitationen und eine seit längerem geführte Schadensstatistik vorhanden sind. Dies ist erforderlich, um die Altersfunktionen auf die individuellen Eigenschaften des betrachteten Netzes berechnen zu können. Die Genauigkeit des Modells steigt mit der Kenntnis über den Zustand des Netzes.

Die Umsetzung der strategischen Langzeitplanung in die operative Netzrehabilitation muss sich in jedem Fall auch am tatsächlichen Zustand der Leitungen orientieren. An die intervallorientierte Erneuerungsstrategie muss daher immer eine zustandsorientierte Umsetzung des Erneuerungsbedarfes anschließen.

2.5 VORBEUGENDE, ZUSTANDSORIENTIERTE REHABILITATIONSSTRATEGIE

Die Grundlage dieser Strategie ist der Soll/Ist Vergleich von unternehmensspezifisch definierten technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen. Anlass für genauere Untersuchungsprogramme und in weiterer Folge für Rehabilitationsmaßnahmen ist bei der zustandsorientierten Strategie dann gegeben, wenn unternehmensspezifisch definierte Kennzahlen bestimmte Richtwerte überschreiten. Voraussetzung für die zustandsorientierte Strategieverfolgung ist die detaillierte, örtlich gegliederte Netzkenntnis und Netzüberwachung.

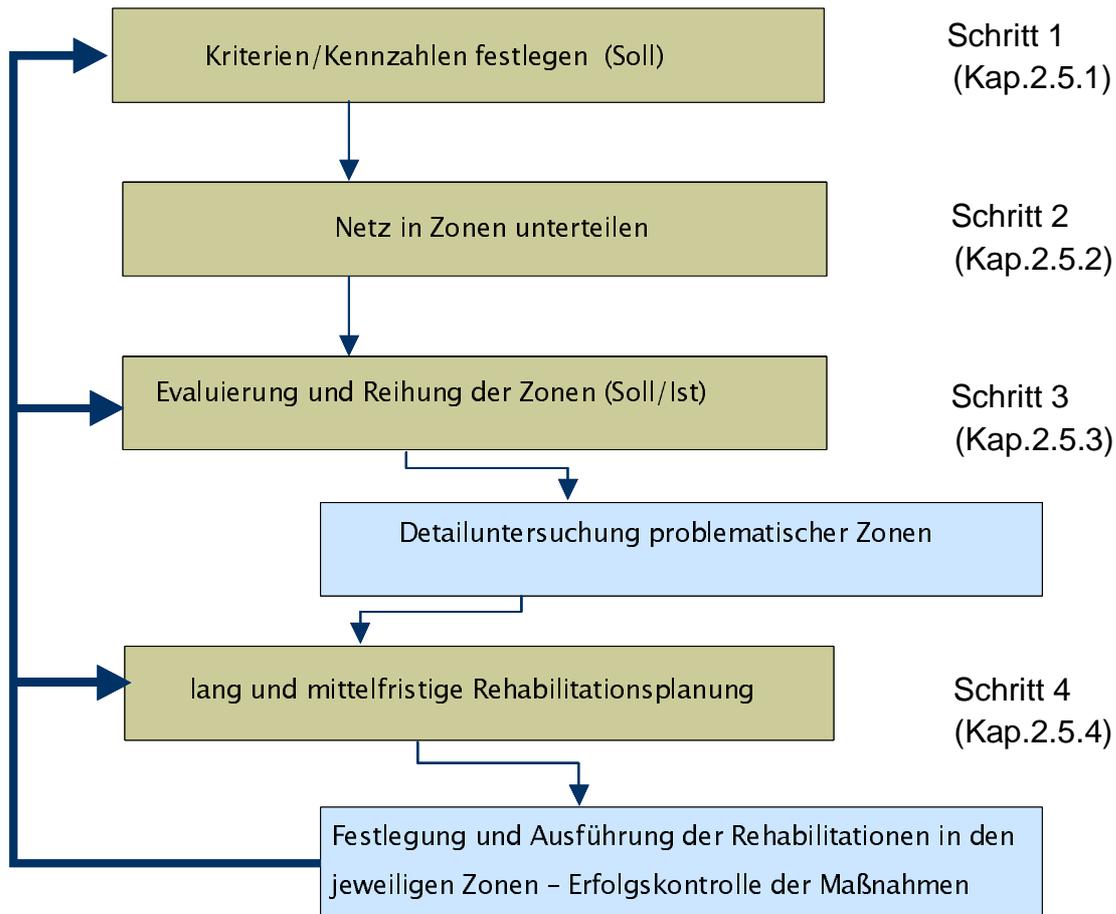


Abb. 2.5.1: Planungsschritte bei der zustandsorientierten Strategieverfolgung nach S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)

Die Rehabilitationsplanung sollte in mehreren Einzelschritten erfolgen. Zu allererst müssen Rehabilitationskriterien und Bewertungsmethoden definiert werden. Wichtig ist weiter die Unterteilung des Gesamtnetzes in einzelne Netzzonen. Die Zonen werden anschließend auf vorhandene Schwachstellen geprüft und nach Prioritäten geordnet. Danach sollte eine detaillierte Untersuchung der problembehaftetsten Zonen angeschlossen werden. Die dabei erhaltenen Untersuchungsergebnisse dienen als Basis für die langfristige Rehabilitationsplanung. Den letzten Schritt im Planungsablauf bildet die Ausarbeitung und Ausführung der Rehabilitationsmaßnahmen je Zone.

2.5.1 SCHRITT 1: FESTLEGUNG VON KRITERIEN UND REGELN FÜR DIE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

2.5.1.1 Allgemeines

Das oberste Ziel von Rehabilitationsmaßnahmen ist es die zuverlässige Versorgung der Kunden mit Trinkwasser zu erhalten oder wiederherzustellen.

Die Festlegung von konkreten Kriterien und Regeln, welche die Entscheidungsfindung bei der Verfolgung dieses Zieles unterstützen, muss der erste Schritt bei der strategischen Planung von Rehabilitationsmaßnahmen sein. In der Literatur sind diesbezüglich von S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) (siehe Kap 2.5.1.2), von W. HIRNER (1997) (siehe Kap. 2.5.1.3) sowie vom DVGW (siehe Kap. 2.5.1.4) Vorschläge zu finden.

Hierbei findet der ursprünglich aus dem kaufmännischen Bereich stammende Einsatz von Kennzahlen für die Analyse der technisch/wirtschaftlichen Zusammenhänge immer breitere Anwendung. Kennzahlen können als Schlüsselinformation und Entscheidungsgrundlage für die Entscheidungsträger dienen. Über sie wird es möglich Zielwerte und Standards für angestrebte Unternehmensziele zu definieren. Schwachstellen im Anlagenvergleich können demnach charakterisiert werden und Vergleiche zwischen unterschiedlichen Anlagengruppen werden ermöglicht. Auch die Versorgungs- und Anlagenstruktur des WVUs selbst kann mit Hilfe von Kennzahlen charakterisiert werden. Der Vergleich von Netzzonen oder von WVU untereinander wird dadurch ermöglicht [nach W. HIRNER (1997)].

2.5.1.2 Methode nach S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989)

Kriterien und Regeln als Entscheidungsgrundlage bei der Rehabilitationsplanung werden wie folgt festgelegt:

Kriterien

Kriterien, welche die Gewährleistung der Versorgung mit Trinkwasser in ausreichender Menge, Druck und Qualität beschreiben, müssen aufgestellt werden. Dazu zählen:

- ✗ Gesetzlich oder durch Regelwerke vorgeschriebene Anforderungen wie z. B.: die Einhaltung der Grenzwerte von Wasserqualitätsparametern oder der Mindestbetriebsdrücke,
- ✗ Versorgungsunterbrechungen durch Schäden oder ästhetische Wasserqualitätsprobleme,
- ✗ betriebsinterne Entscheidungsfindungskriterien wie z. B. ein Nachholbedarf an Rehabilitationstätigkeiten.

Bei der Bewertung der einzelnen Kriterien wird eine zusätzliche Unterteilung nach „Akzeptanzklassen“ empfohlen (siehe Tab. 2.5.1)

Tab. 2.5.1: 3-stufige Akzeptanzklassen [S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)]

Level 1	akzeptabel
Level 2	bedingt akzeptabel
Level 3	inakzeptabel

Tab. 2.5.2: Akzeptanzlevels der Mindestbetriebsdrücke für englische Verhältnisse [S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)]

Level 1	> 15m head
Level 2	10 – 15 m head
Level 3	< 10m head

Die Inakzeptabilität einer Situation ergibt sich nicht nur durch die Art der Beeinträchtigung (wie Unterdruck, Verkeimung,...), sondern auch durch die Dauer und Häufigkeit der Beeinträchtigung. Alle Kriterien sollten, wenn es aufgrund der durchgeführten Messungen und Aufzeichnungen möglich ist, auf diese Art und Weise spezifiziert werden.

Für die Druckverhältnisse und für Versorgungsunterbrechungen ist dies - falls aktuelle Rohrnetzrechnungen und eine Schadensstatistik vorhanden sind - mit keinem allzu großen Aufwand verbunden. Zonen mit Druckproblemen sind z. B. aus der Rohrnetzrechnung erkennbar. Hinsichtlich der Betriebsdrücke können die drei Akzeptanzlevels in Abhängigkeit von der Größe der Abweichung von den erforderlichen Mindestbetriebsdrücken bestimmt werden. Tab. 2.5.2 zeigt die von S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) empfohlenen Akzeptanzlevels für die minimalen Betriebsdrücke an einem verbrauchsreichen Tag zur verbrauchsreichsten Stunde. Der Verbrauch wird über die letzten 3 Jahre gemittelt.

an einem verbrauchsreichen Tag zur verbrauchsreichsten Stunde. Der Verbrauch wird über die letzten 3 Jahre gemittelt.

Regeln für die Abschätzung des Nutzens der Rehabilitationsmaßnahme für den Kunden

Mit Rehabilitationsmaßnahmen können die verschiedensten Erfolge erzielt werden. Die Schadensrate einer Leitungsgruppe kann gesenkt werden, die Drucksituation oder die ästhetische Wasserqualität kann verbessert werden. Es bedarf daher einer Methode, die es ermöglicht, die verschiedenen positiven Effekte untereinander zu vergleichen und zu bewerten. Erst dann kann eine Prioritätenreihung von Rehabilitationsprojekten vorgenommen werden.

S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) haben dafür ein Punktesystem entwickelt, wobei Folgendes berücksichtigt wird:

- ✗ Relative Priorität der Kriterien untereinander (z.B. Wasserqualität versus Versorgungsunterbrechung),
- ✗ Relative Priorität der Verbesserung des Ausgangszustandes (z.B. Verbesserung von Level 3 auf Level 2 hat mehr Relevanz als die Verbesserung von Level 2 auf Level 1),
- ✗ Anzahl der beeinträchtigten Kunden,

- X Grad der Zuverlässigkeit der Diagnose des Problems und Grad des zu erwartenden Erfolges des Projektes,
- X zu erwartende Kosten des Projektes.

In Bezug auf die Berücksichtigung der Anzahl der betroffenen Kunden, muss jedoch darauf geachtet werden, dass es für Personen in dünn besiedelten Gebieten zu keiner Benachteiligung kommt.

Beispiel 2.5-1: Punkteschema zur Abschätzung des Nutzens eines Projektes für den Kunden [nach S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)]

In diesem Beispiel werden deutlich mehr Punkte für eine Verbesserung von Level 3 auf Level 2 als von Level 2 auf Level 1 vergeben. Weiters werden die verschiedenen Kriterien gewichtet. Zudem wird ein Maß für die Sicherheit der Diagnose des Problems und ein Maß für den erwarteten Erfolg, der durch die Rehabilitationsarbeit erzielt wird, angegeben.

Verbesserung (i):

Tab. 2.5.3: Mögliche Punktevergabe für die Zustandsverbesserung in Abhängigkeit vom Dringlichkeitslevel und dem Rehabilitationskriterium

Kriterium	Punkte für die Zustandsverbesserung	
	Level 3 auf 2	Level 2 auf 1
Trübung	30	6
Druck	40	4
Unterbrechung	40	4

Anzahl der betroffenen Kunden (n)

Zuverlässigkeitsmaß (c):

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Problem existiert und ob das Problem durch die Maßnahme gelöst werden kann, wird geschätzt.

Tab. 2.5.4: *Bewertungsmöglichkeit der Zuverlässigkeit einer Maßnahme*

Zuverlässigkeitsmaß (c)	Beschreibung
0,9	Gut dokumentiertes und verstandenes Problem, das durch ein Projekt mit genau definierten Effekten gelöst wird.
0,6	Einer der folgenden Punkte trifft zu - Problem wurde nicht gewissenhaft untersucht und dokumentiert - Problem ist schwer messbar (ästhetische Wasserqualität) - Problembehebung hat Unsicherheit in der Effektivität
0,3	Mehr als einer der o.a. Punkte trifft zu

So kann die Erneuerung einer Leitung, die durch mehrere gut dokumentierte Rohrbrüche immer wieder zu Versorgungsunterbrechungen führt, das Zuverlässigkeitsmaß 0,9 erhalten, da sowohl das Problem, als auch die Problemlösung gut erkennbar sind.

Eine Wassertrübung hingegen, die durch frei gewordene Ablagerungen verursacht wurde und durch Reinigung bekämpft werden soll, kann kein höheres Zuverlässigkeitsmaß als 0,3 erhalten, da sowohl die Untersuchung, als auch die Lösung mit einer gewissen Unsicherheit verbunden ist.

Kosten (€): ausgedrückt in Euro

Der **Nutzen/Kosten Faktor** kann abschließend wie folgt ermittelt werden.

$$\frac{i * n * c}{\text{€}} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}} \text{Faktor}$$

Beispiel 2.5-2

Anwendung des Punkteschemas von Beispiel 2.5-1 [nach S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)]

Das Beispiel soll verdeutlichen, wie die Reihung zweier Projekte verschiedener Zonen berechnet werden kann.

In Zone X liegt ein Druckproblem vor. Über eine Rohrnetzrechnung konnte nachgewiesen werden, dass eine Leitung unterdimensioniert ist. Zusätzlich kommt es zu erhöhten Verlusten. Dieser Sachverhalt wurde mittels Durchfluss und Druckmessung bestätigt. Der Effekt einer Rohrerneuerung wurde im Rechenprogramm getestet.

Tab. 2.5.5: *Kosten/Nutzenfaktor Ermittlung Zone X*

Änderung des Service Levels	i	n	c	$l*n*c$	Kosten (€)	Nutzen/Kosten Faktor (1/€)
Druck:						
Level 3 auf 1	44	200	0,9	7920		
Level 2 auf 1	4	2000	0,9	7200		
Summe				15120	40 000	0,378

In Zone Y besteht ebenfalls ein Druckproblem und zusätzlich kommt es zu Kundenbeschwerden hinsichtlich Trübung. Durch die Rohrnetzbe-
rechnung konnte ermittelt werden, dass in allen Versorgungsleitungen
ausreichender Druck vorliegt. Es ist bekannt, dass manche Leitungen
kleineren Durchmessers Inkrustationen aufweisen. Es wird vermutet,
dass diese Leitungen die Druckprobleme verursachen. Die verantwortli-
chen Leitungen können aber nicht lokalisiert werden. Als Ursache für die
Trübung wurde die Korrosivität der Leitungen erkannt. Mit einer Ze-
mentmörtelauskleidung könnten beide Probleme gelöst werden.

Tab. 2.5.6: *Kosten/Nutzenfaktor Ermittlung Zone Y*

Änderung des Servi- ce Levels	i	n	c	$l*n*c$	Kosten (€)	Nutzen/Kosten Faktor (1/€)
Druck:						
Level 2 auf 1	4	3000	0,6	7200		
Trübung:						
Level 2 auf 1	6	3000	0,6	10800		
Summe				18000	60 000	0,300

Die Rehabilitationsmaßnahmen in der Zone X haben somit die höhere
Priorität.

Die Methode ermöglicht es, Prioritäten zwischen Projekten zu setzen, die das gleiche Ziel, nämlich die Gewährleistung oder Wiederherstellung der zuverlässigen Versorgung des Kunden mit Trinkwasser, verfolgen. Das Verfahren kann auch verwendet werden um Projekte mit unterschiedlichen Zielvorgaben zu bewerten. Die Vergabe der Punkte erfolgt, aus Ansicht der Verfasserin, zum Teil etwas zu willkürlich. Die Definition von Kennzahlen, wie sie im nächsten Abschnitt beschrieben wird, liefert hingegen eindeutigere Vergleichskriterien.

2.5.1.3 Kennzahlenermittlung nach W. HIRNER (1997)

Ein ähnliches Beispiel für die Ermittlung von Kriterien für die Entscheidungsfindung bei der Rehabilitationsplanung wurde von der Energie- und Wasserversorgung AG Nürnberg [nach W. HIRNER (1997)] erstellt. Anlass für gezielte Überlegungen zur zustandsorientierten Strategieverfolgung waren hier vor allem hohe Trübungswerte, steigende Kundenreklamationen und hohe Spülungskosten. Es wurden Kennzahlen dreier Teilbereiche aufgestellt, für welche Ziel- und Ergebniswerte erstellt werden können.

- 1) Kennzahlen hinsichtlich Versorgungsqualität (Tab. 2.5.7)
- 2) Kennzahlen hinsichtlich Personalaufwand (Tab. 2.5.8)
- 3) Kennzahlen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit (Tab. 2.5.9)

Die Kennzahlen hinsichtlich der Versorgungsqualität entsprechen im wesentlichen den bei S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) angeführten maßgeblichen Erneuerungskriterien. Sie werden jedoch noch durch Wirtschaftlichkeitskriterien erweitert. Diese gliedern sich wiederum in Kostenkennzahlen und Personalaufwandskennzahlen.

Tab. 2.5.7: Kennzahlen Anlagenbetrieb und Versorgungsqualität [W. HIRNER (1997)]

Nr.	Kennzahl Anlagenbetrieb	Ausgangsgrößen
1.1	Schadensrate Leitungen in Sch/100 km mit Aufteilung nach Leitungsmaterial und Leitungsdurchmesser	$\frac{\text{Anzahl Schäden Leitungen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.2	Schadensrate Armaturen in Sch/1000 Arm.	$\frac{\text{Anzahl Schäden Armaturen}}{\text{Anzahl Armaturen}} \cdot 1000$
1.3	Schadensrate Hydranten in Sch/1000 Hydr.	$\frac{\text{Anzahl Schäden Hydranten}}{\text{Anzahl Hydranten}} \cdot 1000$
1.4	Bruttoverluste in % der Netzeinspeisung	$\frac{\text{abgerechnete Wassermenge}}{\text{Netzeinspeisung}} \cdot 100$
1.5	Netzverluste in m ³ /km und h	$\frac{\text{Netzverluste}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 8760$
1.6	Reklamationsrate Kunden in Rekl./100 km (begründete Reklamationen)	$\frac{\text{Anzahl Reklamationen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.7	Inspektionsrate Leitungen in % je Jahr	$\frac{\text{Inspizierte Leitungen}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
1.8	Inspektionsrate Hydranten in % je Jahr	$\frac{\text{Inspizierte Hydranten}}{\text{Anzahl Hydranten}} \cdot 100$
1.9	Versorgungsunterbrechungen (> 8 h, > 5% versorgte Einwohner) in % je Jahr	$\frac{\text{Anzahl Unterbrechungen}}{\text{Jahresstunden}} \cdot 100$
1.10	Trinkwasserqualität	Parameter nach TWVO
1.11	Qualitätsrate in % je Jahr	$\frac{\text{Anzahl Analysen positiv}}{\text{Anzahl Analysen}} \cdot 100$
1.12	spez. Energieverbrauch Netz	$\frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Netzeinspeisung}}$

Tab. 2.5.8: Kennzahlen Personal und Produktivität [W. HIRNER (1997)]

Nr.	Kennzahl Produktivität	Ausgangsgrößen
2.1	Gesamt-Mitarbeiterquote in MA je 100 km	$\frac{\text{Mitarbeiter Wasserversorgung}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
2.2	Mitarbeiterquote Verteilung für Planung, Bau, Betrieb und Insth. in MA je 100 km	$\frac{\text{Mitarbeiter Technik Verteilung}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
2.3	Mitarbeiterquote Verteilung für Betrieb und Instandhaltung in MA je 100 km	$\frac{\text{Anzahl MA-Betr. u. Instandh.}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
2.4	Mitarbeiterquote für Instandhaltung Wasserverteilung in MA/100 km	$\frac{\text{Anzahl MA-Instandh.}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
2.5	Stundenaufwand für Inspektion Leitung in h je km inspizierte Leitung	$\frac{\text{Stundenaufwand für Inspektion}}{\text{Länge inspizierte Leitungen}}$
2.6	Stundenaufwand für Reparatur Leitungen in h je Schaden	$\frac{\text{Stundenaufwand für Reparaturen}}{\text{Anzahl Schäden}}$
2.7	Mitarbeiterquote Verteilung für Planung und Bau in MA je 100 km	$\frac{\text{Anzahl MA Planung und Bau}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}} \cdot 100$
2.8	Mitarbeiterquote für Betrieb Wasser- verteilung	$\frac{\text{Anzahl MA Betrieb}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}}$
2.9	Mitarbeiterquote Zählerwesen in MA je 1000 Zähler	$\frac{\text{Anzahl MA Zählerwesen}}{\text{Anzahl Zähler}} \cdot 1000$

Tab. 2.5.9: Kennzahlen Wirtschaftlichkeit [W. HIRNER (1997)]

Nr.	Kennzahl Kosten	Ausgangsdaten
3.1	Gesamtkosten Wasserversorgung in DM je m ³	$\frac{\text{Gesamtkosten}}{\text{nutzbare Wasserabgabe}}$
3.2	Gesamterlöse nach Tarifgruppen in DM je m ³	$\frac{\text{Gesamterlöse}}{\text{nutzbare Wasserabgabe}}$
3.3	Kostendeckungsgrad in %	$\frac{\text{Gesamterlöse}}{\text{Gesamtkosten}} \cdot 100$
3.4	Kostenanteil <ul style="list-style-type: none"> • für Verwaltungsgemeinkosten • für Konzession • für Fremdbezug • für B&I-Kosten • Kapitalkosten jeweils in % der Gesamtkosten	
3.5	Gesamtverteilungskosten in DM je km	$\frac{\text{Verteilungskosten}}{\text{Länge Versorgungsleitungen}}$
3.6	Kostenanteile der Verteilung <ul style="list-style-type: none"> • für Personalkosten • für Materialkosten • für Fremdleistungen jeweils in % der Verteilungskosten	
3.7	Kostenanteile der Verteilung <ul style="list-style-type: none"> • Kapitalkosten • für B&I gesamt • für Inspektion • für Wartung • für Reparatur • für Sanierung • für Erneuerung (nicht aktiviert) jeweils in % der Verteilungskosten	
3.8	Instandhaltungsintensität Verteilung in % je Jahr	$\frac{\text{Betr. u. Insth.-Kosten - Verteilung}}{\text{Kapitalwert Verteilg-Anlagen}}$
3.9	Gesamtzählerkosten in DM je Zähler	$\frac{\text{Zählerkosten}}{\text{Anzahl Zähler}}$
3.10	Netzinvestition in DM/km und Jahr mit Unterteilung nach Neuanlagen und Anlagenerneuerung	$\frac{\text{Investition Verteilung}}{\text{Netzlänge}}$
3.11	Investitionsintensität Verteilung	$\frac{\text{Investition Verteilung}}{\text{Netz Abschreibung}} \cdot 100$
3.12	Kapitalrendite in %	$\frac{\text{Gesamterlöse}}{\text{Anlagen Kapitalwert}} \cdot 100$
3.13	Wasserpreisindex in Minuten Arbeitszeit je m ³	$\frac{\text{Wasserpreis}}{\text{mittl. Lohn Facharbeiter}}$

W. HIRNER (1998) führt an, dass gerade die wirtschaftlich/monetäre Bewertung von großer Bedeutung ist. Denn oft wird zwar eine umfangreiche Netzrehabilitation gewünscht, aber meist fehlen entsprechende Argumentationsgrundlagen, die für die dafür erforderlichen Investitionen sprechen. Es sollte daher aufgezeigt werden, dass der mit der Rehabilitation verbundene verbesserte Netzzustand mittel- bis langfristig auch zu einer Kostendämpfung bei der Instandhaltung führt.

Das Verfahren kann vor allem für die Gesamtzustandsbewertung des Netzes bzw. einzelner Netzzonen verwendet werden. Werden für ein oder mehrere Kriterien die betriebsinternen Richtwerte nicht eingehalten, sind entsprechende Gegenmaßnahmen zu setzen. Für einen Vergleich der Funktionstüchtigkeit einzelner Netzzonen ist das Aufsummieren der Kennzahlen ausreichend, um Prioritäten in der Maßnahmensetzung festzulegen. Eine Methodik zur Bewertung und zum Vergleich von Rehabilitationsmaßnahmen untereinander wird hier jedoch nicht angeführt.

2.5.1.4 Rehabilitationskriterien nach DVGW - Hinweis W401

Wie bereits in Kap. 2.5.1.3 angeführt wurde, sind bei der Entscheidung für eine Rehabilitation nicht nur technische Kriterien ausschlaggebend, sondern auch wirtschaftliche Aspekte. Zusätzlich sind oftmals externe Einflüsse, wie gemeinsame Bauvorhaben mit anderen Infrastrukturanlagen Anlass für eine Rehabilitationsentscheidung. Dies zählt ebenfalls zu den wirtschaftlichen Beweggründen. Die Gesamtheit der für die Rehabilitation maßgebenden Kriterien wird nach DVGW-HINWEIS W401 (1997) folgendermaßen unterteilt:

- ✗ Technische Kriterien
- ✗ Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien
- ✗ Externe Einflüsse

Technische Kriterien

Die quantifizierbaren technischen Kriterien orientieren sich vor allem an Vorgaben aus gesetzlichen Vorschriften, Normen und Richtlinien.

Mindestversorgungsdruck:

In Österreich sind die in ÖNORM B 2538 angeführten Mindestbetriebsdrücke einzuhalten.

Wasserqualität:

Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung „Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ zum Lebensmittelgesetz sind einzuhalten. Beeinträchtigungen der Wasserqualität können durch Reaktionen des Wassers mit dem Rohrwerkstoff oder durch Inkrustationen entstehen. Parameter der Wasserqualität sind bakterielle Werte, organoleptische Kenngrößen (Geruch, Geschmack), chemische Werte (Metallkon-

zentration) und physikalische Werte (Trübung, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redox - Potential).

Wasserverluste:

Es gelten die Richtwerte nach ÖVGW - Regelblatt W 63 „Wasserverluste in Versorgungsrohrnetzen, Anschlussleitungen und Verbrauchsleitungen“.

Schadensrate:

Die Häufigkeit von Schäden an Leitungen, Armaturen und Hausanschlüssen sollten angemessene, werkstoff- und unternehmensspezifische Richtwerte nicht überschreiten. Die Schadensrate wird aus einer möglichst detaillierten Schadensstatistik (siehe auch DVGW-MERKBLATT W395 (1998)) leitungsgruppen- und netzbezogen abgeleitet.

Eine Schadensstatistik gibt Hinweise über die relative Qualität des Netzes im Vergleich zu anderen WVUs und von Leitungsgruppen untereinander. Eine generelle Festlegung einer zulässigen Schadensrate gibt es jedoch nicht. Eine internationale Übersicht aus dem Jahr 1988 zur Schadensrate großer Europäischer Städte gab Werte zwischen 0,09 und 0,92 Schäden (S) pro km und Jahr an. Viele große deutsche Werke streben Werte unter 0,1 S/km*a an (siehe Abb. 2.5.2). Eine Anfrage des DVGW von 1994 ergab bei größeren WVUs Schadensraten von 0,1 bis 0,3 S/km*a. 0,5 S /km*a sind ein sicherer Anlass, etwas zu tun [H. MAYR (1996)]. In Graz liegt sie derzeit bei 0,12 S/km*a.

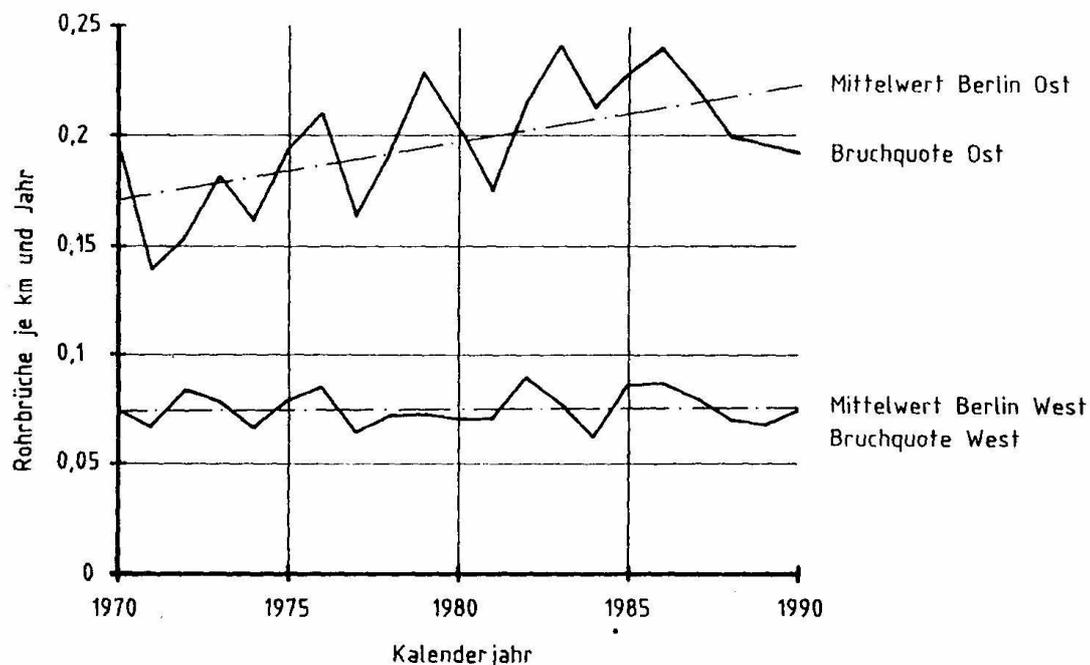


Abb. 2.5.2: Entwicklung der Bruchquote in Berlin nach RIEGE D., 1991 zitiert bei H. MAYR (1996)

Rohrwerkstoffe:

Früher eingesetzte Rohrwerkstoffe, wie Blei oder Asbestzement, können gesonderte Rehabilitationsprogramme erforderlich machen.

Netzzustand:

Schäden und Schwachstellen charakterisieren den Netzzustand. Sie müssen durch das Unternehmen auch unter Gesichtspunkten der Funktionsfähigkeit, der Gefährdung anderer Anlagen und der Wirtschaftlichkeit bewertet werden. Die Zustandsbeurteilung der Verteilungsanlagen muss insbesondere nachstehende Punkte berücksichtigen:

- ✗ Konstruktionsbedingte Schwachstellen bei Verbindungen (z.B. Stemmmuffen) und Armaturen (z. B. Spindeldichtungen, Schließfunktion),
- ✗ schlechter Leitungszustand (z. B. fehlende Schutzschichtbildung, Innenkorrosion, Inkrustationen, Ablagerungen, mangelhafte Rohrumhüllung, Außenkorrosion, Bruchanfälligkeit),
- ✗ unzureichende Festigkeit von Rohrwerkstoffen unter äußerer und innerer Beanspruchung,
- ✗ unzureichender Versorgungsdruck.

Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien

Wirtschaftlichkeit:

Auch hohe bzw. steigende Wartungs- und Reparaturkosten können Anlass zu Rehabilitationsmaßnahmen von Wasserverteilungsanlagen sein.

Vor allem Aufwendungen für Spülungen, Lecksuche, Armaturenwartung und Reparaturen, aber auch besondere Vorhaltungskosten für Ersatzteile (z.B. bei ungebräuchlichen Nennweiten oder nicht mehr verfügbaren Rohrwerkstoffen) oder Kosten für Wasserverluste sind hierzu zu zählen.

Auch Kosteneinsparungen bei vorzeitiger Rehabilitation im Zuge anderer Tiefbauarbeiten können als Wirtschaftlichkeitskriterium gewertet werden. (siehe auch externe Einflüsse).

Versorgungsimage:

Beurteilungskriterien für das Versorgungsimage können sein:

- ✗ Auswertungen über Anzahl und Tendenz von Kundenreklamationen,
- ✗ Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen,
- ✗ erschwerte Aufgrabungen in besonderen Bereichen (z.B. Fußgängerzonen, Fernverkehrsstraßen),
- ✗ Koordinierung von Aufgrabungen für verschiedene Ver- und Entsorgungsleitungen, öffentlichkeitswirksame Rohrschäden mit Folgekosten,
- ✗ häufige Beeinträchtigung der Wasserqualität.

Externe Einflüsse

Als Folgemaßnahmen von Tiefbauarbeiten (z.B. Straße, Verkehr, Kanal) sind oft Leitungsumlegungen notwendig. Solche Fremdbaumaßnahmen können Anlass für vorgezogene Rehabilitationsmaßnahmen sein. Dafür können betriebswirtschaftliche und übergeordnete Gründe gegeben sein.

Beispiel - 2.5-3: Beurteilung/Auswertung nach DVGW-Hinweis W401 (1997):

	Kriterien	Unternehmensspezifische Bewertungspunkte
1	Technische Kriterien	
1.1	Mindestversorgungsdruck ist nicht eingehalten; Kundenbeschwerden als Folge	8
1.2	Wasserqualität: Netzteil mit wiederkehrender Überschreitung der Grenzwerte (Ursache im Netz)	4 - 8
1.3	Schadensrate übersteigt unternehmensspezifische Richtwerte	8
1.4	Schwachstellen: - stark inkrustierte Leitungen - bruchgefährdete Leitungen - durch Außenkorrosion gefährdete Leitungen - undichte Stemmuffen	2 - 3 1 - 3 1 - 3 4
2	Wirtschaftliche und unternehmensspez. Kriterien	
2.1	hohe Aufwendungen für Spülungen oder Reparaturen	2 - 4
2.2	ungebräuchliche Nennweiten	1 - 3
2.3	ungebräuchliches Rohrmaterial	2 - 4
2.4	eingeschränkte Zugänglichkeit durch Überbauung	2
2.5	Rehabilitation bei straßenzugsweisen Hausanschlusserneuerungen	4
2.6	Beseitigen schlecht durchflossener Leitungen	1 - 3
2.7	gefährdete Leitung durch - topographische Lage - Bodenbewegungen infolge Fremdbaumaßnahmen - sprödebruchgefährdete Leitungen - andere Leitungen - Streuströme	1 - 2 8 4 - 8 2
3	Versorgungsimage	
3.1	häufige und evtl. steigende Anzahl von berechtigten Kundenreklamationen	2
4	Externe Einflüsse	
4.1	Maßnahmen anderer Ver-/Entsorgungssparten - in der gleichen Trasse (gemeinsame Verlegung) - in anderer Trasse	4 4 1
4.2	Straßenbaumaßnahmen - Erneuerung des Unterbaus - Erneuerung der Deckschicht	4 1
4.3	ungesicherte Leitungslage in Fremdgrund - mit Umlegungsforderung - ohne Umlegungsforderung	8 1 - 3
5	Hausanschlusserneuerung (zusätzliche Kriterien)	
5.1	Schaden	8
5.2	bei Rehabilitation der Versorgungsleitung	2 - 4
5.3	metallische Werkstoffe mit Schwachstellen	4 - 6
5.4	Abweichung von den Regeln der Technik	1
6	Armaturenerneuerung (zusätzliche Kriterien)	
6.1	Armaturen mit eingeschränkter Schließfunktion	2
6.2	schadensanfällige Armaturen	2

Die Beurteilung von Rehabilitationsmaßnahmen kann durch Summierung der Bewertungspunkte der einzelnen Kriterien erfolgen. Anlass für eine in den Jahres-/ Mehrjahresplan aufzunehmende Rehabilitationsmaßnahme kann sein:

- ein Einzelkriterium mit 8 Punkten
- eine Summe von 10 Bewertungspunkten, wenn wenigstens ein Kriterium mit 4 Bewertungspunkten beteiligt ist
- eine Summe von 12 Bewertungspunkten

2.5.1.5 Zusammenfassung Kriterien und Regeln

Die Festlegung von Rehabilitationskriterien und Bewertungsschemata als Entscheidungshilfe ist ein wesentlicher Punkt in der zustandsorientierten Rehabilitationsplanung. Die Kennzahlen/Kriterien müssen klar definiert sein, damit die Gefahr „Äpfel mit Birnen“ zu vergleichen ausgeschlossen werden kann. Die oben angeführten Beispiele sind hierfür ein guter Anhaltspunkt. Vorab muss geprüft werden, welche der dazu erforderlichen Unterlagen/Informationen/Aufzeichnungen bereitgestellt werden können und welche erst erhoben werden müssen. An die Festlegung des Soll-Zustandes, für alle maßgebenden Kriterien, schließt die Erhebung des Ist-Zustandes an. Durch Abweichungen vom Soll-Zustand ergeben sich die Ziele für die Rehabilitationsplanung. Die Beurteilung des Ist-Zustandes sollte dabei nicht nur für das Gesamtnetz erfolgen, sondern für einzelne Netzzonen.

2.5.2 SCHRITT 2: BILDUNG VON NETZZONEN

Vor allem für Schwachstellenuntersuchungen größerer WVUs ist die Unterteilung des Rohrnetzes in überschaubare Einheiten unerlässlich. Die gewissenhafte Festlegung der Zonengrenzen ist dabei äußerst wichtig. Jede Zone sollte so selbständig und homogen wie möglich sein. Folgende Charakteristika sind nach S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) bei der Auswahl der Zonen zu beachten.

- ✗ **Auswahl hydraulisch abgegrenzter Gebiete:** Die Zonen sollten so wenige Hauptzuflüsse und -abflüsse als möglich haben. Dies ist vor allem für Druck- und Wasserqualitätsuntersuchungen wichtig.
- ✗ **Wassergewinnung:** Ideal wäre die Versorgung der Zonen aus jeweils nur einer Wassergewinnungsstelle. Dies ist natürlich nicht immer möglich, da die Zonengröße auch eine Rolle spielt. Es erleichtert jedoch die Untersuchungen hinsichtlich der Wasserqualität erheblich. Wird eine Untersuchungszone durch mehrere unterschiedliche Gewinnungsstellen versorgt, muss darauf geachtet werden, dass deren Wasserqualität so einheitlich wie möglich ist. S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) geben diesbezüglich Richtlinien an.
- ✗ **Größe:** Aus rein praktischen Gründen für die Untersuchungen ist es erforderlich die Größe der Zonen auf ein bestimmtes Maß einzuschränken. Nach S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989) sollte die Anzahl der versorgten Einwohner / Zone zwischen 20000 und 80000 liegen. W. HIRNER (1998) bezieht sich auf die Netzlänge innerhalb der Zone und gibt 50 km Netzlänge als optimale Zonenlänge an.
Sollen sehr große Zonen weiter unterteilt werden, so sind folgende Überlegungen anzustellen:
 - Gab es in der Vergangenheit Wasserqualitätsunterschiede innerhalb der Zone, die sich z. B. auf die Korrosion auswirken konnten?

- Gibt oder gab es administrative Grenzen?
 - Gibt es Unterschiede in den *Untergrundverhältnissen*?
 - Gibt es Unterschiede im *Material*, in den *Baujahren* oder in der *Verlegepraxis*?
- ✗ **Andere Gründe:** Bereits aus anderen Gründen, wie die Überwachung der Wasserqualität oder die Verlustmessung, gebildete Zonen sollen beibehalten werden.

2.5.3 SCHRITT 3: REIHUNG DER NETZZONEN

Falls durch Probleme in einzelnen Zonen detaillierte Untersuchungsprogramme erforderlich werden, muss die Untersuchungsreihenfolge der Zonen festgelegt werden, da es meist nicht möglich sein wird, alle Zonen zur gleichen Zeit und mit der gleichen Intensität zu untersuchen.

2.5.3.1 Methode nach S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989)

Für alle Zonen soll das Ausmaß der Probleme hinsichtlich der maßgebenden Parameter, vorab grob bewertet werden. Weiters ist mit einzubeziehen, ob durch andere Arbeiten eine Intensivierung der Untersuchungen innerhalb der einzelnen Zonen ohnehin vorgesehen ist. Hierzu ist z. B. die Verlustmessung zu zählen.

Es soll dabei auf Basis aller bereits vorhandenen Informationen versucht werden die Zonen zu reihen.

Bewertung nach ästhetischer Wasserqualität

Die Zonen sind in drei Kategorien einzustufen:

- ✗ Zonen ohne Probleme.
- ✗ Zonen mit Problemen, die eindeutig durch mangelnde Wasseraufbereitung hervorgerufen werden.
- ✗ Alle verbleibenden Zonen, welche entweder durch mangelnde Aufbereitung oder aber durch Korrosionserscheinungen hervorgerufen werden, sollen in Abhängigkeit von der Stärke der Qualitätsprobleme gereiht werden. Dies kann zum Beispiel in Abhängigkeit von der Eisenkonzentration oder den Kundenbeschwerden erfolgen.

Bewertung nach der Drucksituation

Liegt eine Rohrnetzrechnung vor, so können alle Hausanschlüsse, die unter zu geringem Druck leiden, ausgewiesen werden. Die Reihung der Zonen kann daher anhand der Anzahl der betroffenen Hausanschlüsse erfolgen.

Liegen Aufzeichnungen über die, in den letzten Jahren innerhalb der Zonen gemessenen minimalen Drücke vor, so können diese für Vergleichszwecke herangezogen werden.

Bewertung nach strukturellen Mängeln

Hierfür kann die Schadensrate pro km und Jahr [$S/km \cdot a$] der einzelnen Zonen herangezogen werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass auch Zonen mit verhältnismäßig geringer Schadensrate einzelne Leitungsabschnitte aufweisen können, die eine hohe Schadenshäufigkeit aufweisen. Hinsichtlich der Schadensraten sollten daher in jedem Fall alle Zonen näher untersucht werden.

Selbstverständlich können hierfür auch Aufzeichnungen über den Zustand der Leitungen für ein Ranking verwendet werden.

Auswahl der Reihenfolge in der die Zonen untersucht werden sollen

Die Reihungen der einzelnen Parameter, wie Hydraulik, Wasserqualität und strukturelle Mängel, müssen abschließend kombiniert werden. Es empfiehlt sich für die maßgebenden Kriterien Grenzwerte festzulegen, um anhand der relativen Grenzwertüberschreitung eine Reihung vornehmen zu können.

Beispiel - 2.5-4: Entscheidungsprozess bei der Reihung von Netzzonen nach S. EVINS, G. STEVENSON ET al. (1989)

- 1) Festlegung der Grenzwerte für alle maßgebenden Kriterien z. B.:
 - * *Trübung* – Eisenkonzentration $> 0,1 \text{ mg/l}$
 - * *Druck* - prozentueller Anteil der betroffenen Grundstücke $> 10\%$
 - * *Strukturelle Mängel* – Schadensrate $> 0,3 \text{ S/km} \cdot a$
- 2) Identifizierung der Zonen mit Grenzwertüberschreitung und Ermittlung der relativen Grenzwertüberschreitung für jede Zone

Trübung			Druckprobleme			Strukturelle Mängel		
Zone	Mittlere Eisen- konzentration [mg/l]	Relativer Grenzwert [-]	Zone	Betroffene Haus- anschlüsse [%]	Relativer Grenzwert [-]	Zone	Schadens- rate [S/km*a]	Relativer Grenzwert [-]
Antrim	0,3	3	Derbish	33	3,3	Antrim	0,8	2,7
Bingley	0,24	2,4	Fosbrook	28	2,8	Zelby	0,4	1,3
Calcutt	0,19	1,9	Zelby	12	1,2			
Derbish	0,16	1,6	Poortown	11	1,1			
Everton	0,15	1,5						
Fosbrook	0,13	1,3						
Gilbey	0,11	1,1						
Highbridge	0,09	0,9	Highbridge	9	0,9	Gilbey	0,29	1
.			Gilbey	3	0,3	Everton	0,21	0,7
Poortown	0,05	0,5	Calcutt	1	0,1	Jordans	0,2	0,7
Zelby	0,01	0,1	Everton	1	0,1	Calcutt	0,18	0,6
			Antrim	0	0	Derbish	0,12	0,40
			Bingley	0	0	Bingley	0,08	0,3
						Poortown	0,03	0,1
						Fosbrook	0,02	0,07

Für jede Zone werden anschließend die relativen Grenzwerte addiert und die Reihung kann vorgenommen werden.

Zone	Gesamtpunktezahl
Antrim	5,7
Derbish	5,3
Fosbrook	4,2
Bingley	2,7
Zelby	2,6
Calcum	2,6
Gilbey	2,4
Everton	2,3
Poortown	1,7

2.5.3.2 Zusammenfassung Netzzonenreihung

Der in Kap.2.5.1.3 beschriebene Soll/Ist Vergleich und auch die in Kap. 2.5.1.4 beschriebene Punktebewertung kann für das Ranking der Zonen herangezogen werden.

Die Reihung der Zonen setzt voraus, dass bereits Informationen über Probleme im Rohrnetz vorhanden sind. Durch das Ranking der Zonen wird das unterschiedliche Ausmaß dieser Probleme verdeutlicht und eventuell zusätzlich erforderliche Untersuchungsprogramme können angeschlossen werden. Abgeleitet aus weiteren Untersuchungen werden abschließend die in den einzelnen Zonen notwendigen Projekte nach Ihrem Kosten/Nutzen Wert, wie in Beispiel 2.5-1 beschrieben, gereiht.

2.5.4 SCHRITT 4: AUFSTELLUNG DES REHABILITATIONSPLANES

Im Anschluss an die erforderlichen, allenfalls detaillierteren Untersuchungen ausgewählter Zonen erfolgt die Planung der Rehabilitationsmaßnahmen. Ein Rehabilitationsplan soll die langfristigen Rehabilitationsziele und die detaillierte Beschreibung der einzelnen Zonen bzw. des Rohrnetze beinhalten. Darüber hinaus muss festgelegt werden, welche Abschnitte, mit welchen Verfahren, in welchen Zonen vorrangig zu rehabilitieren sind.

2.5.4.1 Methode nach S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989)

Die Erstellung des strategischen Rehabilitationsplanes sollte auf folgenden Grundlagen basieren:

- ✗ detaillierte Beschreibung aller Zonen, auch derer, die nicht näher untersucht wurden,
- ✗ Detailberichte über die Zonen mit speziellen Untersuchungsprogrammen, inklusive einer Zusammenstellung von begründbaren Lösungsvorschlägen,
- ✗ Beschreibung der, durch bereits erfolgte Maßnahmen erzielten Fortschritte.

Der Rehabilitationsplan soll folgende Punkte beinhalten:

- ✗ *Kriterien und Regeln*, auf die sich die Untersuchungsprogramme und der Entscheidungsprozeß stützen (siehe Kap. 2.5.1.2),
- ✗ zusammenfassende Beschreibung der *aktuellen Verhältnisse* in den einzelnen Zonen (Material, Länge und Alter der Leitungen; Zustand der Leitungen, „Levels of Service“, bekannte Probleme, mögliche Lösungswege, zukünftige Probleme, bereits erfolgte Rehabilitationen,...),
- ✗ Zusammenfassung des *erforderlichen Aufwandes*, um den gewünschten Versorgungsstandard zu erhalten bzw. zu erreichen. Die Kosten sollen für ein

5-Jahresprogramm ermittelt und für einen 20-jährigen Planungshorizont abgeschätzt werden. Es sollen dabei auch zukünftig zu erwartende Probleme berücksichtigt werden, auch wenn dies meist schwierig ist.

- ✗ Untersuchung der *vorhandenen Ressourcen* (Personalverfügbarkeit, Finanzmittel),
- ✗ Angabe der spezifischen *Ziele* des Plans. Sie sollten streng aber realistisch sein und bedacht auf vorhandene Ressourcen nehmen. Der Zeitpunkt, bis zu welchem die Ziele erreicht werden sollen, muss angegeben werden. (z.B. alle Bereiche mit einem Versorgungsstandard Level 3 sollen bis zum Jahr 2005 auf Level 2 verbessert werden).
- ✗ Auflistung der erforderlichen Maßnahmen.

2.5.5 ZUSAMMENFASSUNG

Die gezielte Verfolgung der *zustandsorientierten Rehabilitationsstrategie* setzt einen ausgesprochen detaillierten, gut strukturierten Informationsgehalt über das Rohrnetz und dessen Umgebung voraus. Dies ist oft schwierig, vor allem in Hinblick auf Kenntnisse des Netzzustandes, da die unterirdische Wasserversorgungsinfrastruktur meist eine „Black Box“ ist.

Befinden sich die entsprechenden Netzinformationen (Bestandslängen, Verlegejahre, Anschlussdaten, ...) in Akten oder analogen Plänen, lassen sie sich nur schwer bzw. mit erheblichem Aufwand nach lokalen Kriterien zusammenfassen und auswerten.

Mit leicht greifbaren Informationen, seien es Schadensstatistiken, Aufzeichnungen über Qualitätsprobleme, Verlustmessungen oder ähnliches, kann aber versucht werden, einfache Auswertungen und vor allem Bewertungen einzelner Netzteilbereiche durchzuführen.

Bei Verfolgung der zustandsorientierten Strategie ist es sowohl möglich den mittelfristigen (für ca. 10 - 20 Jahre) Rehabilitationsbedarf abzuschätzen, als auch diesen in die operative Jahresplanung umzusetzen. Bei der zustandsorientierten Rehabilitationsplanung können auch monetären Kriterien miteinbezogen werden. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der Rohrnetzrehabilitationen werden bei der Projektauswahl, z.B. durch die Berechnung von Nutzen/Kosten-Faktoren, ermöglicht. Außerdem können wirtschaftliche Kriterien mit Hilfe von Kennzahlen bewertet werden.

2.6 ZUSAMMENFASSUNG

Die, in diesem Kapitel angeführten, Strategietypen unterscheiden sich zum Teil wesentlich voneinander (siehe Tab. 2.6.1). Der wahrscheinlichkeitstheoretische Ansatz der *intervallorientierten Strategie*, kann vor allem für die langfristige Rehabilitationsplanung eingesetzt werden. Für den Entscheidungsfindungsprozess in Bezug auf die Auswahl der tatsächlich in den einzelnen Jahren zu erneuernden Leitungsabschnitte, bedarf es jedoch zusätzlicher Untersuchungen. Dazu bietet sich vor allem die Einführung von Kennzahlen an. Diese erlauben einen Soll/Ist Vergleich und eine Prioritätenreihung von Projekten. Dies hat sich auch in der Praxis bereits gezeigt. Versorgungsbetriebe, wie die Züricher oder Erfurter Wasserwerke, deren langfristiger Rehabilitationsbedarf anhand des Kohortenüberlebensmodells festgelegt wurde, führen, zur vertiefenden Analyse, Soll/Ist Vergleiche von spezifisch für ihre Verhältnisse festgelegten Kennzahlen durch. Dies kommt bei der rein *zustandsorientierten Strategieverfolgung* bereits in der strategischen Langzeitplanung, beim Vergleich und der Bewertung der unterschiedlichen Netzzonen zur Anwendung.

Jedoch auch die vorbeugende, intervallorientierte Rehabilitationsstrategie beinhaltet einen zustandsorientierten Ansatz. Die Ausfallrate beschreibt die, über die Zeit eintretende Zustandsverschlechterung von unterschiedlichen Rohrtypen. Die Kalibrierung des Alterungsmodells erfolgt anhand des Schadens- bzw. Ausfallsverhaltens (und somit auch anhand des Zustandes) verschiedener Rohrtypen des betrachteten Rohrnetzes. Je nachdem, wie gut das Alterungsverhalten der verschiedenen Leitungsgruppen bekannt ist, liefert dieses Verfahren mehr oder weniger brauchbare Erkenntnisse über den langfristigen Rehabilitationsbedarf des Rohrnetzes und demnach die Basis für längerfristige Budgetplanungen. Voraussetzung für dieses Verfahren ist die genaue Kenntnis des Bestandes, gegliedert nach Verlegejahren (Kohorten) und eine über viele Jahre geführte Schadensstatistik bzw. Aufzeichnungen über die Erneuerungsanlässe der Vergangenheit.

Tab. 2.6.1: Vergleich verschiedener Rehabilitationsstrategien

Strategie	Langfristige Budgetplanung	Prioritätenreihung (Projekte)	Informationserfordernis	Aufwand Datenerfassung	durch GIS/NIS verbesserbar?
Ereignisorientiert	Nicht möglich	Kurzfristig evtl. möglich	Gering	Sehr gering	Leicht verbesserbar
Intervallorientiert	Sehr gut geeignet	Bedingt möglich (nur auf Basis des Alters)	Stark	Mäßig bis hoch	Verbesserbar
Zustandsorientiert	Gut geeignet	Vorrangiges Ziel	Sehr stark	Sehr hoch	Stark verbesserbar

Unabhängig davon, welche Strategie verfolgt wird, liegt der Schlüssel zum Erfolg mit Sicherheit in der Güte und Menge der Informationen, die über das Rohrnetz und dessen Umgebung zur Verfügung stehen. Die verantwortlichen Netzingenieure kennen zwar ihr Netz meist so genau, dass sie über momentane Schwachstellen bestens Bescheid wissen, als fundierte Grundlage für die Rehabilitationsplanung können auf die Dauer aber nur konkrete Unterlagen dienen. Dazu zählen Aufzeichnungen, die eine Beurteilung des Netzes ermöglichen, wie Schadensstatistiken, Zustandsbeschreibungen einzelner Rohrabschnitte, Verluste, usw.. Die Beschreibung des Netzbestandes selbst ist hier genauso wichtig, wie die Definition der für die Rehabilitation maßgebenden Kriterien, oder die Unterschiede in den zu erwartenden Nutzungsdauern einzelner Leitungsgruppen.

Der Aufbau von Geoinformationssystemen für die Datenverwaltung, -analyse und Darstellung der unterirdischen Infrastruktur erfolgt seit einigen Jahren bei vielen Leitungsbetreibern. Dieses neue Analyseinstrument wird vermutlich bald zum täglichen Werkzeug der Rohrnetzingenieure zählen. Für die Erarbeitung geeigneter Rehabilitationsstrategien bietet es die Möglichkeit genau jene erwähnten, räumlich gegliederten, Analysen durchzuführen, die den Entscheidungsfindungsprozess wesentlich erleichtern und verbessern können. Dafür ist es wichtig, die erforderlichen Daten zu erheben, georeferenzierbar zu machen oder sie direkt im Geoinformationssystem zu verwalten. Entsprechende Anpassungen der Datenverwaltungssysteme an die Ablaufschemata des Entscheidungsfindungsprozesses bei der Rehabilitationsplanung sind jedoch erforderlich.

3 DATENVERWALTUNGS- UND ANALYSESYSTEME

Dieses Kapitel gibt einen groben Überblick über Computersysteme, die bei der Verwaltung, Analyse und Darstellung von Rohrnetzinformationen zur Anwendung kommen. Für die Verwaltung, Darstellung und Analyse der Rohrnetzdaten geht der Trend derzeit in Richtung Geoinformationssysteme. Im folgenden werden vor allem Informationssysteme mit relationaler Datenbankbasis herausgegriffen. Die Funktionalität von Datenbanken wird beschrieben und es wird ein kurzer Überblick über den Einsatz von Geoinformationssystemen zur Leitungsdokumentation (Netzinformationssysteme) gegeben.

3.1 DATENBANKEN

3.1.1 ALLGEMEINES

Die Datenbank stellt die Basis eines Informationssystems dar. Sie ist eine selbständige, dauerhafte und für den flexiblen und sicheren Gebrauch ausgelegte Datenorganisation, die einen Datenbestand und die zugehörige Datenverwaltung umfasst (siehe Abb. 3.1.1). Das Database Management System (DBMS) ermöglicht die strenge Trennung der Daten von den Anwendungen. Anfragen, Neueintragungen und Korrekturen werden nur über genau definierte Schnittstellen zugelassen [nach N. BARTELME (1999)].

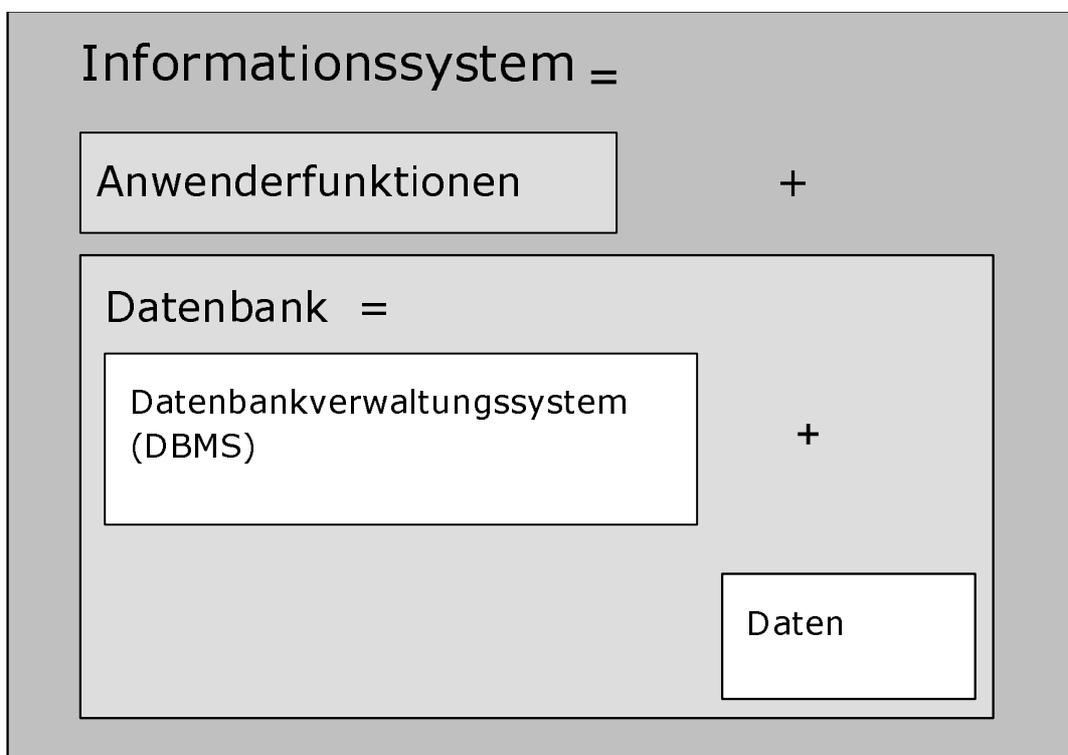


Abb. 3.1.1: Zusammensetzung eines Informationssystems [nach N. Bartelme (1999)]

3.1.2 RELATIONALE DATENBANKEN (RDB)

Der Großteil der derzeit verwendeten Datenbanksysteme (ORACLE, MS Access, viele GIS Datenbanken) sind relationale Datenbanken. Sie sind vom Konzept her sehr einfach. Alle Daten werden in Tabellen gespeichert. Für sämtliche Betrachtungseinheiten (Entitäten) wird eine Tabelle angelegt. Sie besteht aus Spalten (Domänen) und Zeilen (Tupel). Tabellen haben den Vorteil, dass sie einfach kombiniert, verändert und abgefragt werden können. Bei der Erstellung der Tabellen sind jedoch gewisse Regeln zu beachten.

Jede Tabelle benötigt z.B. einen Primärschlüssel, wodurch der eindeutige Zugriff auf sie möglich wird. Jedes Segment innerhalb einer Entität muss einen eindeutigen Namen haben, der sich innerhalb der Entität nicht wiederholt. Die Datenstruktur lässt sich dadurch leicht an veränderte Gegebenheiten anpassen. Eine Tabelle, die so aufgebaut ist, befindet sich in der sogenannten *ersten Normalform*. Zur Verdeutlichung zeigt Tab. 3.1.1 die Beschreibung des Entitätstyps „Material“ aus der Datenbank des DSS zur Rehabilitationsbedarfsprognose.

Tab. 3.1.1: *Beispiel einer Datentabelle für die Entität Material in PiReP*

Tabellenname		Tab_Material	
Primärschlüssel		ID_Mat	
Beschreibung		Im Rohrnetz eingesetzte Materialtypen	
Domäne	Datentyp	Beschreibung	Regeln
ID_Material	AutoWert(LongInteger)	ID	
SC	Text(50)	Kürzel des Materials	
Name	Text(50)	Name des Materials	

Diese Tabelle enthält lediglich drei Domänen, wobei ID_Material der Primärschlüssel ist. Die anderen beiden sind ein Kürzel (SC) und der Name (Name) des Materials und könnten ebenfalls als Primärschlüssel eingesetzt werden.

Im folgenden werden Tabellen nicht mehr wie in Tab. 3.1.1, sondern wie folgt beschrieben:

Tab_Material (*ID_Mat*, SC, Name).

Der kursiv geschriebene Text stellt den Primärschlüssel dar.

Die Tabelle kann jederzeit um eine beliebige Anzahl von Spalten erweitert werden, falls dies erforderlich ist. Es wäre zum Beispiel denkbar, dass die Herstellerfirma oder der erstmalige Einsatz dieses Materials erhoben und in die Datenbank aufgenommen wird. Es wäre jedoch nicht zweckmäßig bzw. auch nicht realisierbar in der Tabelle alle für die eingesetzten Materialien gebräuchlichen Verbindungstypen mit zu erfassen. Es ergäbe sich dabei für die einzelnen Materialien eine variable Anzahl von Möglichkeiten. Eine solche Tabelle befände sich nicht in der ersten Normalform.

Um die Zusammenhänge zwischen Verbindungstyp und Material tabellarisch beschreiben zu können, muss eine eigene Tabelle erzeugt werden, die diese Assoziation (n:m) beschreibt. Für die unterschiedlichen Verbindungsmöglichkeiten benötigt man ebenfalls eine Tabelle: Tab_Fitting (*ID_Fitting*, SC, Name). Die Tabelle, die nun die Materialien mit den dazugehörigen Verbindungen beschreibt, ist folgende: Tab_MatFit (*ID_MatFit*, ID_Mat, ID_Fitting). Man spricht hier bereits von einer Datenstruktur der *zweiten Normalform*. Die Tabelle erfüllt die Bedingungen der ersten Normalform und jede Domäne ist funktional voll von einem Schlüssel abhängig.

In der dritten Normalform befinden sich Tabellen, wenn sie die Bedingungen der zweiten Normalform erfüllen und wenn Attribute, die nicht Teil eines Schlüssels sind, nicht voneinander abhängen. Dies ist für die Tabelle Tab_Leitungsgruppe (*ID_LG*, ID_MatFit, Name, Verlegebeginn,...) zutreffend.

Die einzelnen Tabellen einer Datenbank stehen in Beziehung zueinander. Folgende Typen von Beziehungen (Relationen) kommen in Frage:

- ✗ Ein Tupel der Entität 1 (Elterntabelle) steht mit genau einem Tupel der Entität 2 (Kindtabelle) in Relation (1:1); z.B.: (Land - Hauptstadt).
- ✗ Ein Tupel der Elterntabelle kann mit mehreren Tupeln der Kindtabelle in Verbindung stehen (1:n); z.B.: Land – Gemeinden, Leitung – Schaden, Material – Leitung.
- ✗ Ein Tupel der Elterntabelle kann mit mehreren Tupeln der Kindtabelle in Verbindung stehen, aber auch die Tupel der Kindtabelle können mit Tupeln der Elterntabelle in Relation stehen (n:m); z.B. Leitung - Straße; Material – Verbindung.

Über Abfragemechanismen besteht in Datenbanken die Möglichkeit benutzerspezifische Ansichten der Daten (Views) herzustellen. Die Abfragesprache SQL (Structured Query Language), ermöglicht den Zugriff auf relationale Datenbanken. Die Hauptaufgabe besteht dabei im Selektieren (SELECT FROM) von Daten nach festgelegten Kriterien (WHERE; HAVING;...). Dazu ein Beispiel:

Beispiel 3.1-1: Abfragesprache SQL

Aus der Schadenstabelle Tab_Schaeden (*ID_Schaden*, ID_Strasze, Hnr, ID_DN, ID_Mat, Verlegejahr, ID_Ursache, ID_Schadensart, Schadenszeitpunkt, Kosten) sollen alle Schäden selektiert werden, die sich 1999 an Leitungen aus Asbestzement mit DN 80 zugetragen haben. Die Kosten für die Behebung des Schadens soll ebenfalls angeführt werden.

```
SELECT Tab_Schaeden.Schadensjahr, Tab_Durchmesser.SC AS DN,
Tab_Material.SC AS Material, Tab_Schaeden.KOSTEN
```

```

FROM Tab_Durchmesser RIGHT JOIN (Tab_Material RIGHT JOIN
Tab_Schaeden ON Tab_Material.ID_Material = Tab_Schaeden.IDX_Mat) ON
Tab_Durchmesser.ID_DN = Tab_Schaeden.IDX_DN
GROUP BY Tab_Schaeden.Schadensjahr, Tab_Durchmesser.SC,
Tab_Material.SC, Tab_Schaeden.KOSTEN
HAVING (((Tab_Schaeden.Schadensjahr)=1999) AND
((Tab_Durchmesser.SC)=80) AND ((Tab_Material.SC)="AZ"));

```

Das Ergebnis ist eine Abfragetabelle mit der gewünschten Sicht auf die Daten.

Schadensjahr	DN	Material	KOSTEN
1999	80	AZ	13659
1999	80	AZ	31290
1999	80	AZ	32734
1999	80	AZ	36222
1999	80	AZ	53458
1999	80	AZ	57147

3.2 GEOINFORMATIONSSYSTEME (GIS)

3.2.1 ALLGEMEINES

Ein GIS dient der Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung aller Daten, die einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen technischen und administrativen Einrichtungen, sowie geowissenschaftliche, ökonomische und ökologische Gegebenheiten beschreiben [nach N. Bartelme (1997)].

Man unterscheidet verschiedene Arten von GIS:

Erfassungs-, Verwaltungs-, Analyse- und Präsentationssysteme. Letzteres leistet im Prinzip die Öffentlichkeitsarbeit für alle anderen Systeme. Erfassungssysteme kommen vor allem in Vermessungsingenieurbüros zur Anwendung. Verwaltungssysteme werden überwiegend in Ämtern (z.B. digitale Katastralmappe) eingesetzt.

Von einem Analysesystem spricht man, wenn fachspezifische Probleme durch spezielle Applikationen gelöst werden. Z.B. spezielle GIS-Programme zur Analyse und Prognose von Verkehrsaufkommen oder zur Schwachstellenanalyse für Rohrnetze.

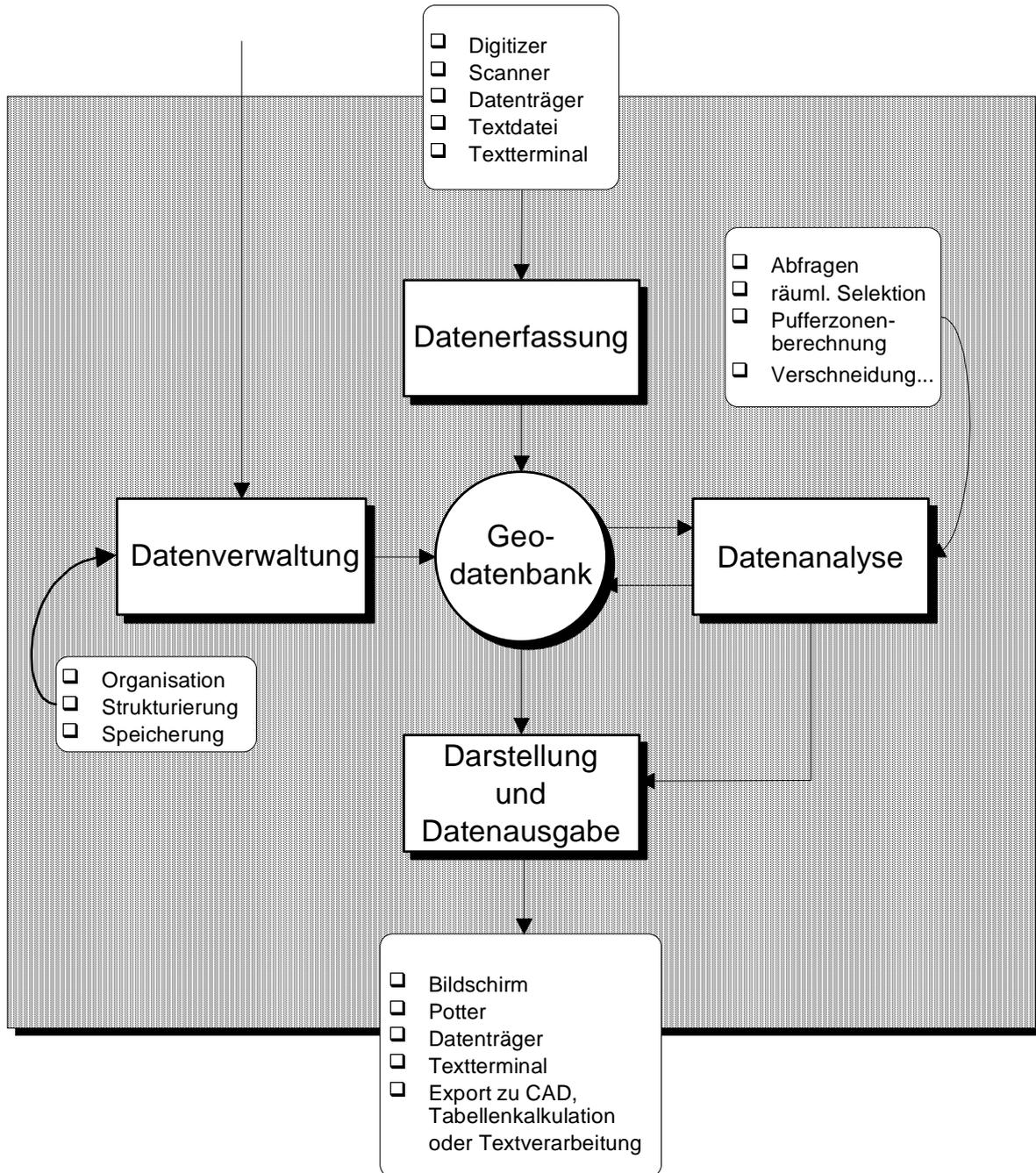


Abb. 3.2.1: Funktionsweise eines Geoinformationssystems [nach J. FÜRST (1990)]

Es gibt selbstverständlich auch Produkte, die zwei oder mehr Aufgabenbereiche abdecken können. Dazu zählen z.B. GIS-Programme für den Kommunalbereich. Sie können einerseits für die Verwaltung kommunaler Daten benutzt werden, zusätzlich beinhalten sie standardmäßig spezielle, für den Kommunalbereich wichtige Abfragefunktionen, wie z.B.: "Wie viele Haushalte sind von einem Wasserrohrbruch betroffen" [nach N. BARTELME (1997)].

Die Daten eines GIS beschreiben immer reale oder abstrakte Objekte unserer Umwelt. Diese Daten geben unterschiedliche Eigenschaften der zu beschreibenden Objekte wieder. Dies sind:

- ✗ Strukturelle Eigenschaften (Leistungsabschnitt)
- ✗ Geometrische Eigenschaften:
metrische (Anfangs und Endknoten) oder
topologische (z.B.: liegt in Billrothgasse)
- ✗ Thematische Eigenschaften (DN, Material,...)

Typisch für ein GIS ist der Wunsch Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Bausteinen zu erkennen, auszunutzen und gegebenenfalls aus elementaren Bausteinen höherwertige Gebilde schaffen zu können. Um den Überblick zu wahren ist es notwendig, Daten in Portionen einzuteilen. Solche Portionen können als Entitäten bezeichnet werden. Den Entitäten werden Attribute zugeordnet und sie können untereinander über Beziehungen (Relationen) verknüpft werden.

Für die Datenverwaltung im Geoinformationssystem (siehe Abb. 3.1.1) kommen nach N. BARTELME (1999) folgende Möglichkeiten in Frage:

- ✗ Relationale Datenbanken:
Sämtliche Objekteigenschaften, geometrische und thematische, werden in Tabellen gespeichert.
- ✗ Hybride (Duale) Datenbanken:
Nur die thematischen Daten werden in Tabellen gespeichert, für die geometrischen Daten werden proprietäre Dateien verwendet (z.B. ArcView®).
- ✗ Objektrelationale Datenbanken:
Als Basis dient eine tabellenartige Struktur, es werden jedoch auch Objekte (z.B. Pumpstation) erlaubt (z.B. SMALLWORLD®).
- ✗ Objektorientierte Datenbanken:
Hier wird eine eigene Beschreibungssprache für die Zusammenhänge zwischen den Objekten benötigt.

3.2.2 NETZINFORMATIONSSYSTEME

Seit einigen Jahren werden in immer mehr mitteleuropäischen Städten Geoinformationssysteme für die Verwaltung der unterirdischen Infrastruktur eingesetzt. Der Umstieg von der getrennten Verwaltung von analogem Planwerk (graphische Darstellung der Leitungen) oder digitalen CAD-Plänen und den zugehörigen Sachinformationen (in Akten/Karteien/Dateien/Datenbanken) auf Geoinformationssysteme ist eine zeit- und kostenaufwendige Aufgabe. Ist dieser Schritt erst einmal getan, so können die zahlreichen Vorzüge dieser Informationssysteme genutzt werden.

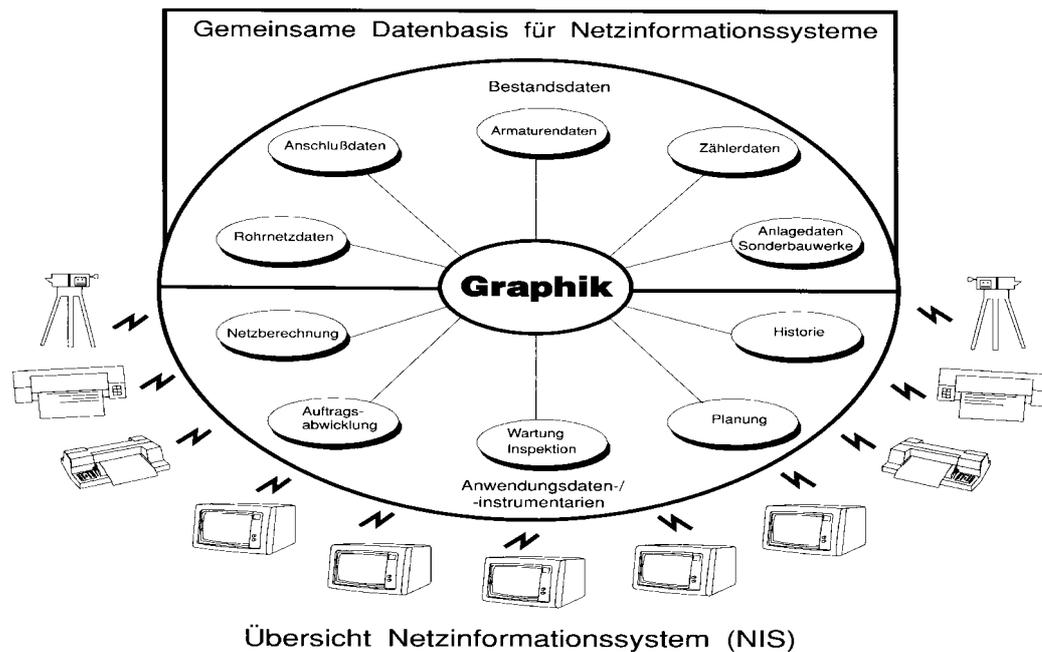


Abb. 3.2.2: Zusammensetzung eines Netzinformationssystems [aus Gas & Wasser digital 1 (1993)]

Es gibt derzeit mehrere Softwareanbieter, die speziell für Leitungsbetreiber ausgelegte Datenmodelle anbieten. Vom DVGW wurde diesbezüglich ein Prüfkatalog und Zertifizierungsinstrument (GAWANIS) erstellt, welches den Wasser- und Gasversorgungsbetrieben als Unterstützung bei der Softwareentscheidung dienen kann. Zu einem dieser GAWANIS-zertifizierten Systeme zählen die Fachschalen GAS und WASSER des SMALLWORLD® GIS. Derzeit wird bei den Grazer Stadtwerken als gemeinsames Netzinformationssystem aller Leitungsbetreiber (Gas, Fernwärme, Strom, öffentlicher Verkehr und Wasser) dieses Netzinformationssystem installiert.

Die Fachschale WASSER ist ein objektrelationales Datenmodell für die Konstruktion und Verwaltung sämtlicher Wasserversorgungsanlageanteile. Durch die Funktionalität des Geoinformationssystems können die Rohrnetzdaten dargestellt, analysiert und für viele unterschiedliche Fragestellungen ausgewertet werden. Dies geschieht zum Großteil über WEB-Arbeitsplätze.

4 DECISION SUPPORT SYSTEME (DSS) FÜR DIE REHABILITATIONSPLANUNG

Dieses Kapitel beschreibt die Einsatzmöglichkeit gängiger Softwareprodukte für die Entwicklung von Entscheidungshilfesystemen in der Rehabilitationsplanung. Die erforderlichen Anpassungen der Produkte für die Fragestellungen der Erneuerungsbedarfsprognose und Prioritätenreihung in der Erneuerungsplanung werden kurz beschrieben. Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Produkte werden aufgezeigt.

4.1 ALLGEMEINES

Die in Kap. 2 beschriebenen Rehabilitationsstrategien können nur bei umfangreicher Datengrundlage und unter Nutzung der modernen Informationstechnologie gezielt verfolgt werden.

Je mehr Informationen über ein Rohrnetz und dessen Zustand vorliegen, umso genauer kann der zukünftige Handlungsbedarf abgeschätzt werden. Aber nicht nur die Menge der verfügbaren Daten, sondern auch die Art wie diese gesammelt, verwaltet und gegliedert werden, spielt eine bedeutende Rolle. Das Optimum liegt hier sicher in der Verwaltung der Rohrnetzdaten in (Geo)Datenbanken und der damit verbundenen Auswertung und Darstellung mit Geoinformationssystemen. Denn nur diese ermöglichen die erforderlichen räumlichen Analysen.

Ziel dieser Arbeit soll somit sein auf (Geo)Datenbankbasis eine Applikation zu erstellen, die als Entscheidungshilfesystem bei der vorausschauenden Planung von Rehabilitationsmaßnahmen dienen kann.

Bei Entscheidungshilfesystemen sind Decision Support Systeme (DSS) von Expertensystemen zu unterscheiden. Unter Expertensystemen werden Systeme verstanden, die speziell für und von „Experten“ entwickelt und verwendet werden. Ein DSS hingegen soll auch „Nicht-Experten“ ermöglichen auf einfache, leicht verständliche Art, Probleme zu lösen [nach J. FÜRST (1990)].

Ein computergestütztes Entscheidungshilfesystem sollte verschiedene Bedingungen erfüllen. Es muss möglich sein, *Daten zu sammeln und zu verwalten*. *Mathematische Funktionen* oder *physikalische Gesetze* müssen bereitgestellt werden können. Verschiedene *Szenarien/Handlungsalternativen* sollen betrachtet und hinsichtlich ihrer Auswirkungen beurteilt werden können. Das heißt, die *Evaluierung von Maßnahmen* bzw. eine Szenarioanalyse muss möglich sein.

Dazu sind bei entsprechender Anpassung relationale Datenbanksysteme und Geoinformationssysteme mit relationaler Datenbankbasis gut geeignet. Bei Geoinformationssystemen können Bearbeitungen und Analysen der Daten, wie in jeder anderen relationalen Datenbank vorgenommen und zusätzlich einer räumlichen Analyse unterzogen werden.

4.2 GIS ALS DSS FÜR DIE REHABILITATIONSPLANUNG

Die Daten, die ein Rohrleitungsnetz und dessen Zustand beschreiben, weisen alle einen Raumbezug auf. Die Beschreibung des Netzes erfolgt einerseits über geometrische Daten, durch welche die Lage der Leitungen, der Armaturen usw. definiert wird und andererseits durch Sachdaten (Attribute), welche die Eigenschaften der Anlagenteile näher beschreiben. Zu diesen Sachdaten zählen beispielsweise das Rohrmaterial, die Nennweite, das Verlegejahr oder auch bereits erfolgte Reparaturen einer Leitung.

Fast alle in Kap. 2.5.1 angeführten Kriterien, die auf die Dringlichkeit der Leitungsrehabilitation Einfluss nehmen, wie hohe Schadensraten, geringer Versorgungsdruck, usw. sind ebenfalls raumbezogen. Die Ursachen, wie ungünstige Untergrundverhältnisse, innere und äußere Beanspruchung, Setzungen infolge anderer Baumaßnahmen oder Frost/Tauwechsel usw., für diese Schwachstellen weisen einen Lagebezug auf. Daher können Zusammenhänge zwischen Schwachstellen im Netz und äußeren Einflüssen ebenfalls erkannt und auch Ursachen anstelle von Symptomen bekämpft werden.

Geoinformationssysteme ermöglichen es, die meisten Teilschritte der zustandsorientierten Rehabilitationsplanung, die ja einen sehr stark räumlich orientierten Ansatz beinhaltet, durchzuführen. Allein für die in Kap. 2.5.2 erwähnte Netzzonenbildung und anschließende Bewertung dieser Zonen, ist ein GIS als Entscheidungshilfesystem äußerst wertvoll. Zum Teil sind die dabei erforderlichen Analysewerkzeuge standardmäßig in die GIS-Software integriert. So könnten zum Beispiel folgende Abfragen mit den meisten gängigen GIS-Systemen durchgeführt werden:

- ✗ In welchem Bezirk, Stadtgebiet, welchen Netzzonen gab es in den letzten 5 Jahren die höchsten Schadensraten?
- ✗ Welche Druckzonen/Leistungsabschnitte können derzeit nicht mit ausreichendem Druck versorgt werden?
- ✗ In welchen Leistungsabschnitten/Netzzonen wird mehr als ein Grenzwert der maßgebenden Rehabilitationskriterien überschritten?
- ✗ Wie sind die Untergrundverhältnisse in Regionen mit hohen Schadensraten?
- ✗ Welche Einflussfaktoren (Druckstöße, aggressives Erdreich,...) auf die Schadenshäufigkeit treffen für diese Bereiche zu?

Die entsprechenden Geodaten müssen jedoch vorhanden sein. Diese stehen bei vielen Wasserversorgungsunternehmen noch nicht zur Verfügung. Dies trifft im Moment auch noch für das Grazer Wasserversorgungsnetz zu. Die Situation wird sich jedoch in den nächsten Jahren durch den Aufbau von kommunalen Informationssystemen zunehmend ändern.

4.3 RELATIONALE DATENBANKSYSTEME ALS DSS FÜR DIE REHABILITATIONSPLANUNG

Relationale Datenbanksysteme, wie MS Access, bieten ebenfalls die Möglichkeit der Sammlung, Verwaltung und Analyse von Rohrnetzdaten. Der Vorteil der Verwendung dieses Datenbanksystems liegt in der Benutzerfreundlichkeit. Auch bei den Grazer Wasserwerken wird Access bereits seit längerer Zeit für Teile (z.B. Hausanschlüsse) der Datenverwaltung eingesetzt.

Manchmal wird Access als Datenbank mit AutoCad als Grafikprogramm als „selbstgestricktes“ GIS verwendet.

Für die Abschätzung des langfristigen Rehabilitationsbedarfes ist es, wie in Kap. 2.4 erwähnt, zweckmäßig zu versuchen, das Alterungsverhalten verschiedener Leitungsgruppen zu modellieren. Dazu sollten Bestandsdaten und Schadensaufzeichnungen, wenn diese vorhanden sind, in der Datenbank zusammengeführt werden. Die Integration der mathematischen Funktionen für die Modellierung des Alterungsverhaltens ist bei Datenbanksystemen durch entsprechende Anwendungsprogrammierungen möglich. In MS Access geschieht dies mit Hilfe der Programmiersprache Visual Basic. Als Benutzeroberfläche für die Eingabe von Daten und die Bedienung der Anwendung (Aufrufen von Funktionen, Darstellungen und Abfragen) können in MS Access Formulare verwendet werden.

Die Daten können, sofern sie entsprechend strukturiert wurden, auch mit den im GIS verwalteten Geodaten verknüpft und anschließend räumlich weiter bearbeitet und analysiert werden. Umgekehrt können aus dem GIS exportierte Daten mit der Access Applikation analysiert werden. Dies ist für die Analyse des Grazer Rohrleitungsnetzes von Bedeutung, da exakte Bestandsdaten erst nach Fertigstellung des GIS vorhanden sein werden. Weiters kann bei der Verwendung von Geodaten die Leitungsgruppenbildung auch nach lokalen Kriterien erfolgen.

5 DAS GRAZER ROHRNETZ – DIE AUSGANGSSITUATION

Das Kapitel gibt einen Überblick über das Grazer Wasserversorgungsrohrnetz und die Ausgangssituation für zukünftige Rehabilitationsplanungen. Die Erhebung der für eine vorausschauende Planung von Rehabilitationsmaßnahmen erforderlichen Daten, ist ein wesentlicher Teil dieses Kapitels. Dabei kommt der Bestandslängenerfassung, gegliedert nach Verlegejahren Durchmesser und Material, eine zentrale Bedeutung zu. Die Schadensstatistik des Wasserwerks dient als Ausgangsbasis für die Zustandsbetrachtung. Mögliche Ursachen für das unterschiedliche Schadensaufkommen der Rohrleitungen werden ebenfalls angeführt.

5.1 ALLGEMEINES

Derzeit wird bei den Grazer Wasserwerken die *ereignisorientierte Erneuerungsstrategie* verfolgt. Die auftretenden Schäden werden so rasch als möglich behoben. Die Auswechslung längerer Leitungsabschnitte erfolgt hauptsächlich auf Anlass von Fremdbaumaßnahmen. Aktive Erneuerungen wurden bis zum Jahr 2000 kaum durchgeführt. Bisher betrug die jährliche Erneuerungsrate im Schnitt etwas mehr als 0,15%. Im österreichweiten Vergleich (Wien 1% bis 1,5%, Salzburg 1,4%, Linz 0,5%) ist dies mit Abstand die geringste jährliche Erneuerungsrate [nach H. NICKL (1999)].

A. BÖHM (1993) empfiehlt zum Beispiel die in Tab. 5.1.1 angeführten Rehabilitationsraten in Abhängigkeit von der Schadensrate bzw. von den Verlusten.

Tab. 5.1.1: *Empfohlene Erneuerungsraten in Abhängigkeit von der Schadensrate und den Wasserverlusten [nach A. Böhm (1993)]*

Nennweite (DN)	Jährliche Erneuerungsrate in % der Rohrnetzlänge					
	Richtwert 1 Schadensrate S/km*a			Richtwert 2 Wasserverluste m ³ /h*km		
	0,5	0,5 bis 1	1	< 0,18	0,18 bis 0,36	> 0,36
≤ 80	1	2	3	1	2	3
100 bis 500	0,5	1	2	0,5	1	2
500	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1

Da in den letzten Jahren die jährlichen Schadensfälle kontinuierlich anstiegen, wird immer deutlicher, dass eine Erhöhung der Erneuerungsrate erforderlich ist.

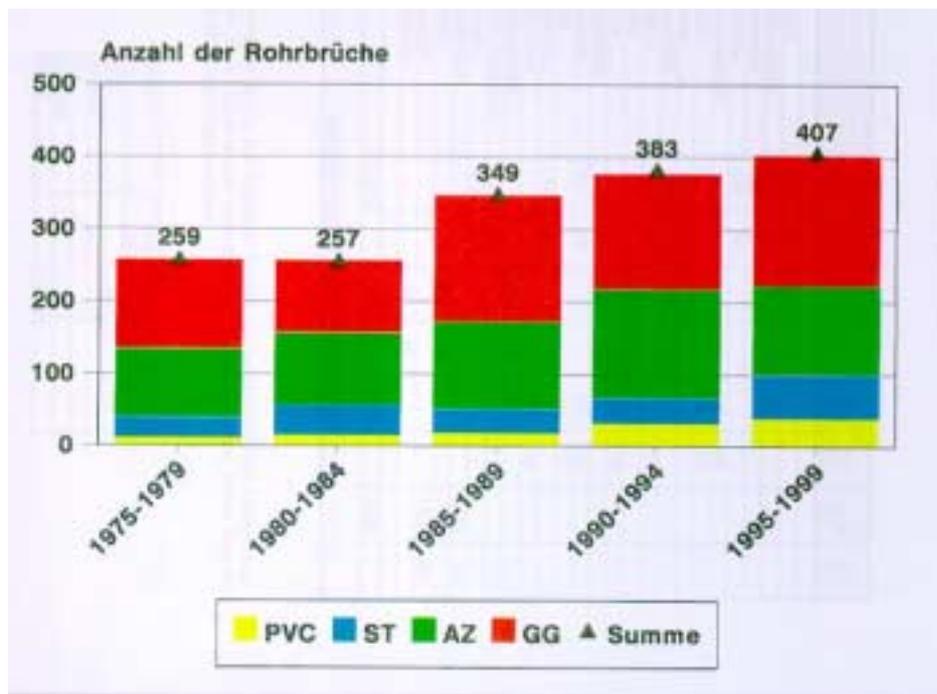


Abb. 5.1.1: Anstieg der Schadenshäufigkeiten im Grazer Rohrnetz [H. Nickl (1999)]

Ab dem Jahr 2001 sollen daher, abgeleitet aus der Schadensstatistik, vor allem die schadensanfälligsten Leitungen erneuert werden. Dazu zählen insbesondere Asbestzementleitungen, Stahlrohre, Kunststoffrohre $DN \geq 150$ und andere Leitungsschnitte mit besonders hohen Schadenshäufigkeiten. Die Erneuerungsmaßnahmen wurden bis ins Jahr 2006 vorausgeplant. Es handelt sich dabei um ca. 27 km Leitungslänge (Tab. 5.1.2). Bei einer Gesamtlänge des Grazer Rohrnetzes von ca. 750 km Versorgungsleitungen entspricht dies einer jährlichen Erneuerungsrate von 0,6%.

Eine Erhöhung der Erneuerungsrate ist kurzfristig mit einem zusätzlichen finanziellen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand lässt sich langfristig durch Einsparungen bei den Reparatur- und Instandhaltungskosten relativieren. Zusätzlich bewirkt die Aufschiebung des Erneuerungsbedarfes höhere Erneuerungserfordernisse in der Zukunft.

An die Stelle der ereignisorientierten Instandhaltung soll daher in Zukunft eine vorbeugende intervall- oder zustandsorientierte Erneuerungsstrategie treten. Dafür ist es notwendig, alle vorhandenen Informationen über das Grazer Rohrnetz, dessen Beschaffenheit und die, für die unterirdische Infrastruktur herrschenden Randbedingungen zu erfassen.

Tab. 5.1.2: Geplante Erneuerungen für den Zeitraum 2001 bis 2006 [H. Nickl (1999)]

Straße	AZ		ST		GG		PVC	
	Länge	DN	Länge	DN	Länge	DN	Länge	DN
	lfm	mm	lfm	mm	lfm	mm	lfm	mm
Lindenhofweg	280	100	290	100				
Am Dominikanergrund	540	100	70	50				
Fraungruberstraße	420	80						
Rossmanngasse	500	80						
Kaiser Franz Josef Kai					840	100		
Schönaugürtel					650	100		
Zusertalgasse	130	100						
Mariagrünerstraße	550	80	300	125				
Am Josefgrund	900	80						
Baiernstraße			1.000	150				
Keplerstraße					450	100		
Krottendorferstraße			1.650	100				
Neuholdaugasse	650	100			200	100		
Petersgasse					1.500	100		
Mariatrosterstraße	2.600	150						
Münzgrabenstraße					2.300	100		
Peter Roseggerstraße			200	100				
Waltendorfer Hauptstraße	2.500	125						
Stiftingtalstraße	3.500	125						
Petersbergenstraße							3.000	150
J. Poschstraße			450	150				
Statteggerstraße							1.000	250
Herbersteinstraße			700	50				
Summe	12.570		4.660		5.940		4.000	
Gesamtlänge alle Materialien 27.170 lfm								

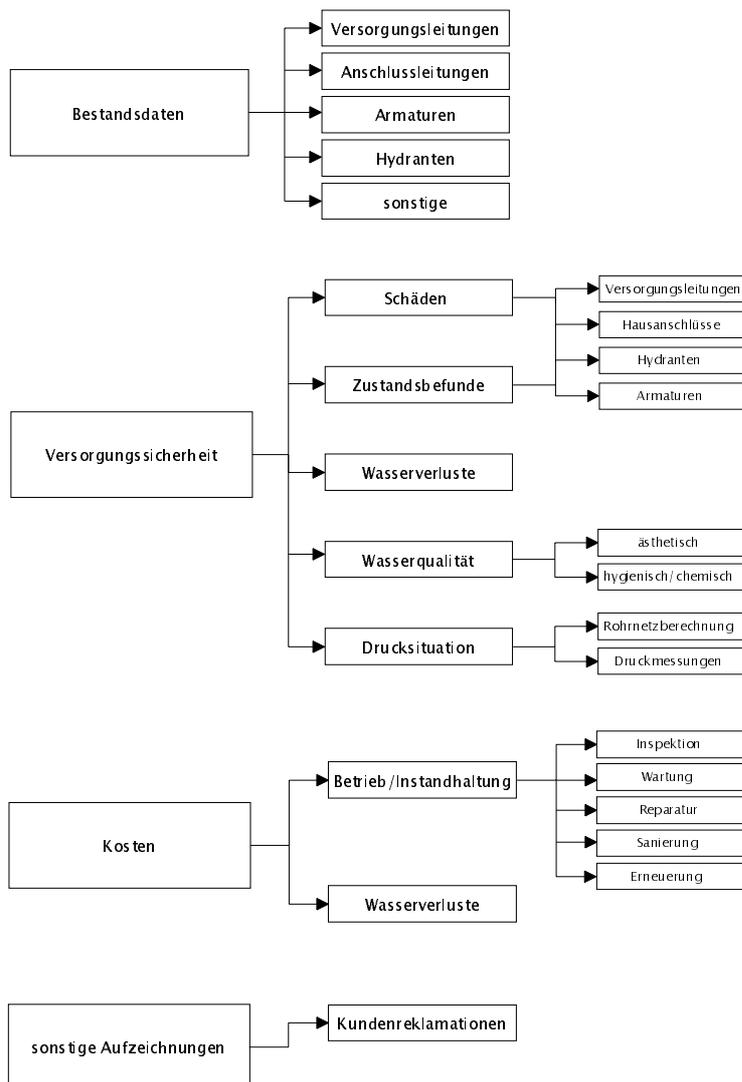
Im Zuge dieser Arbeit sollen unter anderem die langfristigen Rehabilitationserfordernisse an Grauguss- und Asbestzementleitungen mit kleinen Durchmessern ($DN < 150$) erarbeitet werden. Sie gelten nach bisherigem Wissensstand, nach den Stahlleitungen und den PVC Leitungen $DN \geq 150$, als die schadensanfälligsten Rohre. Viele Graugussleitungen zählen zu den ältesten in Graz verlegten Rohren. Ob dies ein Erneuerungsgrund ist, soll festgestellt werden.

Als erster Schritt wurde versucht Informationsmaterial zu erheben, das für die vorbeugende zustandsorientierte Erneuerungsplanung erforderlich bzw. von Interesse ist. Ziel war vorläufig, diese Informationen in ein einfaches Desktop-GIS (ArcView®) zu integrieren, um eine Zustandsbeurteilung von Netzzonen (z.B.: Druckzonen, Verlustmesszonen od. Ausbaubezirke) durchführen zu können. Vor allem die Schwachstellenanalyse inklusive der Ursachenerkennung mit einem Desktop-GIS als Entscheidungshilfesystem wurde dabei im Auge behalten. Die Festlegung von Richtwerten, der für die Schwachstellenanalyse erforderlichen Kennzahlen, kann später erfolgen. Vorab muss geklärt werden, ob das vorhandene Datenmaterial für diese Bearbeitungsmethodik geeignet ist.

5.2 DATENERHEBUNG

5.2.1 ALLGEMEINES

Abb. 5.2.1 zeigt überblicksmäßig, welche Informationen im Optimalfall für die zustandsorientierte Rehabilitationsplanung vorhanden sein sollten. Die Daten sollten im Sinne einer flexiblen Bearbeitbarkeit, in Datenbanken geführt werden und in Hinblick auf die erforderliche Netzzonenbildung und die Prioritätenreihung der Zonen georeferenzierbar sein. Eine zonenweise Auswertung der Daten sollte in jedem Fall gewährleistet werden. Falls entsprechende Zonen nicht vor der Datensammlung bereits gebildet wurden und die Daten nicht georeferenzierbar sind, ist eine zonenweise Auswertung der Daten nur mit erheblichem Aufwand möglich.



Da sich bei den Grazer Stadtwerken das GIS erst im Aufbau befindet, waren zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit die meisten Daten nicht räumlich strukturiert. Bei den Grazer Wasserwerken stehen folgende der, in Abb. 5.2.1 angeführten, erforderlichen Informationen teils analog/teils digital zur Verfügung:

- ✗ Bestandspläne (analog 1:1000 und 1:5000)
- ✗ Digitaler Rechenetzplan (AutoCad)
- ✗ Bestandskarteien - Versorgungsleitungen (VL) von 1939 – 1990
- ✗ Bestandslängendatenbank seit 1991 (incl. Zoneneinteilung)

Abb. 5.2.1: Erforderliches Datenmaterial für die zustandsorientierte Netzanalyse

- X Hausanschlussdatenbank (MS Access)
- X Schadensstatistik -Versorgungsleitungen (dBASE) seit 1974
- X Schadensstatistik - Hydranten seit 2000
- X Verluste Messzonen
- X Sonstige Kennwerte in den Messzonen (einmalig erfasst 1995)
(Verbrauch, Verluste, km Anschlussleitungen nach Material, km Versorgungsleitungen nach Material, Rohrbrüche)
- X Rohrnetzberechnung (Druckzonen – Pläne) verschiedene Lastfälle
- X Kosten für Betrieb und Instandhaltung aus dem SAP

Im Folgenden wird der Großteil dieser Dateien bzw. Karteien, Pläne und Datenbanken kurz beschrieben.

5.2.2 BESTANDSPLÄNE

Zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit lagen Bestandspläne fast ausschließlich in analoger Form vor.

Es existieren Pläne vom gesamten Rohrnetz im Maßstab 1:5000 und 1:1000. Die Angaben hinsichtlich Material und Durchmesser sind größtenteils vollständig. Die Verlegejahre allerdings wurden bisher nur vereinzelt in die 1:1000er Pläne eingetragen.

5.2.3 DIGITALER RECHENNETZPLAN

Der digitale Rechenetzplan ist ein vereinfachter Rohrnetzplan, in welchem alle Versorgungsleitungen $DN \geq 80$ enthalten sind. Eine Vereinfachung ist nach mündlicher Auskunft von Herrn DI WEINBAUER, Rohrnetzleiter der Grazer Wasserwerke, lediglich in Hinblick auf die Lagegenauigkeit gegeben.

Die 1:5000er Pläne wurden 1990 von Seibersdorf/Setec digitalisiert. Dieser Plan liegt als AutoCAD®-Plan vor und wird von der Fa. Setec für die Visualisierung der Ergebnisse der Rohrnetzberechnung verwendet. Die Rechenetzlängen der einzelnen Leitungsabschnitte, mit Durchmesser und Material, werden in einer eigenen Datenbank (SEBIS) geführt, die mit den CAD-Plänen verknüpft ist.

5.2.4 HAUSANSCHLUSSDATENBANK

Zur Verwaltung der Hausanschlussinformationen werden in einer MS Access Datenbank technische und kaufmännische Daten der Anschlüsse, mit über 50 Parametern beschrieben [H. NICKL (1999)]. Dazu zählen folgende Informationen:

- ✗ Anschlussnummer
- ✗ Bezirk
- ✗ Adresse (Straßenname und Hausnummer)
- ✗ Material und Durchmesser
- ✗ Datum der Erstellung
- ✗ Zeitpunkt des Erstanschlusses

Die Verlegejahre bzw. das erstmalige Verlegedatum in der Hausanschlussdatenbank können Auskunft über das Verlegejahr der zugehörigen Versorgungsleitung geben.

Schäden an Hausanschlüssen werden nicht aufgezeichnet. Hausanschlüsse werden bei einem Schadensauftreten immer sofort erneuert. Bleianschlüsse werden seit 1994 auch vorbeugend im Zuge von Straßenbauprojekten erneuert.

Die Anzahl der schadensanfälligen Rohre und vor allem der, bis ins Jahr 2013 aufgrund der Trinkwasserverordnung zu erneuernden, Bleianschlüsse wurde dadurch in den letzten Jahren bereits stark reduziert. Hausanschlusserneuerungen können auch Anlass für eine vorgezogene Erneuerung von Versorgungsleitungen sein.

5.2.5 SCHADENSSTATISTIK - VERSORGUNGSLEITUNGEN

Bei den Grazer Wasserwerken wird bereits seit 1974 eine Schadensstatistik für Versorgungsleitungen geführt. Sie enthält folgende Informationen:

- ✗ Adresse
- ✗ Bezirk
- ✗ Material
- ✗ Durchmesser
- ✗ Verlegejahr
- ✗ Schadenszeitpunkt
- ✗ Ursache (unvollständig)
- ✗ Reparaturkosten

Hinsichtlich der Empfehlung im DVGW–MERKBLATT W395 (1998) fehlen darin Angaben zur Schadensart (Riss, Bruch, Loch,..). Eine Angabe der Leitungsnummer, die eine direkte Zuordnung von Schäden zu einem Leitungsstrang ermöglichen würde, existiert derzeit ebenfalls nicht.

1997 wurde von Herrn DI WEINBAUER eine umfangreiche Schadensanalyse [P. Weinbauer (1997)] durchgeführt. Die Statistik wurde graphisch für die verschiedenen Materialien, Durchmesser, Straßenzüge, Verlegejahre und Bezirke hinsichtlich der Entwicklung von Schadenshäufigkeiten ausgewertet. (siehe Abb. 5.1.1).

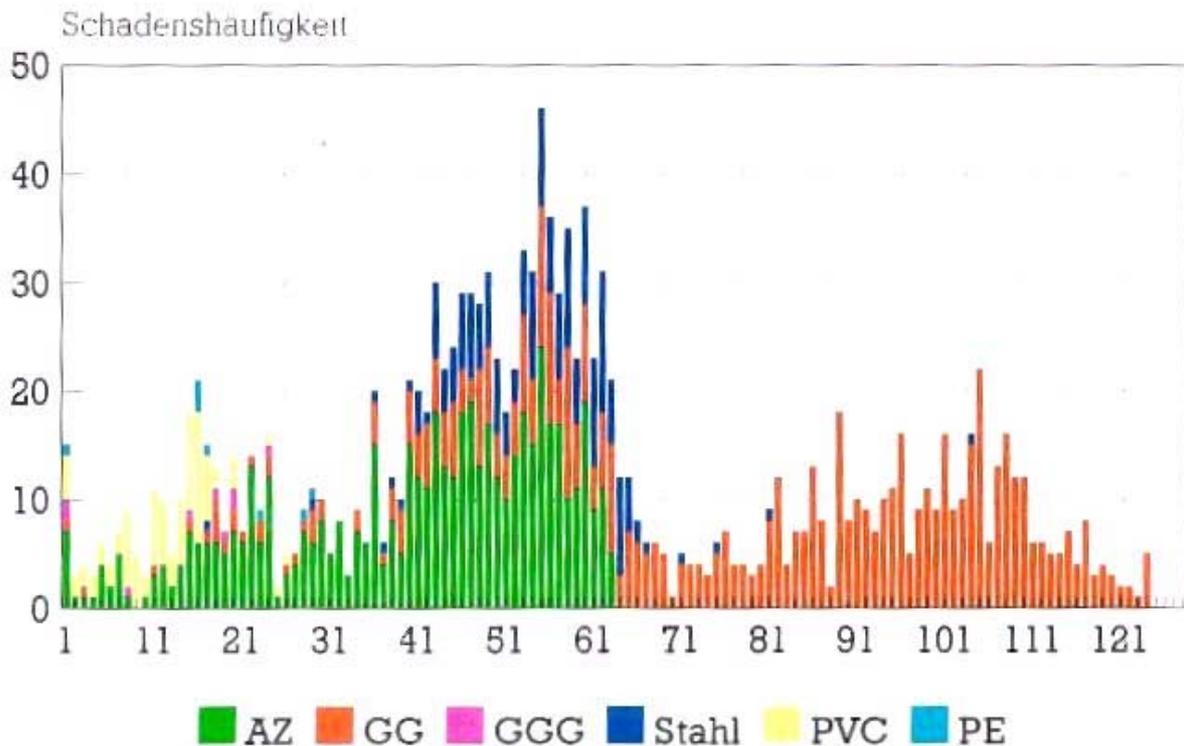


Abb. 5.2.2: Schadenshäufigkeiten je Alter und Material [aus P. Weinbauer (1997)]

Die Schadenshäufigkeiten haben aber nur bedingte Aussagekraft. Ein direkter Vergleich der Schadensanfälligkeit von Rohrtypen ist nicht möglich. Hierfür müssen die Schadensraten, das sind auf die jeweiligen Leitungslängen der Leitungsgruppe bezogene Schäden, ermittelt werden. Für Straßen mit hoher Schadenshäufigkeit wurde die Stranglänge und anschließend die Schadensrate der Stränge ermittelt. Daraus ergab sich auch die Prioritätenliste hinsichtlich der Erneuerung, die in Tab. 5.1.2 dargestellt ist.

Bezüglich des Schadensaufkommens der unterschiedlichen Materialien wurde in P. Weinbauer (1997) unter anderem folgendes festgehalten:

x GG:

Der Jahrgang 1872 weist eine hohe Schadenshäufigkeit auf.
Die Schäden nehmen mit zunehmender Nennweite ab.

- ✗ **AZ:**
Da 50% der bisher aufgetretenen Schäden an AZ – Rohren die Jahrgänge 1930 – 1939 betreffen, sollen diese Rohre mit einer Gesamtlänge von 70km nach einem mehrjährigen Plan ersetzt werden.
- ✗ **Stahlrohre** weisen die höchste Schadensrate auf. Die Leitungen müssen dringend erneuert werden.
- ✗ **Kunststoff:**
Bei PVC Rohren nehmen die Schäden mit zunehmender Nennweite stark zu.

5.2.6 BESTANDSKARTEIEN – UND DATEIEN

Vor 1910 gibt es 2 Angaben zur Gesamtnetzlänge. Ab 1910 wurde die Gesamtnetzlänge jährlich angegeben. Von 1939 bis 1989 wurden Karteikarten über die Zu- und Abgänge von Versorgungsleitungen geführt. Weiters existieren A5-Hefte in denen die Verlegedaten ebenfalls niedergeschrieben wurden. Seit 1990 werden alle jährlich verlegten und herausgenommenen Leitungslängen in einer Access Datenbank geführt, welche das Karteikartensystem ersetzt.

Tab. 5.2.1: *Gliederung der Bestandskarteien*

Materialunterscheidung	AZ, Guss (GG u. GGG) Kunststoff (PE und PVC) ST
Durchmesser	Von DN 25 bis DN 900
Länge	[m]
Auftragsnummer (AANr)	
Ort	Straßenname ab 1949
Zu/Ab	+ / -

Die Karteien wurden nach Material und Durchmesser unterteilt. Ab 1949 wurde in den einzelnen Karteiblättern eine laufende Nummer, eine Ortsbezeichnung (z.B. die Straße, in der die Leitung verlegt bzw. aus der die Leitung ausgebaut wurde), die einzelnen Verlege- bzw. Ausbaulängen in Metern und die Gesamtlänge des Rohrtyps am jeweiligen Jahresende geführt.

5.2.7 KENNWERTE MESSZONEN A-H

5.2.7.1 Verluste

Zur besseren Quantifizierung der Wasserverluste wurden im Zeitraum von 1988 bis 1992 insgesamt 8 Messzonen im Raum Graz angelegt. Die Nachtverbräuche werden in diesen Zonen einmal monatlich analysiert. Die Dauer zwischen Eintritt und Auffindung von Schäden konnte in diesen Zonen erheblich reduziert werden. Die Höhe und die Entwicklung der Verluste werden daraus ebenfalls regelmäßig abgeleitet.

Für das Gesamtnetz liegen die Verluste seit 1989 unter dem, in der ÖVGW-Richtlinie W 63 für die Grazer Bodenverhältnisse geforderten, $0,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{km}$.

5.2.7.2 Sonstige Kennwerte und Rohrnetzinformationen

1995 wurden einmalig folgende Kennwerte für sämtliche Messzonen zusammengestellt:

VERBRAUCH

Einwohner	6.500	Qmittel-m ³ /d	1.246,17
Einspeisemenge m ³ /a 1995	454.854,9	Qschleich-m ³ /h	2,00
Verbrauchsmenge m ³ /a 1995	391.435,0	Qnacht-m ³ /h	2,60
		Qmin-m ³ /h	6,90

Einspeisepunkt :	Papierfabrikgasse / Weinzöttlstraße		
Einspeisepunkt :	Am Andritzbach / Wasserwerk-gasse		
WZ-DN : 150	Einbaujahr : 1994	WZ-NR : 4874578	WZ-ORT : Papierfabrikgasse
WZ-DN : 150	Einbaujahr : 1994	WZ-NR : 484759	WZ-ORT : Am Andritzbach

VERTEILUNG

VERSORGUNGSLEITUNGEN

Material	Länge-km	Baujahr	Durchschnittliches Leitungsalter
AZ	14,98	1932-1980	39,0 Jahre
GGG	1,89	1980-1994	8,0 Jahre
KST	3,11	1977-1983	15,0 Jahre
Gesamtlänge	19,98		
Durchschnittliches Leitungsalter			32,3 Jahre
VL-Brüche aus 1995	4		

6,71 km AZ-Leitungen wurden in den Jahren 1932-1942 verlegt. 1,1 km AZ-Leitungen wurden 1933 übernommen "Staudachersiedlung)! In dieser Meßzone ist ein außergewöhnlich hoher AZ-Anteil gegeben.

ANSCHLUSSLEITUNGEN

Material	Anzahl	Länge-km	Baujahr	Anzahl
unbekannt	2	unbekannt	< 1930	1
AZ	2	0,03	1930-1939	58
CU	13	0,11	1940-1949	23
FE	20	0,26	1950-1959	64
GG	2	0,02	1960-1969	152
GGG	3	0,09	1970-1979	257
KST	621	8,38	1980-1989	98
PB	67	1,01	1990-1999	77
Anzahl :	730	Gesamtlänge :	9,89	

AL-Brüche aus 1995

ABNEHMERSTRUKTUR

Wohnobjekte, Gewerbebetriebe, Gastronomiebetriebe, Maschinenfabrik Andritz, 2 Bäckereien, 3 Schulen, 1 Schülerhort, 2 Kindergärten, DEA-Rohrerberg, DEA-Pfangberg, 5 Wassergenossenschaften, 1 Behindertenzentrum, 1 Gehörlosenzentrum und 1 Jugendzentrum.

Stand AL-DATEN am 07.05.1996

Abb. 5.2.3: Kennwerte der Messzone F des Grazer Rohrnetzes [P. Weinbauer (1996)]

Aufbauend auf diese Untersuchungen kann derzeit für Graz eine Reihung dieser Messzonen hinsichtlich Erneuerungs- bzw. Untersuchungspriorität wie folgt durchgeführt werden:

- ✗ Schadensraten je Materialgruppe (AZ, ST, GG, GGG) für das Gesamtnetz ermitteln.
- ✗ Mittlere theoretische Schadensrate der Messzonen berechnen.

$$Sr_m = \frac{\sum_{i=1}^n l_i * Sr_i}{l}$$

wobei: Sr_m [S/km*a]..... Mittlere theoretische Schadensrate der Messzonen

Sr_i [S/km*a]..... Schadensrate der Gruppe im Gesamtnetz

l_i [m]..... Länge einer Gruppe in der betrachteten Zone

l [m]..... Gesamtleitungslänge der Zonen

- ✗ Reihung der Zonen nach der mittleren theoretischen Schadensrate.

Tab. 5.2.2: Berechnung der theoretischen Schadensraten und Reihung der Messzonen

	AZ			GG			PVC			GGG			ST			Gesamt- länge Zone (l)	S _{rm}	Rei- hung
	f(VJ) l[km]	S _{ri}	li*S _{ri}															
A	0,89	0,03	0,03	9,41	0,20	1,88	0,10	0,01	0,00		0,00	0,00			0,00	10,40	0,18	2
B	5,84	0,11	0,64	9,06	0,20	1,81	1,31	0,10	0,13	0,55	0,00	0,00	0,46	0,94	0,43	17,22	0,18	2
C	2,45	0,11	0,27	0,25	0,05	0,01	0,22	0,00	0,00		0,00	0,00	0,30	0,94	0,28	3,22	0,18	2
D	1,78	0,08	0,14	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	29,56	0,00	0,00			0,00	33,20	0,00	8
E	3,00	0,06	0,18	0,00	0,00	0,00	0,89	0,09	0,08	3,06	0,00	0,00	4,74	0,94	4,46	11,69	0,40	1
F	14,98	0,10	1,50	0,00	0,00	0,00	3,11	0,10	0,31	1,89	0,00	0,00		0,00	0,00	19,98	0,09	6
G	20,82	0,10	2,08	2,64	0,17	0,45	3,19	0,08	0,26	5,93	0,00	0,00	0,21	0,94	0,20	32,79	0,09	6
H	14,90	0,11	1,64	5,85	0,18	1,05	0,81	0,07	0,06	4,88	0,00	0,00	0,59	0,94	0,55	27,03	0,12	5

Bessere Aussagen können erst getroffen werden, wenn für sämtliche Teilgebiete des Netzes das lokale Schadensaufkommen ermittelt werden kann.

5.2.8 VERSORGUNGSDRUCK

Die, von der Fa. Setec durchgeführte, Rohrnetzberechnung wurde im Frühjahr 2000 abgeschlossen und gibt Aufschluss über Bereiche des Rohrnetzes, in denen Druckprobleme bestehen.

Als Schwachstelle hinsichtlich Versorgungsdruck ist die Druckzone Ölberg angeführt. Eine Verstärkung des Hauptverteilungsnetzes ist notwendig.

5.3 ZUSAMMENFASSUNG

In Graz sind, durch das Rohrnetz hervorgerufene, Qualitätsmängel (Trübungen, etc.) nach Auskunft der Wasserwerke nicht vorhanden und scheiden daher als Rehabilitationskriterium aus. Wie aus der Rohrnetzberechnung ersichtlich wird, sind auch Druckprobleme nicht als vorrangiger Rehabilitationsgrund anzusehen.

In Hinblick auf die maßgebenden technischen Rehabilitationskriterien:

- ✗ Strukturelle Mängel,
- ✗ Wasserqualität und
- ✗ Betriebsdruckunterschreitungen,

ist in Graz aber vor allem das örtlich und in Abhängigkeit von Material und Durchmesser stark unterschiedliche Schadensaufkommen ein wesentlicher Anhaltspunkt für mögliche Rehabilitationserfordernisse. Anhand der vorhandenen langjährigen Schadensstatistik können Untersuchungen über die Schadensanfälligkeit einzelner Rohrtypen vertieft werden. Wichtig ist dabei die Lokalisierung von schadensauffälligen Netzbereichen mit dem Ziel der Ursachenerkennung.

Als erste grobe Abschätzung der Ursache für das unterschiedliche Schadensaufkommen können die, in Tab. 5.3.1 aufgelisteten, werkstoffabhängigen Anfälligkeiten in Frage kommen. Die einzelnen Einflüsse sind jedoch örtlich verteilt sowie durchmesserabhängig. Hinsichtlich der inneren Beanspruchung durch werkstoffangreifende Stoffe sind die Rohre durch die Ausbildung einer „Kalkschuttschicht“ infolge des kalkhaltigen Grazer Wassers geschützt. Die Angreifbarkeit durch Streuströme und aggressiven Untergrund hängt selbstverständlich von den einzelnen aktiven und passiven Schutzmaßnahmen ab. Duktilguss wurde dahingehend besser bewertet, da die Schutzmaßnahmen heute meist intensiver sind, als bei früher eingesetzten Werkstoffen. Als schadensanfälligstes Material geht auch aus dieser Grobeinschätzung Stahl alt hervor.

Tab. 5.3.1: *Mögliche Schadensanfälligkeit in Abhängigkeit vom Werkstoff in Graz*
(Punkte: nein 0; teilweise 0,5; ja 1; stark 2)

Einwirkung	Duktilguss neu	Grauguss	AZ	Stahl alt	PVC
Innere Beanspruchung					
+ Druckstöße	Nein	teilweise	teilweise	Nein	Stark
+ werkstoffangreifende Stoffe	Nein	Nein	Nein	teilweise	Nein
Äußere Beanspruchung					
+ Streustrom	teilweise	Ja	Nein	Stark	Nein
+ aggressiver Untergrund	teilweise	Ja	Ja	Stark	teilweise
+ Verkehrsbelastung	teilweise	Ja	Ja	Ja	Ja
+ Bodenbewegungen (Frost, Hangrutschungen, Setzungen)	Ja	Ja	Stark	Ja	Stark
Gesamtpunktezahl	2,5	4,5	5,5	6,5	5,5

Durch eine Visualisierung der Schäden in einem GIS könnten diese Annahmen verifiziert und örtlich zugeordnet werden. Spezielle Schadensherde (z.B. im Bereich von Pumpstationen) könnten lokalisiert werden. Die Bildung von Leitungsgruppen mit ähnlichem Nutzungsdauerverhalten müsste sich dadurch nicht nur auf die Material- und Durchmesserereigenschaften stützen. Andere Einflüsse, wie Verkehrsbelastungen oder aggressives Erdreich könnten besser ersichtlich werden.

Als nächster Schritt wurde somit versucht, das Datenmaterial (Schadensstatistik, Rechnetzplan) in ein Desktop-GIS (ArcView®) zu integrieren, da bei den Grazer Stadtwerken zu diesem Zeitpunkt noch kein eigenes GIS zur Verfügung stand.

6 UNTERSUCHUNG ZUR VERWENDBARKEIT EINES DESKTOP-GIS ALS DSS

Dieses Kapitel beschreibt die Untersuchung über die Verwendbarkeit der Dateien, Karteien und Netzpläne über das Grazer Wasserrohrnetz in einem Desktop-GIS (ArcView®) für die Verfolgung der zustandsorientierten Rehabilitationsstrategie, im Sinne der dafür erforderlichen, räumlich gegliederten Rohrnetzanalysen.

6.1 ALLGEMEINES

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit gab es bei den Grazer Wasserwerken, wie erwähnt, noch kein Geoinformationssystem und auch keine sonstigen nach räumlichen Gesichtspunkten strukturierten Aufzeichnungen. Das Ausschreibungsverfahren für die Anschaffung eines gemeinsamen Netzinformationssystems der Grazer Stadtwerke war gerade in der Anfangsphase.

Daher wurde versucht den digital vorliegenden Rechenetzplan in ein einfaches Desktop-GIS (ArcView®) zu integrieren und mit der Schadensstatistik zu verknüpfen, um das räumliche Schadensaufkommen und dessen Ursachen analysieren zu können.

6.2 VERWENDBARKEIT RECHENNETZPLAN

Der, von der Fa. Setec erstellte, Rechenetzplan war zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit das einzige digital vorliegende Planmaterial. Der Rechenetzplan ist hinsichtlich der Zonenbildung und Zonenbewertung und für einen Soll/Ist Vergleich von Kennzahlen ausreichend genau.

Die graphischen Daten liegen als dwg-File, die Attributdaten als tabellarischer Auszug aus der Datenbank (SEBIS) vor. Die Attribute Material und Durchmesser sind auf die Leitungsnummer bezogen.

Tab. 6.2.1: Attribute der SEBIS Datenbank für die Rohrnetzberechnung

STRANG	VON-BIS	KNOTEN A	KNOTEN E	DN	MATERIAL
58	739-762	739	762	250	GG
59	722-739	722	739	350	AZ
60	720-722	720	722	700	ST
61	739-740	739	740	350	AZ

Die Material- und Durchmesserangaben konnten in ArcView® jedoch nicht direkt mit der Geometrie der Leitungen verknüpft werden, da der Linienlayer des AutoCAD-Plans die Nummerierung der Leitungen nicht enthielt (siehe Attributes of Graznetz.shp Entity Line in Abb. 6.2.1). Die Leitungsnummer sowie die Attributdaten lagen lediglich als Text vor.

Aus diesem Grund wurde die in ArcView® standardmäßig vorhandene Funktion Join (Shape Line on Shape Text) angewandt. Diese Funktion bewirkt eine Verknüpfung des nächstgelegenen Textes mit der Linientopologie der Leitungen. Die Texte werden als Attribut Text in die Attributtabelle der Linientopologie angefügt (Abb. 6.2.2).

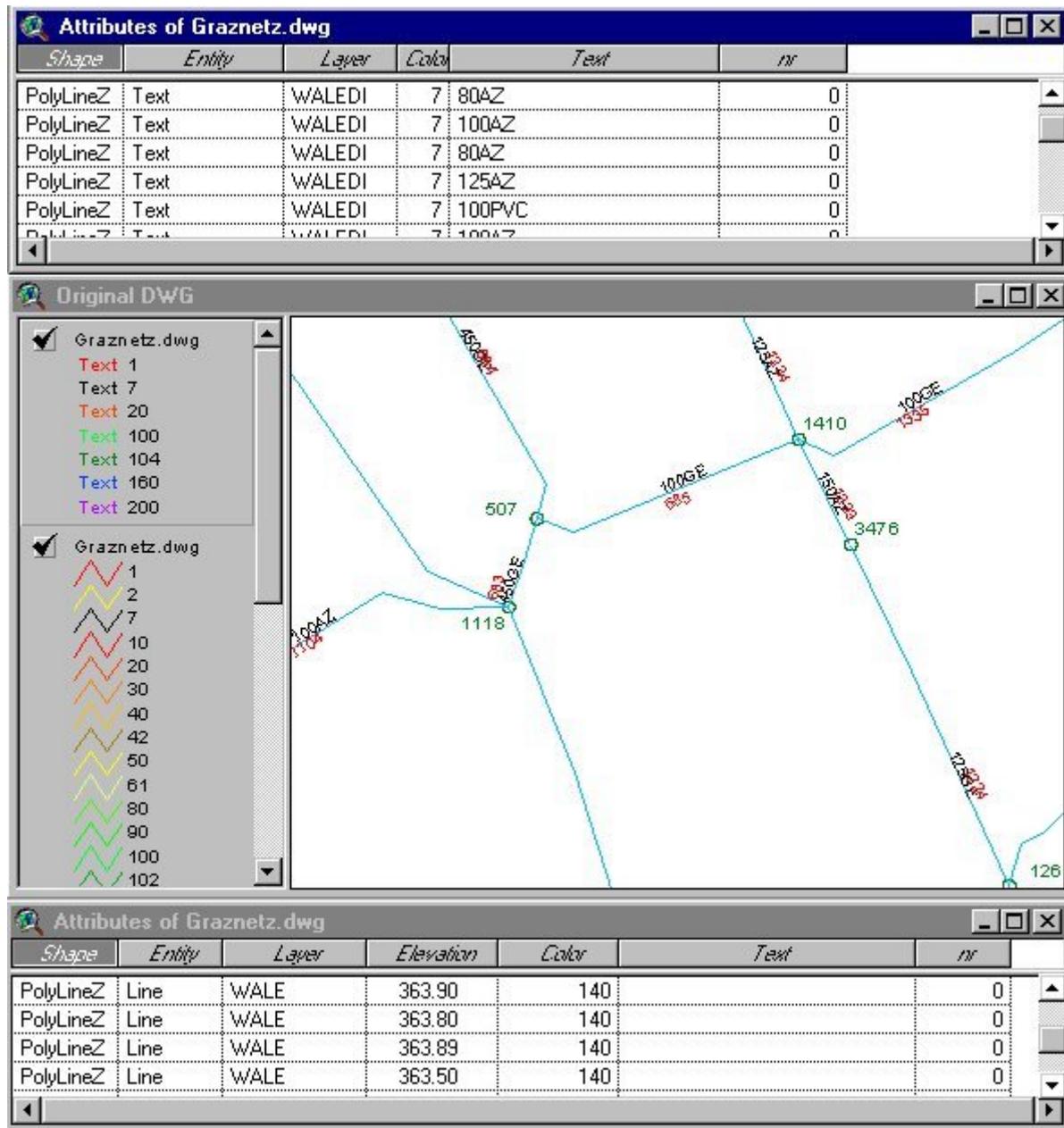


Abb. 6.2.1: ArcView® Grafik und Attributtabelle bei Verwendung des Rechnetzplanes

Eine Aufspaltung des Textes in ein Attribut Material und ein eigenes Attribut für den Durchmesser konnte über eine Anwendungsprogrammierung (Avenue®) gelöst werden.

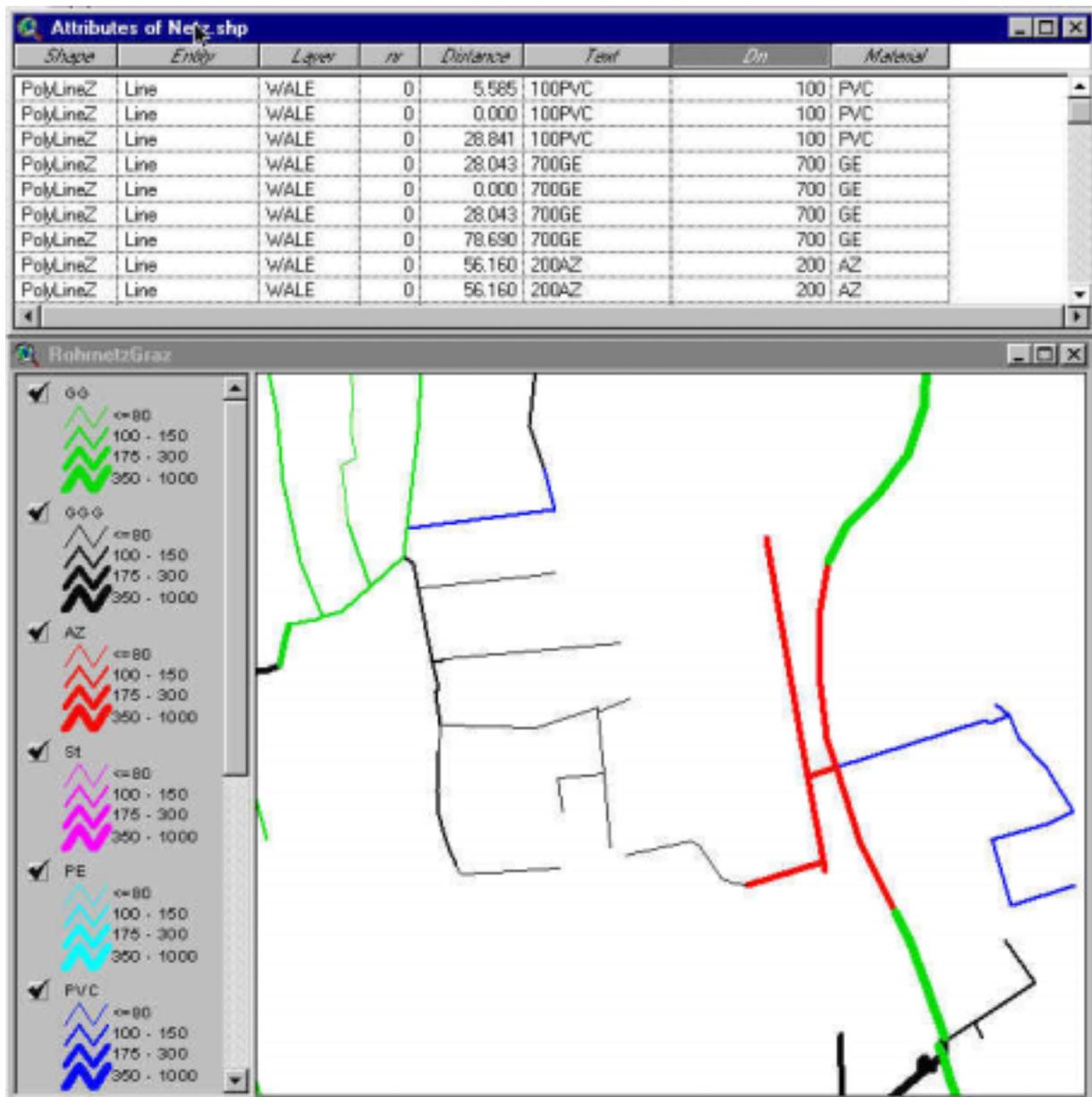


Abb. 6.2.2: Grafik (Netz.shp) und Attributtabelle der Leitungen des Rechnetzplanes nach Verknüpfung des Textes mit der Liniengeometrie der Leitungen

Der Wert in der Spalte Distance gibt den Abstand zum verwendeten Text an. Bei der automatischen Zuordnung entstehen gravierende Fehler, die im nachhinein korrigiert werden müssen.

6.3 LOKALISIERUNG VON SCHÄDEN

Durch die Adressierung der Schäden in der Schadensstatistik ist, bei einer Verwendung der Adressengeometrie des digitalen Stadtplanes der Stadt Graz, eine grobe Lokalisierung dieser Schäden im Netz möglich. Mit der ArcView® Funktion Join wird diesmal die Information aus der Statistik der Adressengeometrie zugeordnet.

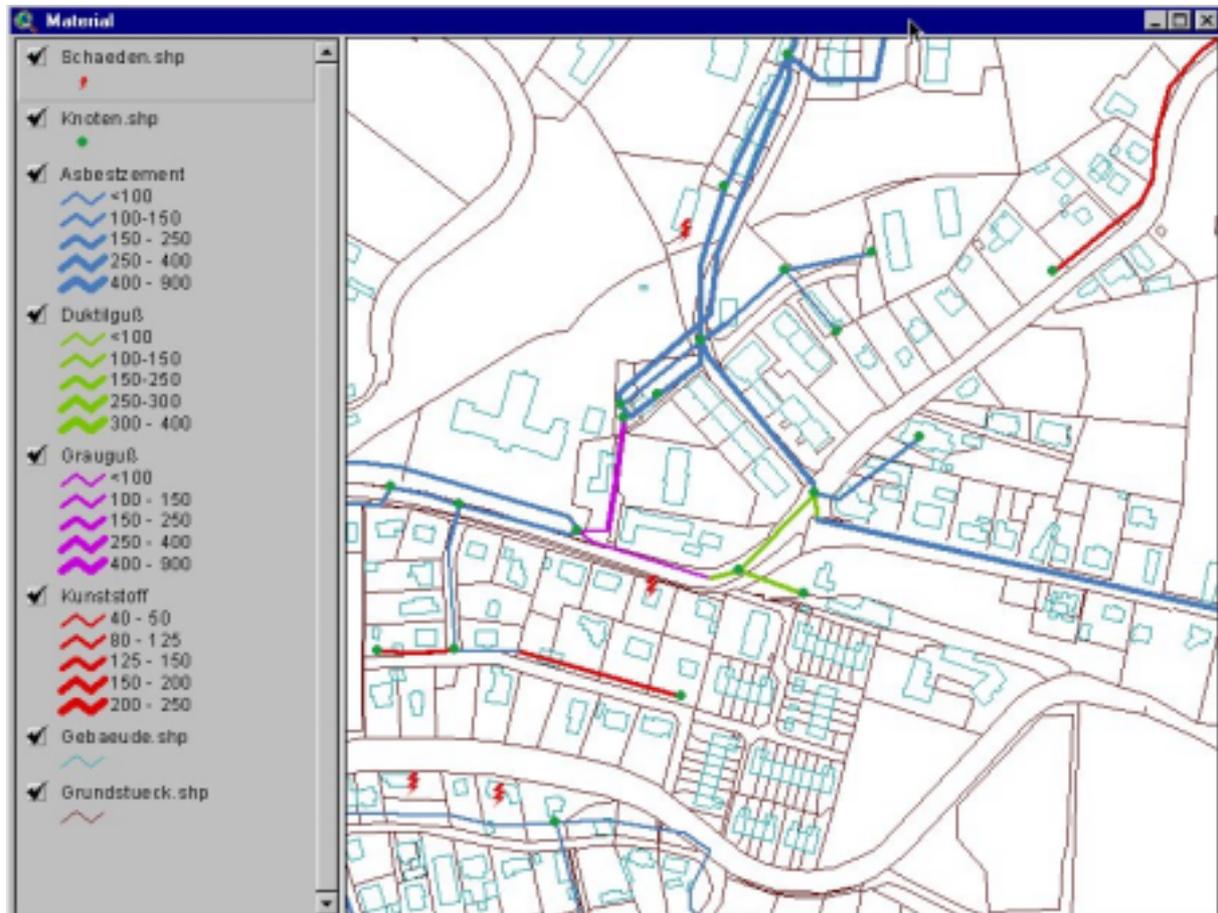


Abb. 6.3.1: Grobe Lokalisierung von Schäden über die Adresse aus der Schadensstatistik

Fehler:

- ✗ An einer Adresse mehrfach aufgetretene Schäden werden nicht erkannt. Dies wäre jedoch mit Hilfe der ArcView® Funktion Link möglich.
- ✗ Eine eindeutige Zuordnung der Schäden zu einem Strang und somit die Berechnung einer strangbezogenen Schadensrate ist nicht möglich.

6.4 ZUSAMMENFASSUNG

Der Versuch für erste räumliche Analysen, mit Hilfe des Rechnernetzplanes vor allem das Schadensaufkommen georeferenziert darzustellen und auszuwerten, konnte zu diesem Zeitpunkt nicht erfolgreich abgeschlossen werden. Es erwies sich als nicht zweckmäßig, mit den Ausgangsdaten des Grazer Rohrnetzes zu diesem Zeitpunkt

das DSS mit GIS–Unterstützung zu erstellen. Der Aufwand für die Anpassung der Daten wäre nicht in Relation zum erzielten Erfolg gestanden. Die umfangreiche Aufbereitung der vorhandenen Rohrnetzdaten wurde abgebrochen, da durch die Einführung des Netzinformationssystems SMALLWORLD® GIS bei den Grazer Stadtwerken bis Ende 2002 die entsprechenden Daten erzeugt werden.

Aus diesem Grund wurde ein anderer Lösungsweg bevorzugt.

Die Bestandsdaten und die Schäden wurden in einer relationalen Datenbank zusammengeführt. Darüber hinaus wurden Alterungsfunktionen der Zuverlässigkeitstheorie in das Datenbanksystem integriert. Ziel ist, damit den langfristigen Rehabilitationsbedarf abzuschätzen, um erforderliche Budgetbereitstellungen ableiten zu können. Die Bestandsdaten werden erfasst und die Altersstruktur des Netzes und einzelner Rohrtypen wird besser erkennbar. Die zu erwartenden Rehabilitationserfordernisse werden dadurch langfristig quantifizierbar.

7 DSS FÜR DIE STRATEGISCHE PLANUNG VON REHABILITATIONEN (PIREP)

Dieses Kapitel beschreibt das im Zuge dieser Arbeit entwickelte DSS mit dem Namen PiReP (Pipe Rehabilitation Planning System) für

- die Verwaltung von Bestandsdaten und Schäden von Versorgungsleitungen,
- die Gruppierung von Leitungen mit ähnlichem Nutzungsdauerverhalten,
- die Ermittlung der Trendfunktion der Schadensrate verschiedener Leitungsgruppen,
- die Schätzung der Alterungsparameter der Leitungsgruppen,
- die Prognose des langfristigen Rehabilitationsbedarfs der Leitungsgruppen und des Gesamtnetzes,
- den Vergleich der Auswirkungen auf die Rohrnetzalterung durch die jeweilige Umsetzung des prognostizierten Bedarfs sowie
- die Ermittlung vorrangig zu erneuernder Leitungsabschnitte

Das DSS wurde auf Basis einer Access Datenbank erstellt. Als Datengrundlage dienten - wie erwähnt - die, bei den Grazer Wasserwerken über die Leitungsverlegung seit 1872 geführten, Aufzeichnungen/Karteien/Dateien und die in den letzten 25 Jahren aufgezeichneten Schadensdaten.

Die Grundlage für die Ermittlung des langfristigen Rehabilitationsbedarfes ist die Modellierung der Alterung verschiedener Rohrtypen. Die für die Modellierung erforderlichen Alterungsfunktionen nach HERZ (siehe Kap. 2.4.1) können mit Unterstützung von PiReP kalibriert werden.

Die Bildung von Leitungsgruppen, die alterungsspezifische Schadensauswertung, die Schätzung der Alterungsparameter und die Modellierung des Rehabilitationsbedarfs wurde durch umfassende Anwendungsprogrammierung realisiert.

PiReP beinhaltet insgesamt 5 Module, die im Folgenden näher erläutert werden. Die praktische Anwendung der einzelnen Module von PiReP wird anhand des Rohrnetzes der Stadt Graz veranschaulicht.

7.1 FUNKTIONSPRINZIP PIREP

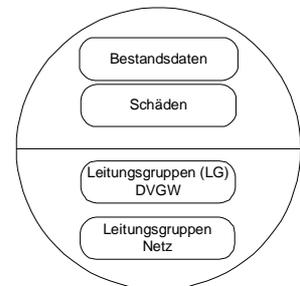
Das Entscheidungshilfesystem wurde, wie erwähnt, auf Basis des relationalen Datenbanksystems MS Access mit Hilfe umfassender Anwendungsprogrammierung (Visual Basic) realisiert. Im folgenden wird das Prinzip der Modellierung des Rehabilitationsbedarfs mit PiReP beschrieben. Das Datenbankschema (Tabellen, Beziehungen, Abfragen, Diagramme) ist in Anhang B aufgelistet.

7.1.1 PRINZIP DER REHABILITATIONSPLANUNG MIT PIREP

Die Anwendung PiReP beinhaltet für die Ausführung der strategischen Planung von Rehabilitationsmaßnahmen insgesamt 5 Module, die über MS Access Formulare bedient werden. In Abb. 7.1.1 ist das Prinzip der Modellierung des Rehabilitationsbedarfs mit PiReP dargestellt.

Die Bedeutung der Symbole des Flussdiagramms ist folgende:

Datenbank



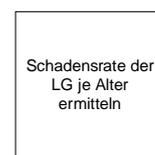
Systemfunktion

Modul für einen Teilschritt im Planungsablauf, meist gleichbedeutend mit einem Formular



Prüfung

Tätigkeit, auf Grund des Ergebnisses wird eine Entscheidung getroffen



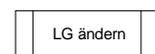
Entscheidung

Frage, die je nach dem ob sie mit Ja oder Nein beantwortet wird, eine Entscheidung beeinflusst



Verfahren

auf Grund einer Entscheidung, auszuführende Tätigkeit



Externer Vorgang



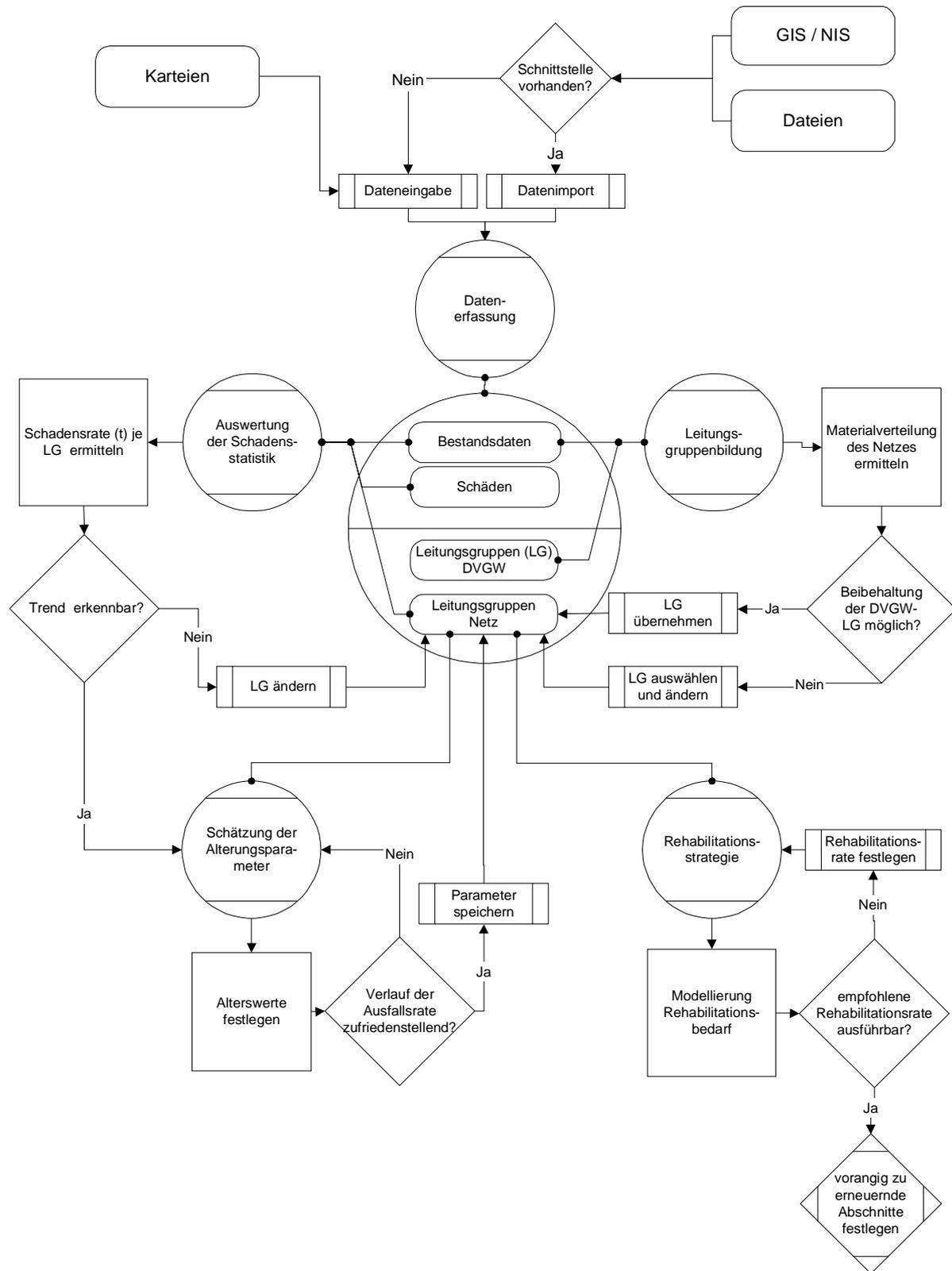


Abb. 7.1.1: Flussdiagramm zum Entscheidungsfindungsprozess mit Hilfe von PiReP

MS Access Formulare dienen in PiReP als Benutzeroberfläche für:

- X die Navigation untereinander,
- X die Eingabe der Leitungsdaten und der Schäden,
- X für die Auswertung der Schäden,
- X die Berechnung der Altersfunktionen,
- X die Modellierung des Rehabilitationsbedarfs mit anschließender Szenarioanalyse und
- X die Auswahl vorrangig zu erneuernder Abschnitte

Es stehen insgesamt 9 Formulare für diese Aufgaben zur Verfügung.

- X Hauptmenü
- X Eingabe der Leitungsdaten
- X Schadensstatistik
- X Auswertung der Schadensstatistik
- X Bildung von Leitungsgruppen
- X Schätzung der Alterungsparameter
- X Rehabilitationsbedarfsprognose
- X Szenarioanalyse
- X Strangauswahl

7.2 HAUPTMENÜ

Das Hauptmenü dient der Navigation zwischen den 5 Modulen und den zugehörigen Eingabe- und Abfrageformularen:

Abb. 7.2.1: Hauptmenü PiReP

- ✗ Datenerfassung
(Leitungslängen, Schäden)
- ✗ Leitungsgruppenbildung
- ✗ Auswertung der
Schadensstatistik
- ✗ Schätzung der
Alterungsparameter
- ✗ Rehabilitationsstrategien
(Rehabilitationsbedarf, Szenarioanalyse, Strangauswahl)

Als Basisinformation für spätere Untersuchungen wird im Hauptmenü der Verlegebeginn, das aktuelle Betrachtungsjahr und der Beginn der schadensstatistischen Aufzeichnungen angegeben.

7.3 DATENERFASSUNG

Für die Leitungsgruppenbildung, die Schadensanalysen und die Rehabilitationsbedarfsprognosen werden die Bestandslängen, gegliedert nach Verlegejahren und Leitungseigenschaften, wie Material, Durchmesser, Verbindungsart, usw. und die daran bereits aufgetretenen Schäden benötigt. Diese Daten werden über Formulare bzw. über Datenimport in der Access Datenbank zusammengeführt.

7.3.1 BESTANDSLÄNGEN

Die in Kap. 5.2.6 beschriebenen Karteien wurden bei der Erstellung der Diplomarbeit von A. ANGLEITNER (2000) eingegeben. Abb. 7.3.1 zeigt das zugehörige Eingabeformular. Dieses ist an den Aufbau bzw. Inhalt der Karteien des Grazer Wasserwerkes und die seit 1990 geführte Datenbank angepasst. Die seit 1990 verlegten Längen konnten importiert werden.

ID	zu / ab	Material	DN	Jahr	AANr.	Straße	Bemerkung	Länge [m]	Zone	Verlegung	Firma
4045	DU	G500	100	1999	p.5408001000	Kaiser-Franz-Josef-Ka		3,69	Kem	Unbau	HL
4044	DU	G500	200	1999	p.5408001000	Kaiser-Franz-Josef-Ka		66,10	Kem	Unbau	HL
4041	DU	G500	100	1999	31771047	Sperring		12,36	Kem	Unbau	HL
4042	DU	G500	80	1999	31771144	Ernst-Figal-Weg		171,00	Ruck	Neu	HL
4047	DU	G500	100	1999	31771209	Stöcklweggasse		11,25	Kem	Unbau	V/W
4043	DU	G500	80	1999	p.5408001000	Sückerstraße		194,32	Kem	Neu	HL
4039	DU	G500	80	1999	1548011002	Stollberger Straße		211,44	Stolz	Neu	HL
4038	DU	G500	80	1999	31771128	Riedgülden Straße	Feuertweg	101,17	Platz	Neu	HL
4048	DU	G500	80	1999	31771205	Neu-Wald Höhe	Peterstraße	47,25	Platz	Unbau	HL
4771	DU	G500	100	2000		Königsgraben		0			
0				0000				0			

Abb. 7.3.1: Formular für die Bestandslängeingabe aus den Karteikarten

Für Material, Durchmesser, Zonen, Verbindungsart, Verlegefirmen und Verlegeanlass sind Kategorien vordefiniert, die bei Bedarf erweitert werden können.

Ungenauigkeiten der Grazer Rohrnetzdaten:

- X Aus der Zeit vor 1939 ist nur die jährlich verlegte Gesamtlänge bekannt. Die jährlichen Verlegelängen von 1870 bis 1939 der verschiedenen Durchmesser- und Materialgruppen konnten somit nur durch Extrapolation abgeschätzt werden. Aus der Chronik des Wasserwerkes [H. VARETZA (1980)] geht hervor, dass die ersten Asbestzementrohre 1932 verlegt wurden. Davor wurden - bis auf wenige km Stahlrohre - ausschließlich Gussrohre verlegt. Das erste Stahlrohr wurde ca. 1890 verlegt. Die Zuordnung der jährlich verlegten Längen zu den Materialgruppen ist daher relativ genau möglich. Die Längen der einzelnen Durchmessergruppen wurden anhand der für 1939 bekannten Gesamtlängen je Material und Durchmesser extrapoliert. Durch diese Näherung ergibt sich für die Verlegelängen der Jahrgänge vor 1939 ein gleichmäßiger Verlauf, der mit der Realität nicht übereinstimmt (siehe Abb. 7.3.2). Tatsächlich erfolgte die Verlegung unregelmäßig.

Durch die Erfassung aller Leitungsabschnitte nach Verlegejahr, Material und Durchmesser im GIS der Stadtwerke stehen mit Ende 2002 diese Längen exakt zur Verfügung und können in die Datenbank importiert werden.

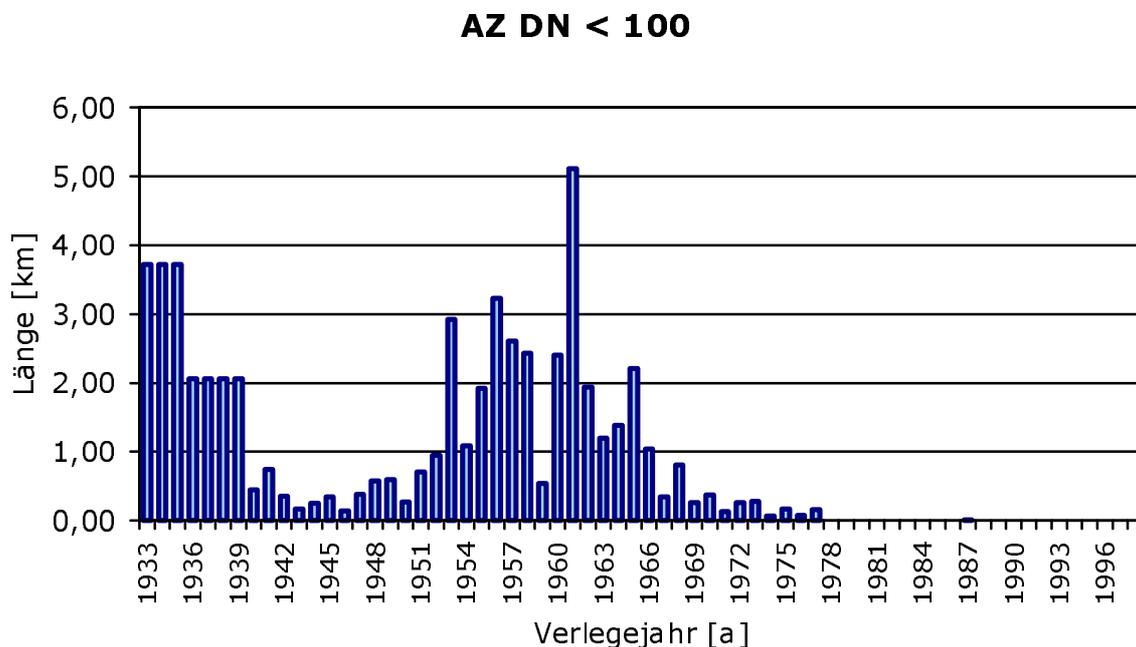


Abb. 7.3.2: Kohortenlängen (Verlegelänge je Jahrgang) AZ DN < 100

X Erneuerte Leitungen:

Wurde eine Leitung durch eine andere ersetzt, so wurde zwar Straße, DN und Material der erneuerten Leitung in die Karteien eingetragen, nicht aber das Verlegejahr der ausgebauten Leitung. Die tatsächlichen Bestandslängen der einzelnen Verlegejahrgänge der Leitungsgruppen können daher auch aus diesem Grund nur abgeschätzt werden. Zusätzlich wäre die Information über die Erneuerungspraxis der Vergangenheit für die Abschätzung des Verlaufs der Ausfallrate von Bedeutung (siehe Kap 7.4). Da auch später im GIS natürlich nur Leitungen enthalten sind, die tatsächlich existieren, muss auf andere Lösungen (PiReP) zurückgegriffen werden, wenn der Wunsch besteht, diese historischen Daten in Zukunft festzuhalten.

- X Eine Unterscheidung zwischen Grauguss und Duktiguss wurde in den Karteikarten erst im nachhinein vorgenommen.** Bei Durchsicht der Hauptrohrverlegungshefte, in denen ebenfalls der Zu- und Abgang von Rohrleitungen dokumentiert wurde, wird ersichtlich, dass ab 1960 keine Graugussrohre, sondern ausschließlich Duktigussrohre verlegt wurden. In der Schadensdatenbank werden aber auch Schäden an Graugussrohren geführt, die nach 1960 verlegt wurden. Durch Angaben der Tiroler Röhren- und Metallwerke konnte der, in Tab. 7.3.1 angeführte, Wechsel bei Gussleitungen festgelegt werden. Die Duktigussrohre wurden ab Mitte der 80er Jahre mit ZM- Auskleidung und bei Be-

darf mit Außenschutz gefertigt. Diese Unterscheidung ist aus den Karteien nicht ersichtlich, sie wurde jedoch in der Datenbank berücksichtigt. Die Schadensstatistik wurde ebenfalls entsprechend angepasst.

✗ Bei *Kunststoffrohren* wurde nicht zwischen PVC und PE unterschieden. Es wur-

Tab. 7.3.1: *Einsatz von Duktulgussrohren der Tiroler Röhren- und Metallwerke in Graz*

Produktionsstart	Einsatz Graz	Sicherungsart	Außenschutz	Innenschutz
1970	1970	ohne	Teerpech	Teerpech
1980	1980	VRS	Zink, Bitumen	Bitumen
1980	1986	VRS	Zink, Bitumen	Zement
1992	1992	VRS	Zink, Bitumen	Zement
1992	1992	VRS	Zink, Bitumen, PE	Zement
1996	1999	VRS	Zink, Polyurethan	Zement

wurden jedoch nach Auskunft von Herrn DI. Weinbauer hauptsächlich PVC Rohre eingebaut. Derzeit sind nur 7km PE-Rohre verlegt. Nach Abschluss der Versorgungsleitungserfassung im GIS wird diese Information vorhanden sein.

Die eingegebenen Daten werden in die Tabelle Tab_Leitungslaenge geschrieben. Die laufende Nummer (ID_Leitung), die sich bei der Dateneingabe ergibt, ist derzeit als Primärschlüssel festgelegt. Diese kann z.B. durch die Leitungsnummer aus dem GIS oder anderen für eine Leitungsnummerierung festgelegte Schlüssel ersetzt werden.

7.3.2 SCHADENSSTATISTIK

Das Eingabeformular Abb. 7.3.3 wurde zunächst in Anlehnung an die, bei den Grazer Wasserwerken geführte, Schadensstatistik erstellt. Es wurde jedoch um folgende Kennwerte erweitert.

- ✗ Leitungsnummer
- ✗ Schadensart (Bruch, Loch, Längsriss,...)

Schadensstatistik

Eingabe der Schäden:

ID Leitung	Strasse	HR#	Datum	Schadensart	Ursache	Kosten	Material	DN	Verlegejahr	Sonstiges
1513	Pfarrgasse		05.06.98			18689	AZ	100	1959	Koloniegasse
1583	Scheingasse		16.03.82	Setzung		0	AZ	100	1962	Emil-Ertl-Gasse
1673	Purbergstraße		22.08.92			31853	AZ	100	1965	Conduzzigasse
1686	Jülichstraße		29.06.84			0	AZ	100	1966	Faunastraße
1720	Rüdenmangasse	23	13.09.90			37681	AZ	100	1968	
1747	Wolkensteingasse	48	02.10.97			24208	AZ	100	1968	
1777	Untere Teichstraße	4	19.05.98			82348	AZ	100	1969	
1795	Degelestraße		30.05.95			36972	AZ	100	1969	
1831	Walter-Sensetkowsky-We		20.02.83	Setzung		0	AZ	100	1970	
1888	Prohaskagasse		27.08.87	Setzung		20205	AZ	100	1971	Ursprungweg
1888	Prohaskagasse		24.08.87	Setzung		24518	AZ	100	1971	Ursprungweg
1893	Sartorigasse	13	07.07.86	Verkehrsbelastung		63187	AZ	100	1971	
1893	Sartorigasse	14	29.08.92			44743	AZ	100	1971	
1966	Schleifbachgasse	13	06.03.91				AZ	100	1973	
1976	Rudolfstraße		01.02.90			24962	AZ	100	1973	
1976	Rudolfstraße	116	28.01.76	Dichtung (Flansch, Kup		0	AZ	100	1973	
1976	Rudolfstraße	106	18.12.89	Materialermüdung		14144	AZ	100	1973	
1976	Rudolfstraße	81	12.04.89	Anbohrschelle		30131	AZ	100	1973	
1976	Rudolfstraße	126	26.03.90			35810	AZ	100	1973	

Datensatz: 14 | 1 | von 1735

Abb. 7.3.3: Eingabeformular für die Eingabe von Schäden an Versorgungsleitungen

Die seit 1974 aufgetretenen Schäden wurden in die Datenbank importiert. (siehe auch Kap. 5.2.5 bzw. Anhang B *Tab_Schaeden*).

Die Schäden wurden bisher in Graz nach der, dem Rohrbruch am nächsten liegenden Adresse geführt. Dadurch ist derzeit der Straßenschlüssel die einzige Verknüpfungsmöglichkeit zwischen Schäden und Leitungssträngen. Da der Verlegeort in der Datenbank erst ab 1949 mit erfasst werden konnte, ist aber gerade für die älteren Rohre eine Zuordnung der Schäden zu einem bestimmten Leitungsabschnitt derzeit nicht möglich.

In Zukunft sollte die Erfassung der Schäden bezogen auf die Leitungsnummer erfolgen. Jeder Schaden ist somit eindeutig einer bestimmten Leitung zugeordnet. Dadurch kann die strangbezogene Schadensrate berechnet werden. PiReP kann somit auch für eine vereinfachte zustandsorientierte Rehabilitationsplanung verwendet werden. Die Auswahl zu erneuernder Leitungsabschnitte kann in Abhängigkeit von einer definierten maximalen Strangschadensrate erfolgen (siehe Kap. 7.4.4.3).

7.4 VORUNTERSUCHUNGEN

Zu den Voruntersuchungen zählt die Zusammenfassung von Leitungen mit annähernd gleichem Nutzungsdauerverhalten zu Gruppen. Dafür ist die Auswertung der Schadensstatistik in Hinblick auf das Schadensaufkommen mit dem Alter eine wesentliche Grundlage. Die Leitungsgruppenbildung und die Auswertung der Schadensraten stehen daher in Wechselwirkung. Aus diesem Grund werden die Module „Bildung von Leitungsgruppen“ und „Auswertung der Schadensstatistik“ hier unter dem Begriff Voruntersuchungen zusammengefasst.

7.4.1 BILDUNG VON LEITUNGSGRUPPEN

Um das Alterungsverhalten eines Rohrnetzes modellieren zu können, muss es in Leitungsgruppen mit unterschiedlichem Nutzungsdauerverhalten unterteilt werden. Als Kriterien für die Bildung der Leitungsgruppen kommen neben unterschiedlichen Materialien und Bruchanfälligkeiten in Abhängigkeit vom Durchmesser, auch die Untergrundbeschaffenheit, sowie innere und äußere Beanspruchungen in Frage (Abb. 7.4.1). Für das Modell PiReP konnten vorläufig nur die ersten beiden Kriterien herangezogen werden, da letztere nur bei einer räumlichen Analyse der Schäden im GIS erkennbar werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird von R. HERZ (1993) eine Obergrenze von nicht mehr als 20 Leitungsgruppen empfohlen.

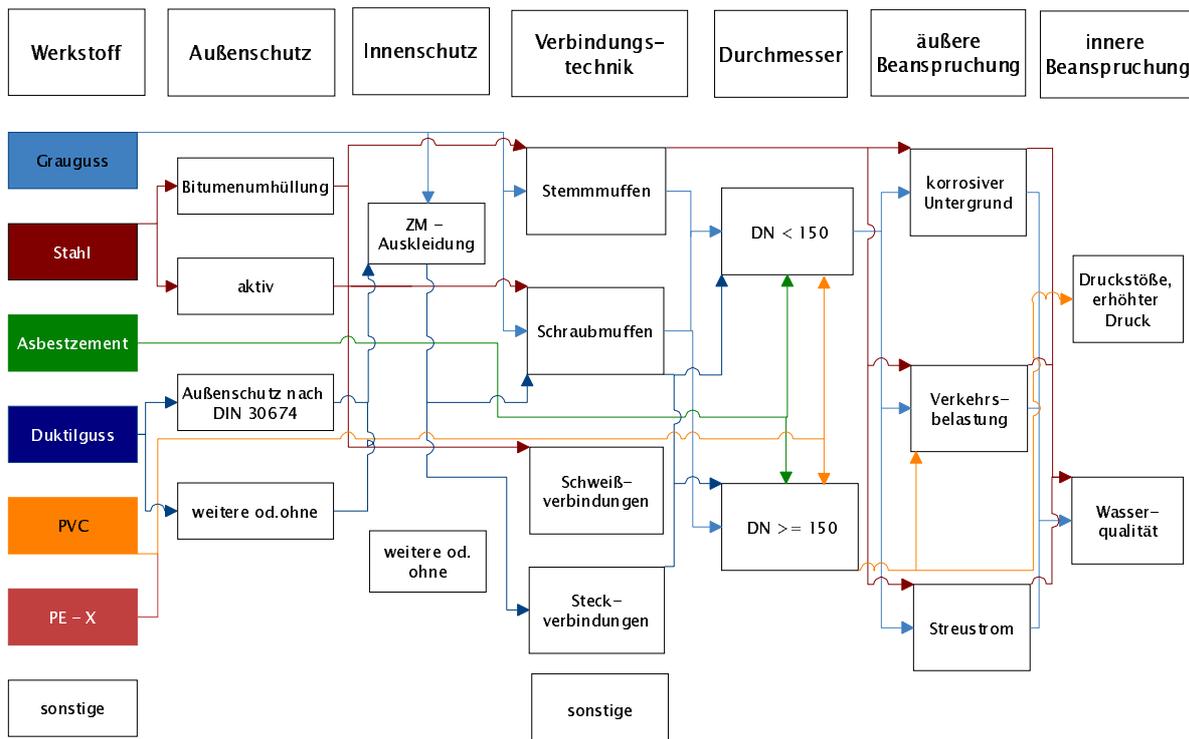


Abb. 7.4.1: Einige Variationsmöglichkeiten für die Leitungsgruppenbildung

In PiReP wurden in Anlehnung an die DVGW-Empfehlungen und nach R. TRUJILLO ALVAREZ (1995) folgende Leitungsgruppen integriert (siehe Tab. 7.4.1):

Tab. 7.4.1: Standardleitungsgruppen in PiReP**Leitungsgruppen Standard (erweitert nach DVGW W401)**

Für die Berechnung der Alterungsfunktionen benötigte Angaben über die Lebensdauer von Rohrleitungen:

Angabe zum Alter, das von 100 % der Rohrleitungen erreicht wird

Angabe zum Alter, das von 50 % der Rohrleitungen erreicht wird

Angabe zum Alter, das von 10 % der Rohrleitungen erreicht wird

Leitungsgruppe	100 %	50 %	10 %
<i>AZ < 100</i>	40 Jahre	70 Jahre	90 Jahre
<i>AZ ≥ 100</i>	60 Jahre	90 Jahre	110 Jahre
<i>GG ≤ 150</i>	40 Jahre	75 Jahre	110 Jahre
<i>GG > 150</i>	45 Jahre	110 Jahre	150 Jahre
<i>GGG alt</i>	40 Jahre	70 Jahre	100 Jahre
<i>GGG zzm</i>	100 Jahre	120 Jahre	140 Jahre
<i>PE - X</i>	40 Jahre	60 Jahre	80 Jahre
<i>PVC ≥ 150</i>	60 Jahre	80 Jahre	100 Jahre
<i>PVC > 150</i>	40 Jahre	60 Jahre	80 Jahre
<i>Sanierung</i>	20 Jahre	40 Jahre	60 Jahre
<i>ST pe neu</i>	100 Jahre	120 Jahre	140 Jahre
<i>St SrMu</i>	60 Jahre	80 Jahre	100 Jahre
<i>ST StmMu</i>	60 Jahre	80 Jahre	100 Jahre
<i>St SwVb</i>	60 Jahre	80 Jahre	100 Jahre

Die Leitungsgruppenbildung ist ein iterativer Prozess. Bei der schadensstatistischen Auswertung der Standardgruppen können oft keine gemeinsamen Eigenschaften im Nutzungsdauerverhalten erkannt werden. Neue Gruppen müssen meist anhand von Expertenmeinungen abgeleitet werden. Es kann aber auch zu einer rückwirkenden Zusammenfassung von Rohrtypen kommen, wenn diese im betrachteten Netz eine annähernd gleiche Schadensentwicklung zeigen.

In PiReP wird dabei folgendermaßen vorgegangen:

- X Aus der Liste der Standardleitungsgruppen werden jene gewählt, die für das jeweilige Rohrnetz in Frage kommen. Fehlende Gruppen werden hinzugefügt. Eine Grafik über den Materialeinsatz im Netz in Abhängigkeit von den Verlegejahren dient dabei als erster Ansatz (siehe Abb. 7.4.2).

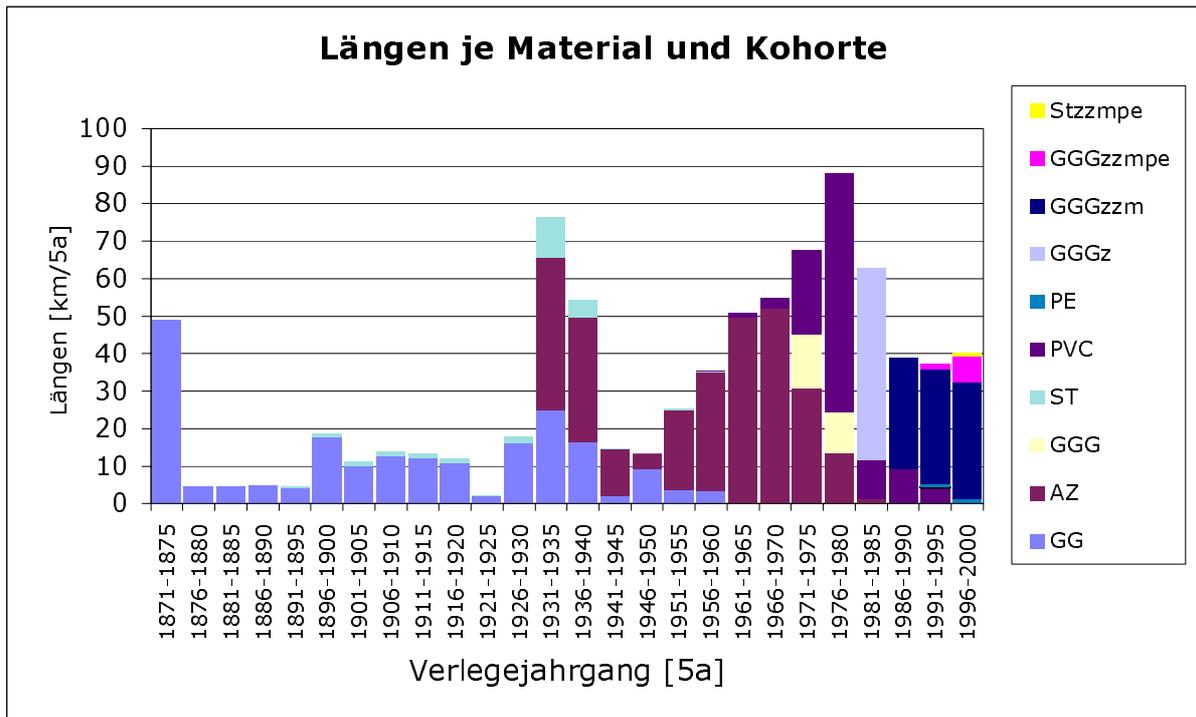


Abb. 7.4.2: Je nach Verlegeperioden [5-jahres Schritte] eingesetzte Materialien des Grazer Wasserversorgungsnetzes

Bildung von Leitungsgruppen

Allgemeine Auswertungen der Netzdaten:

Verlegebeginn: 1870
 Betrachtungsjahr: 1999 Bestand: 756,87 km
 Schadensstatistik seit: 1974

Kohortenlängen Entwicklung Bestandslänge Mittleres Alter Schadensraten (Alter)

Leitungsgruppenbildung:

Leitungsgruppe	Material	DN von	bis	Jahr von	bis	Verbindung:
GG <= 150	GG	25	150	1936	1965	SrMu
GG > 150	GG	125	900	1936	1965	SrMu
GGG alt	GGGz	25	900	1965	1975	
GGG zzm	GGGzzm	25	900	1976	0	
ST StrnMu	ST	25	900	1895	1940	StrnMu
St SrMu	ST	25	900	1941	1970	SrMu
St SwVb	ST	25	900	1941	1970	SwVb
ST pe neu	ST	25	900	1971	0	SwVb
PVC > 150	PVC	175	900	1965	1985	
PVC <= 150	PVC	25	150	1965	1985	
PE - X	PE	25	900	1975	0	
AZ < 100	AZ	25	80	1930	1980	
AZ >= 100	AZ	100	900	1930	1980	
Sanierung				0	0	
*				0	0	

Alterungsparameter Literatur:

LG Netz	100%	50%	10%
<input checked="" type="checkbox"/>	40	75	110
<input checked="" type="checkbox"/>	45	110	150
<input checked="" type="checkbox"/>	40	70	100
<input checked="" type="checkbox"/>	100	120	140
<input checked="" type="checkbox"/>	60	80	100
<input type="checkbox"/>	60	80	100
<input type="checkbox"/>	60	80	100
<input checked="" type="checkbox"/>	100	120	140
<input checked="" type="checkbox"/>	40	60	80
<input checked="" type="checkbox"/>	60	80	100
<input checked="" type="checkbox"/>	40	60	80
<input checked="" type="checkbox"/>	40	70	90
<input checked="" type="checkbox"/>	60	90	110
<input type="checkbox"/>	20	40	60
<input type="checkbox"/>	0	0	0

Datensatz: 1 von 14

Abb. 7.4.3: Erste Auswahl der Leitungsgruppen für das Grazer Rohrnetz

- ✗ Für jede Leitungsgruppe werden anschließend die Kohortenlängen, das mittlere Alter, die Längenentwicklung bis zum Betrachtungszeitpunkt, die Schadensraten je Kohorte und die jährliche Entwicklung der Schadensrate ermittelt (näheres dazu in Kap. 7.4.2).
- ✗ Im Idealfall ist ein ansteigender Trend der Schadensrate mit dem Alter erkennbar und die Gruppierung kann beibehalten werden. In diesem Fall kann mit dem nächsten Schritt, der Bestimmung der Alterungsparameter fortgefahren werden (siehe Kap.7.4). Ist der Streubereich der Schadensraten zu groß, so sind keine Gemeinsamkeiten im Alterungsverhalten vorhanden. Die Gruppe muss neu unterteilt und die Schadensraten neuerlich berechnet werden.
- ✗ Wird eine neue Leitungsgruppe gespeichert, ist zu beachten, dass die ursprüngliche Leitungsgruppe entsprechend geändert bzw. entfernt werden muss, damit alle Teillängen (-gruppen) erfasst werden bzw. nicht doppelt in die Betrachtungen einfließen.

7.4.2 AUSWERTUNG DER SCHADENSSTATISTIK

Die Schadensstatistik kann mit Hilfe von PiReP hinsichtlich zweier Gesichtspunkte ausgewertet werden:

- ✗ Entwicklung der Schadensraten in Abhängigkeit vom Rohralter
- ✗ Entwicklung der jährlichen Schadensrate (= Entwicklung der Schadensrate in Abhängigkeit vom mittleren Alter)

Beide Analysefunktionen können für das Gesamtnetz und für die, nach beliebigen gewählten, Leitungsgruppen ausgewertet werden. In den weiß hinterlegten Feldern befinden sich die Angaben zur gewünschten Gruppierung. Diese wird entweder automatisch vom aktiven Datensatz aus dem Formular zur Leitungsgruppenbildung übernommen oder vom Anwender direkt im Modul „Auswertung der Schadensstatistik“ festgelegt.

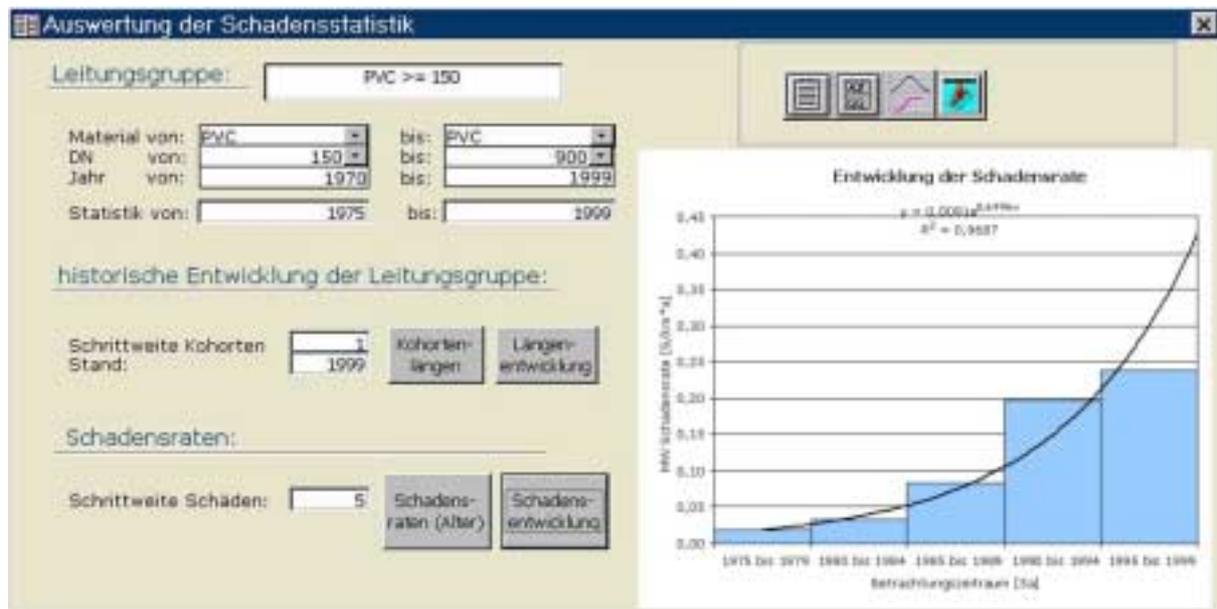


Abb. 7.4.4: Auswertung der Schadensstatistik mit PiReP

Auswertung in Abhängigkeit vom Alter

Vor der Schätzung der Alterungsparameter sollte für alle Leitungsgruppen die Entwicklung der Schadensrate mit dem Alter ermittelt werden. Dadurch können Unterschiede und Trends hinsichtlich des Alterungsverhaltens erkannt werden. Bei vielen Gruppen kann dadurch das Alter erkannt werden, ab dem die Leitungen eines Rohrtyps in die Verschleißphase eintreten (100% Parameter). In Graz wurden bisher kaum Leitungen aufgrund der Schadensanfälligkeit erneuert. Daher sind die Schadensauswertungen auch in Hinblick auf die schadensintensivsten (älteren) Rohre annähernd unverfälscht.

Für die Auswertung der Schadensrate in Abhängigkeit vom Alter müssen zuerst die Kohortenlängen (verlegte Länge je Verlegejahr) der definierten Leitungsgruppe ermittelt werden. Dies geschieht in PiReP bei Anklicken des Buttons „Kohortenlängen“. Eine Grafik zeigt anschließend die Verteilung der Längen über die gesamte Verlegeperiode (Abb. 7.3.2). Für jeden, in der Statistik erfassten Schaden ist das Verlegejahr und somit auch das Alter bei Schadenseintritt bekannt. Durch Anklicken des Buttons „Schadensraten (Alter)“ wird für jeden Schaden die Schadensrate in Abhängigkeit vom Alter berechnet und graphisch dargestellt. Abb. 7.4.5 zeigt die Schadensraten des Grazer Rohrnetzes in Abhängigkeit vom Alter.

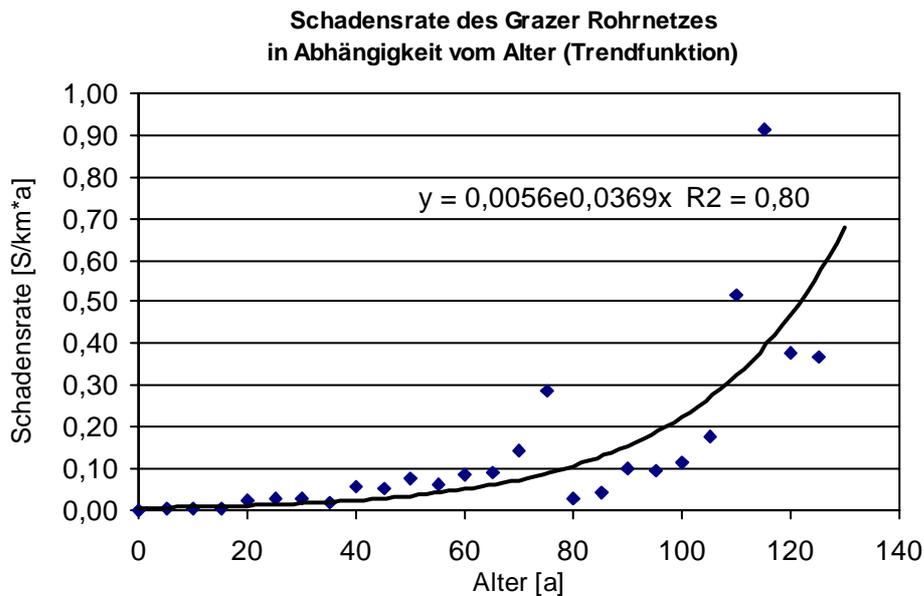


Abb. 7.4.5: *Trendfunktion der Schadensrate des Grazer Rohrnetzes in Abhängigkeit vom Alter*

Neben dem deutlichen Anstieg der Schadensrate mit dem Alter, kann bezüglich Abb. 7.4.5 folgendes interpretiert werden:

Viele der Graugussleitungen waren zu Beginn der schadensstatistischen Aufzeichnungen (1974) bereits 80 Jahre oder älter. Zu diesen Leitungen gibt es keine Aufzeichnungen hinsichtlich des Schadensverhaltens in jüngeren Jahren. Bei den Schadensraten der 80 bis 130 jährigen Rohre (fast ausschließlich Graugussrohre sind so alt), ist eine eigene Dynamik erkennbar. Der bei H. VARETZA (1980) angeführte Sachverhalt, dass die alten englischen Graugussrohre den später eingesetzten Materialien wie AZ, PVC, GGG ohne Schutz, usw. in ihrer Robustheit überlegen sind, wird durch diese Gesamtnetzbeurteilung bestätigt.

Auswertung in Abhängigkeit vom Schadensjahr (mittleres Alter)

Die Auswertung der Schäden in Abhängigkeit vom Schadensjahr (bzw. vom mittleren Alter) ist als zusätzliches Werkzeug zur schadensstatistischen Beschreibung in PiReP integriert. Für die Ausführung dieses Tools wird zuerst der *Button* „Längenentwicklung“ und anschließend der *Button* „Schadensentwicklung“ angeklickt. Die laufende Summe der Leitungslänge wird ermittelt und als Grafik ausgegeben. Anschließend wird die Anzahl, der Jahr für Jahr aufgetretenen Schäden der Gruppe, auf die Bestandlänge im entsprechenden Schadensjahr bezogen und dargestellt (Abb. 7.4.7). Zusätzlich wird die Entwicklung des mittleren Alters berechnet und ebenfalls dargestellt (Abb. 7.4.6). Das mittlere Alter des Grazer Rohrnetzes steigt seit Mitte der 80er Jahre kontinuierlich an, da kaum Leitungen neu verlegt oder erneuert werden.

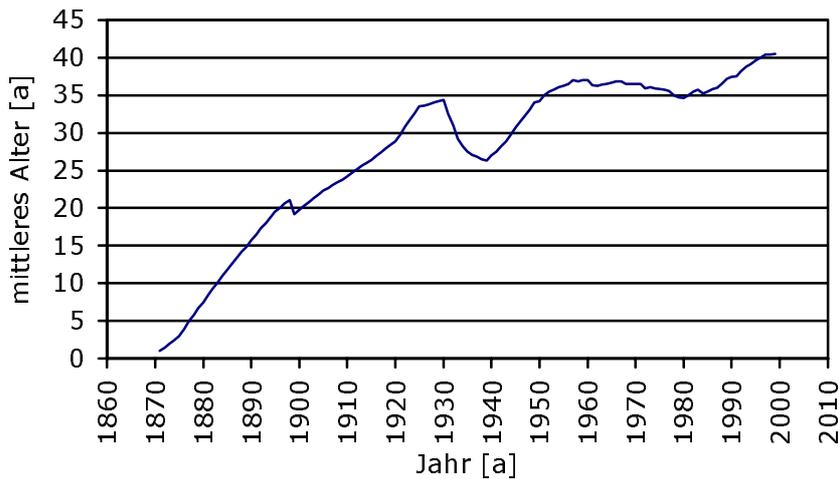


Abb. 7.4.6: Anstieg des mittleren Alters des Grazer Rohrnetzes

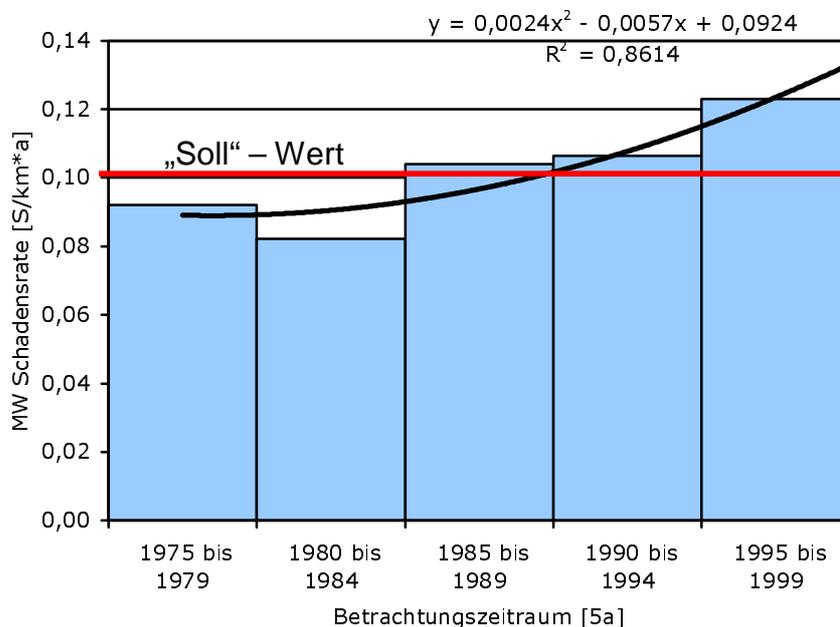


Abb. 7.4.7: Entwicklung der Schadensraten des Grazer Rohrnetzes seit 1975

Diese Auswertungen dienen als erster Anhaltspunkt, ob die jährlich am Netz durchgeführten Erneuerungen für eine Beibehaltung bzw. Verbesserung des Netzzustandes ausreichen. Einem ansteigenden Trend der Schadensrate sollte rechtzeitig durch eine Erhöhung der Rehabilitationsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Das Versorgungsunternehmen sollte zu diesem Zweck eine maximale Schadensrate festlegen. Nach Empfehlungen der Literatur [H. MAYR (1996)] sollte diese für das Gesamtnetz bei 0,1 S/km und Jahr liegen, wobei auch die gleichzeitige Einhaltung der maximal zulässigen Wasserverluste zu beachten ist. Aus Abb. 7.4.7 wird ersichtlich, dass die Schadensrate in Graz bereits über diese Empfehlung angestiegen ist. Um ein weiteres Ansteigen der Schadensraten vermeiden zu können, sollten so bald als möglich die jährlichen Rehabilitationsraten erhöht werden.

7.4.3 LEITUNGSGRUPPENBILDUNG / SCHADENSAUSWERTUNG GRAZ:

7.4.3.1 Allgemeines

Das Wasserrohrnetz der Stadt Graz besteht derzeit (Stand 1999) aus 26% Graugussrohren, 25% Duktulgussrohren, 33% AZ-Rohren, 14,5 % PVC Rohren und 1,5% Stahlrohren [siehe auch Abb. 2.2.1]. Die zeitliche Verteilung des Materialeinsatzes ist in Abb. 7.4.2. dargestellt.

Grundlagen für die Bildung der Leitungsgruppen waren

- X der Vorschlag des DVGW-Hinweis W401 bzw. die Standardleitungsgruppen in PiReP (siehe Tab. 2.4.1),
- X die Angaben zum Materialeinsatz in der Chronik „Wasser für Graz“ von H. Varetza (1980),
- X die seit 1939 geführten Karteien über Rohrverlegung und Rohrrekonstruktion und
- X die Schadensstatistik

Ungenauigkeiten bei der Auswertung der Schadensstatistik:

- X Die Bestandslängen der Leitungsgruppen in den betrachteten Schadensjahren und die der betrachteten Kohorten können nicht exakt ermittelt werden,
 - da für die Zeit vor 1939 die genauen Verlegelängen gegliedert nach Material und Durchmesser nicht bekannt sind und
 - da bei den bereits entfernten Leitungen das Verlegejahr in den Karteikarten nicht geführt wird und somit die noch vorhandenen Längen der Kohorten nicht exakt berechnet werden können.
- X Für die Schäden je Kohortenlänge einer Gruppe, d.h. für die Berechnung der altersabhängigen Schadensrate, wurden die bereits erfolgten Erneuerungen generell nicht berücksichtigt. Die tatsächlichen altersabhängigen Schadensraten sind daher höher als die mit PiReP erzielten Ergebnisse. Da in Graz bei allen Leitungsgruppen, mit Ausnahme von Stahl, bisher kaum Erneuerungen durchgeführt wurden, ist der Unterschied jedoch vernachlässigbar klein.
- X Bei der Berechnung der Schäden pro Gruppenlänge im Schadensjahr, d.h. bei der jährlichen Entwicklung der Schadensraten (bzw. der Entwicklung der Schäden mit dem mittleren Alter) der Leitungsgruppe treten folgende Datenunsicherheiten auf:

- Für Leitungsgruppen (z.B. GG < DN150 1870-1876), die nicht die gesamte Verlegeperiode eines Rohrtyps (Material- und Durchmesserigenschaften aus den Karteikarten) umfassen, konnten die abgegangenen Längen nicht berücksichtigt werden. Die Gesamtlänge und auch das mittlere Alter im Schadensjahr ist daher für diese Gruppen zu hoch.
- Für Leitungsgruppen, die sich über die gesamte Periode erstrecken (z.B. AZ DN < 100 1932 -1985), wurde hingegen angenommen, dass jeweils die ältesten Rohre (nach Kohorten - Überlebensmodell) bereits erneuert wurden. Das mittlere Alter der Leitungen wird daher tatsächlich etwas höher sein. Auf die Gesamtlänge der Gruppe im Schadensjahr hat diese Annahme jedoch keinen Einfluss. Die Höhe der Schadensrate ist in diesem Fall unverfälscht.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse muss auf diese Ungenauigkeiten immer bedacht genommen werden. Die genauere Schadensratenermittlung wird erst nach Fertigstellung des GIS möglich. Die tatsächlichen Längen nach Material, Durchmesser und Verlegejahr, sollten dann an die Stelle der derzeit in PiReP geführten Leitungen treten. Die Ergebnisse können danach verifiziert, geändert oder verworfen werden.

Im folgenden werden die Untersuchungen zur Leitungsgruppenbildung mit Hilfe der Berechnung der altersabhängigen Schadensraten beschrieben. Alle, bei den Voruntersuchungen erzielten Zwischenergebnisse sind in Anhang A aufgelistet. Das Ergebnis der Leitungsgruppenbildung ist in Kap. 7.4.3 angeführt.

7.4.3.2 Grauguss

Die erste von der DVGW – Empfehlung abweichende Gruppierung in *englische Gussrohre (1870 – 1885)* und in *Rohre deutscher Norm* ergab sich durch Recherchen in der Chronik „Wasser für Graz“ von H. VARETZA (1980). Darin wird folgendes angemerkt: „Die seinerzeit bis etwa Mitte der achtziger (Anm.: 1880) Jahre gelieferten englischen Rohre sind an bundartigen Verstärkungen und allerdings geringfügigen Maßabweichungen von jenen später zur Anwendung gelangenden Gusseisenrohren deutscher oder französischer Herkunft oder jenen Rohren, die in Fabriken der österreichisch-ungarischen Monarchie erzeugt wurden, zu erkennen. Auffallend unterschieden sich die alten englischen Gusseisenrohre wegen ihrer besonderen Härte und Zähigkeit von Gussrohren anderer Herkunft. Bei den Monteuren des Wasserwerkes waren sie bei Arbeiten, die eine Durchtrennung erforderlich machten, wegen ihrer technologischen Eigenschaften wenig beliebt. Die, inzwischen älter als 100 Jahre alt gewordenen, englischen Rohre befinden sich ausnahmslos in allerbestem Zustand“.

1935 wurden erstmals Schleudergussrohre verlegt. Es ist jedoch nicht genau bekannt, wie lange *Sand- und Schleudergussrohre* parallel verlegt wurden, oder ob ab 1935 nur Schleudergussrohre zum Einsatz kamen.

In Graz wurden 1938/39 erstmalig Schleudergussrohre mit Schraubmuffen eingesetzt. Eine weitere Unterteilung sollte daher nach Rohren mit *Stemm- und Schraubmuffen* erfolgen. Dies ist jedoch derzeit nicht möglich, da bis 1949 sowohl Rohre mit Stemmuffen als auch mit Schraubmuffen verlegt wurden, dies aber in den Karteien nicht vermerkt wurde.

Graugussleitungen *kleineren Durchmessers* (v.a. DN 80 und DN 100) sind in Graz erfahrungsgemäß bruchanfälliger und sollten somit in jedem Fall getrennt von den Rohrleitungen größeren Durchmessers analysiert werden. Anhand der Schadensanalysen war dies ebenfalls erkennbar. Die bei R. TRUJILLO ALVAREZ (1995) angeführte Unterteilung in Rohre $DN \leq 150$ und $DN > 150$, die auch als Standardleitungsgruppe festgelegt wurde, wurde daher für Graz auf $DN < 150$ und $DN \geq 150$ geändert.

Weiters werden *Rohre kleiner DN 100* gesondert betrachtet, da diese nach ÖNORM B2538 in Netzbereichen mit zentraler Löschwasserversorgung, um eine gewisse Reserve bei der Einhaltung der Mindestbetriebsdrücke zu haben, nicht verwendet werden. Dies könnte als zusätzlicher Erneuerungsgrund angesehen werden. In Hinblick auf den zurückgegangenen bzw. stagnierenden Wasserverbrauch und die daraus resultierenden, oft geringen Fließgeschwindigkeiten im Normallastfall sollte dies jedoch im Einzelfall beurteilt werden.

Schadensraten

Für die zuerst festgelegte Gruppierung GG DN < 150 ergeben sich die, in Abb. 7.4.8 angeführten, Schadensraten.

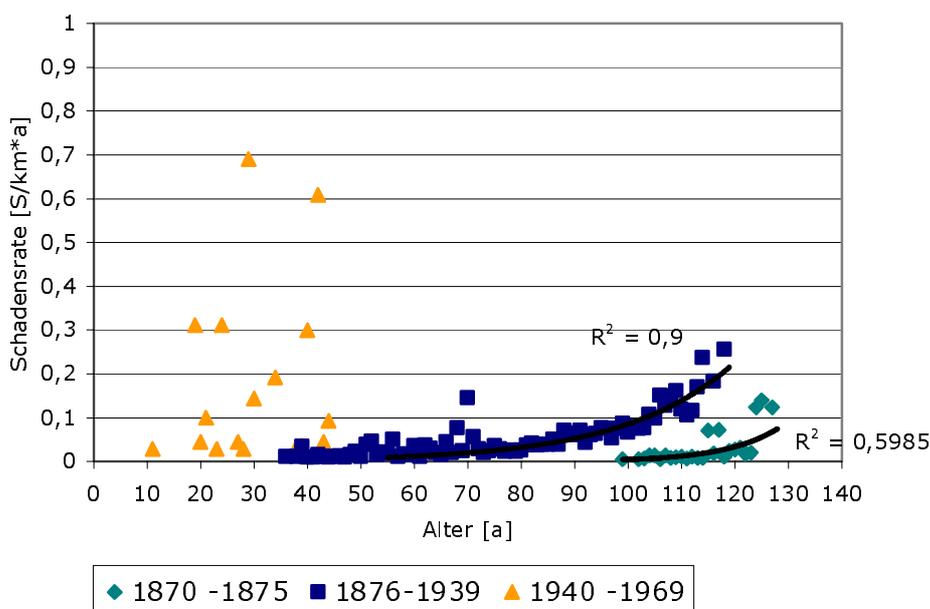


Abb. 7.4.8: Altersabhängige Schadensraten für GG DN < 150

Ein deutlicher alterungsbedingter Trend ist bei den zwischen 1876 und 1939 verlegten Gussrohren zu erkennen. Der altersabhängige Trend, der vor 1876 verlegten englischen Gussrohre, ist schwächer ausgeprägt. Diese Gruppe zeigt trotz des hohen Alters geringere Schadensraten.

Die unterschiedlichen Schadensraten zwischen den vor und nach 1875 verlegten englischen Gussrohren können folgende Ursachen haben:

- ✗ Die Längenangaben (ca. 47 verlegte km zw. 1870 und 1875) sind zu hoch, da Abgänge an diesen Leitungen nicht berücksichtigt werden (siehe Kap. 7.2.1) können. Die Ergebnisse sollten in Zukunft mit den erhobenen GIS-Daten überprüft werden.
- ✗ Die Aufteilung der Leitungslängen auf die einzelnen Verlegejahre zwischen 1872 (ca. 48 km Gesamtlänge laut Kartei) und 1897 (ca. 74 km Gesamtlänge laut Kartei) erfolgte gleichmäßig (Extrapolation). Dies ist eine Näherung, die großen Einfluss auf die Schadensratenermittlung mit dem Alter hat. Ist die Verlegung z.B. hauptsächlich Mitte der 70er bis Mitte der 80er Jahre erfolgt, würden sich auch für die Rohre, die zwischen 1875 und 1885 verlegt wurden, geringere Schadensraten ergeben.
- ✗ Die ältesten Leitungen haben die besten Randbedingungen. Sie unterliegen kaum Verkehrsbelastungen (vorwiegend Altstadt) und Aufgrabungstätigkeiten. Auch die Untergrundbedingungen sind in diesen Netzzonen besser. Stichproben bei Grabungen oder Kamerabefahrungen können über den Zustand dieser Leitungen näheren Aufschluss geben.
- ✗ Fehlerhafte Schadensaufzeichnungen bezüglich Verlegejahr.

Die Schadensraten an den jüngsten Graugussrohren sind deutlich höher als die der älteren, das zeigt sich auch bei Betrachtung der Entwicklung der Schadensraten in den letzten Jahren (Abb. 7.4.10 und Abb. 7.4.10).

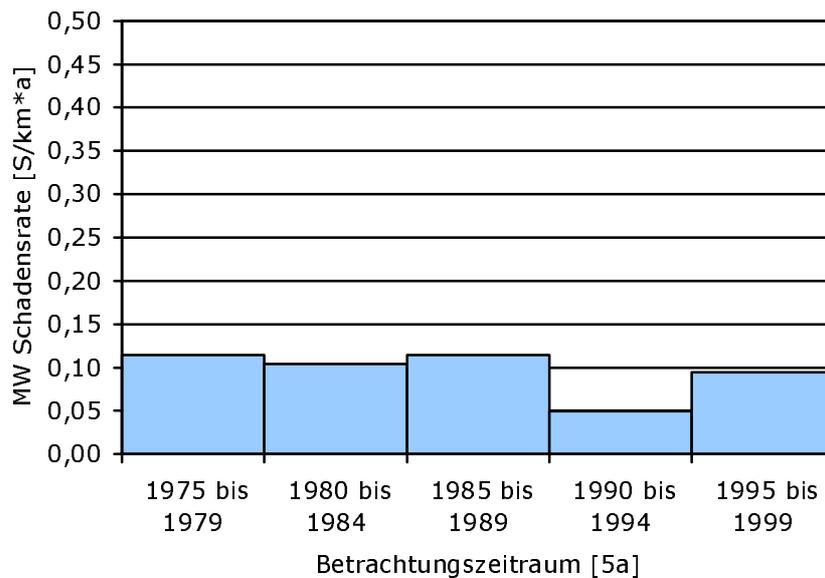


Abb. 7.4.9: Entwicklung der Schadensrate GG DN < 150 1870-1875 (englische Gussrohre)

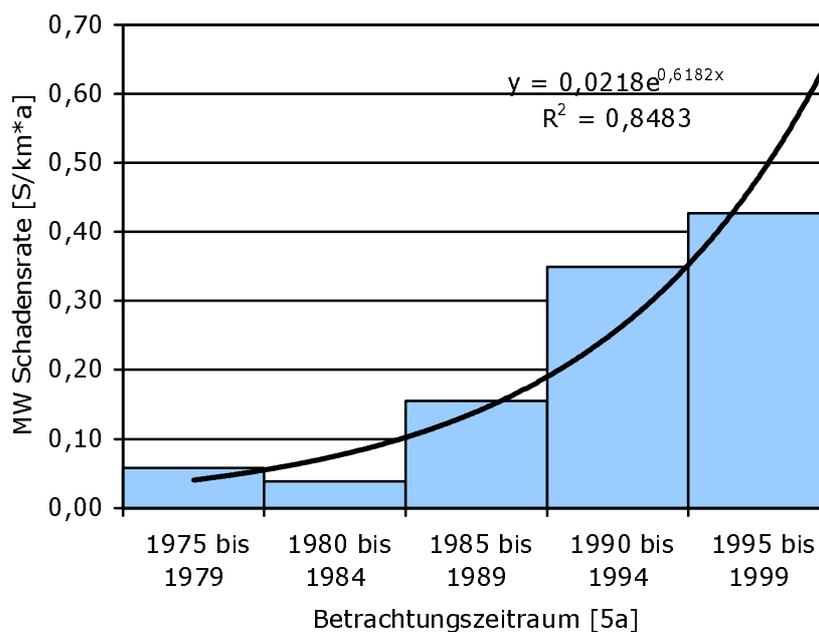


Abb. 7.4.10: Entwicklung der Schadensrate GG DN < 150 1940 –1969

Die hohen Schadensraten an den zwischen 1940 und 1969 verlegten Leitungen könnten folgende Ursachen haben:

- ✗ Die Leitungen haben ungünstigere Randbedingungen hinsichtlich Untergrundbeschaffenheit und Grabungstätigkeiten,
- ✗ Möglicherweise wurden, in den Kriegs- und Nachkriegsjahren minderwertigere Ausgangsmaterialien bei der Gusserzeugung verwendet.

Letztendlich zeigen englische und deutsche Graugussleitungen, die zwischen 1876 und 1939 verlegt wurden, die größten Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Entwicklung der Schadensrate mit dem Alter und wurden daher auch zu einer Leitungsgruppe zusammengefasst.

Wie erwähnt, wurden Rohre DN < 100 gesondert betrachtet (Abb. 7.4.11).

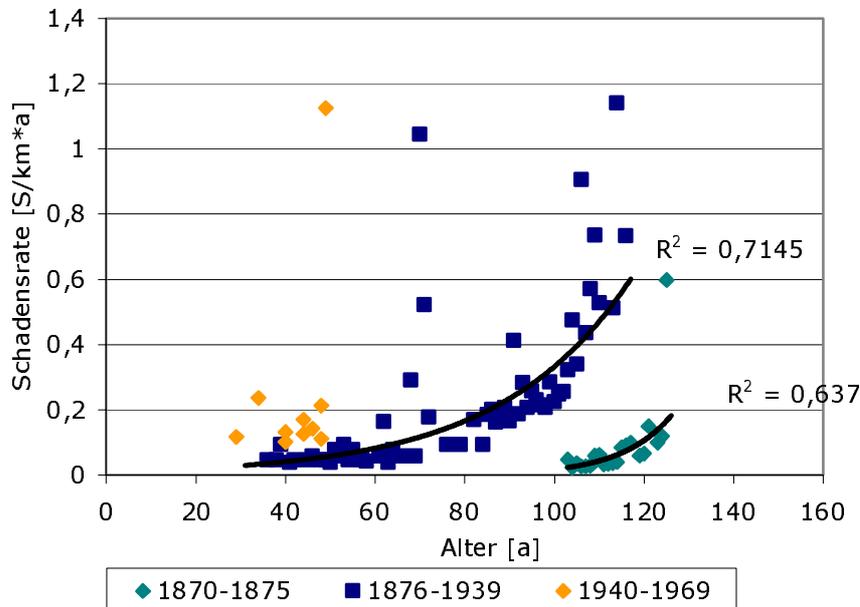


Abb. 7.4.11: Altersabhängige Schadensraten für GG DN < 100

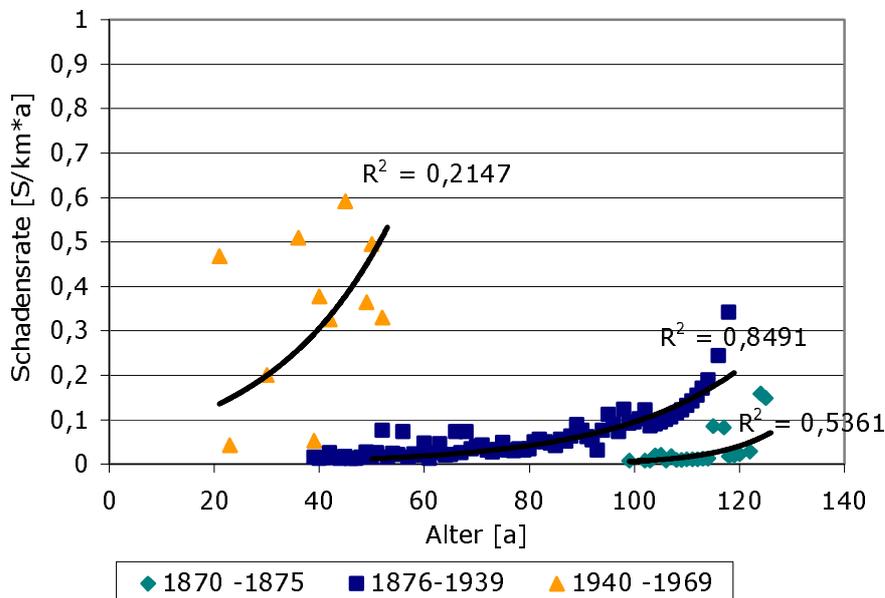


Abb. 7.4.12: Altersabhängige Schadensraten für GG DN 100 und DN125

Folgendes konnte abschließend abgeleitet werden:

Die Unterschiede zwischen den Durchmessern DN < 100 und DN 100 und 125 sind bei den vor 1876 verlegten, englischen Gussrohren eher gering. Weiters sind, wie bereits erwähnt, die Längenangaben dieser Leitungen mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus diesem Grund wird für diese Gruppe die Einteilung in Rohre DN < 150 beibehalten.

Vor allem bei den Leitungen mit DN < 100, die nach 1876 verlegt wurden, machen sich deutliche Verschleißerscheinungen bemerkbar (Abb. 7.4.11). Die Schadensrate (Trend) liegt bei den 110 jährigen Rohren bei 0,6 Schäden pro km und Jahr. Auch der jährliche Anstieg der Schäden ist deutlich (Abb. 7.4.14)

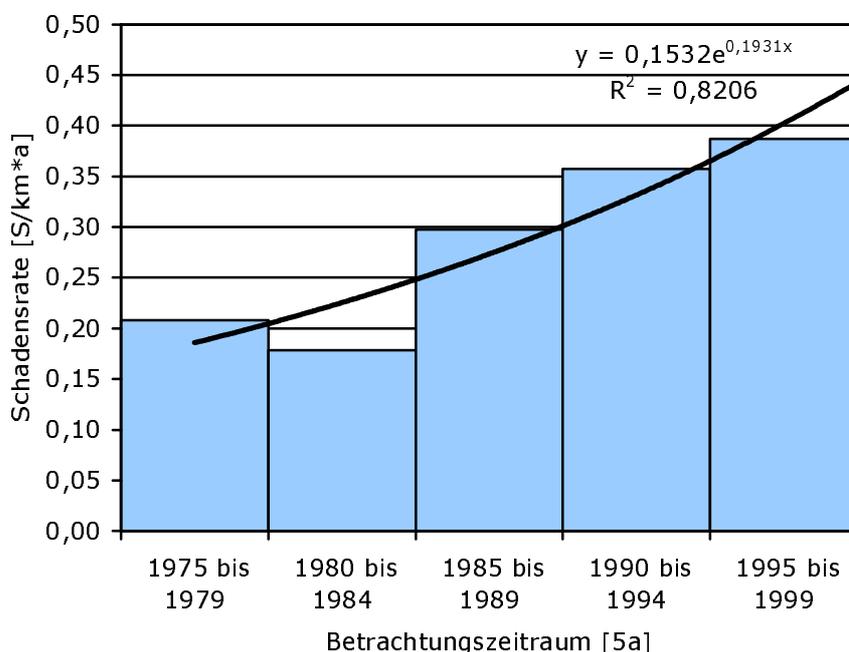


Abb. 7.4.13: Durchschnittliche jährliche Schadensrate GG DN < 100 1876 -1939

7.4.3.3 Asbestzement

Die ersten AZ-Rohre wurden 1932 verlegt. Zwischen 1932 und 1940 wurden die Rohre fast ausschließlich von der FA. Hatschek, Vöcklabruck geliefert. Die AZ-Rohre waren anfangs ungestrichen. Nur in Böden mit zementangreifenden Eigenschaften erhielten sie einen Außenanstrich [H. VARETZA (1980)]. Eine Unterscheidung wurde daher vorerst auch hinsichtlich der vor 1940 und der danach verlegten Leitungen getroffen.

AZ-Leitungen wurden weiters nach Durchmessern unterteilt. Rohre DN < 100 zeigen ein besonders hohes Schadensaufkommen und wurden daher und auch aus den oben angeführten Gründen als eigene Gruppe untersucht.

Durch Zusammenfassen der Rohre von DN 100 bis DN 200 wurde untersucht, ob die Schadensanfälligkeit der Rohre mit steigendem Durchmesser weiter abnimmt, oder ob tatsächlich speziell die Rohre mit Durchmesser < 100 anfällig sind.

Schadensraten:

Die Schäden an Leitungen mit DN < 100 treten, nach Auskunft von Herrn DI Weinbauer, meist als Folge von Bodenbewegungen auf. Dennoch ist auch bei Asbestzement ein Alterungsprozess bemerkbar. Der Alterungsprozess setzt deutlich früher ein, als bei Graugussrohren derselben Nennweite. Bei den Rohren DN 100 bis DN 200 sind noch keine signifikanten Verschleißerscheinungen bemerkbar.

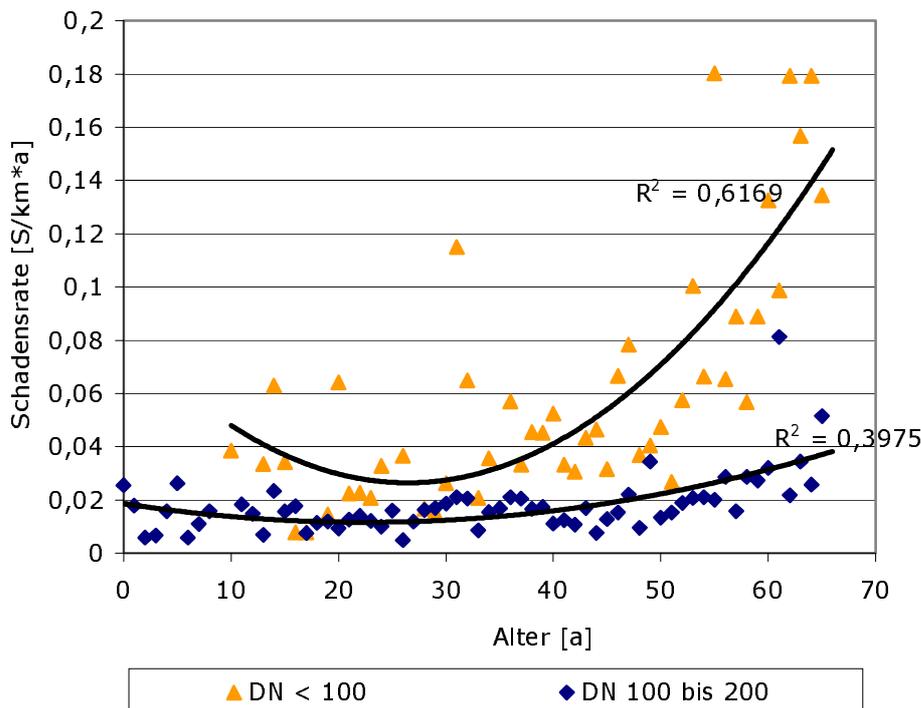


Abb. 7.4.14: Altersabhängige Schadensraten AZ DN < 100

Generell nimmt bei AZ DN < 100 die Anzahl der jährlichen Schäden in den letzten Jahren stark zu. Die Schadensrate lag in den Jahren 1995 – 1999 im Mittel knapp unter 0,3 S/km*a mit steigender Tendenz.

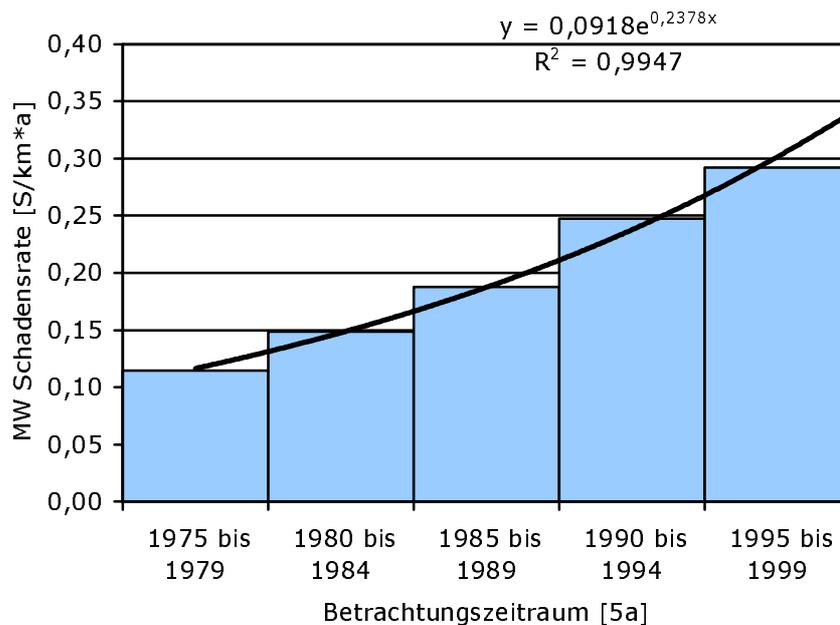


Abb. 7.4.15: Trend der jährlichen Schadensrate an AZ-Leitungen DN < 100

Die Unterschiede zwischen den vor und den nach 1940 verlegten Leitungen sind nur geringfügig (siehe Anhang A). Eine getrennte Gruppierung kann daher entfallen. Ab einer Nennweite DN > 200 traten bisher keine nennenswerten Schäden auf.

7.4.3.4 Stahl

Stahlrohre wurden nach Nennweiten, nicht jedoch hinsichtlich unterschiedlicher Verlegeperioden, unterteilt. Die meisten Stahlrohre wurden vor 1940 verlegt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es sich vor allem um die, im DVGW Hinweis angegebenen, Stahlrohre mit Stemmmuffen und Bitumenhüllung handelt. Stahlrohre sind in Graz derzeit die einzigen Rohre, an denen in der Vergangenheit bereits massive Erneuerungen vorgenommen wurden.

Schadensraten:

Stahlrohre sind in Graz, wie in vielen Städten, die schadensanfälligsten Rohre. Bedingt durch den frühen Einsatz könnte vermutet werden, dass Stahlrohre ähnlich günstige Randbedingungen vorfanden, wie Graugussrohre. Aufgrund der starken Korrosionsanfälligkeit dieser Leitungen ergeben sich jedoch allgemein kürzere Lebensdauern.

Bei Stahl ist kaum ein Trend der Schadensrate in Abhängigkeit vom Alter bemerkbar. Bei dieser Gruppe sind die abgeschätzten Kohortenlängen mit äußerster Vorsicht zu betrachten. Der Bestand wurde bereits auf fast die Hälfte reduziert. Die Abgänge können jedoch, wie erwähnt, für die Berechnung der altersbezogenen Schadensrate nicht berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung der Entwicklung der Schadensrate sind die Längen jedoch exakt bekannt. Trotz bereits erfolgter Erneuerungsmaßnahmen steigt, wie aus Abb. 7.4.16 ersichtlich wird, die Schadensrate weiter an.

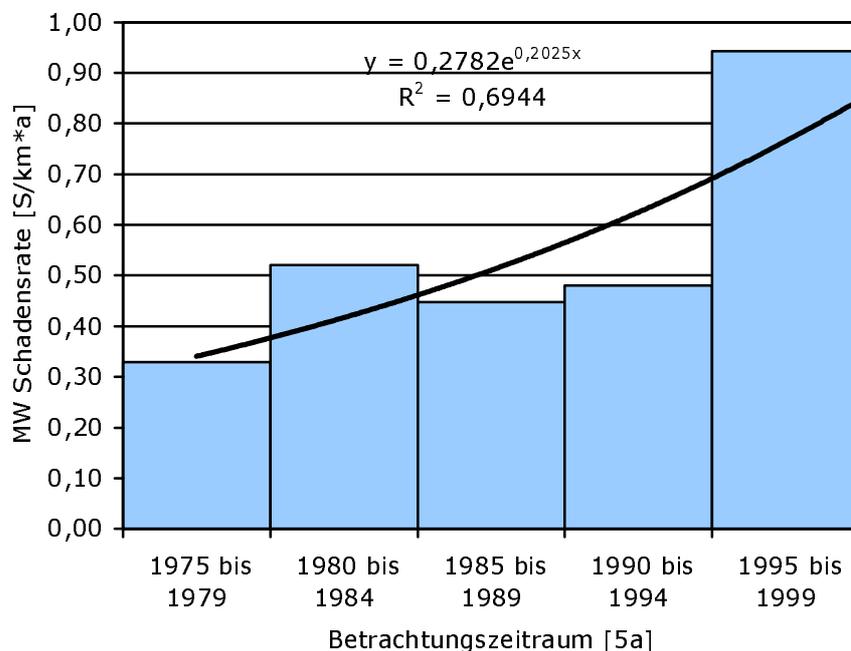


Abb. 7.4.16: Jährliche Schadensrate von Stahlleitungen

7.4.3.5 PVC

Eine Unterteilung erfolgt vor allem hinsichtlich der Nennweite. Kunststoffrohre größerer Nennweite zeigen ein anderes Nutzungsdauerverhalten als jene mit kleinerer Dimension. Die, vom DVGW vorgeschlagene, Unterteilung nach ortsspezifischen Kriterien sollte in Zukunft für Graz, insbesondere hinsichtlich der zu erwartenden Maximaldrücke, vorgenommen werden.

Die Einteilung der PVC Leitungen war anhand der Schadensstatistik eindeutig nach Rohren $DN < 150$ und Rohren $DN \geq 150$ möglich.

Schadensraten:

Steigt bei PVC Rohren $\geq DN 150$ die Schadensrate gemäß dem Trend weiter an, so erreicht sie, ohne zusätzliche Rehabilitationsmaßnahmen, in den nächsten Jahren, mit großer Wahrscheinlichkeit, Werte bis zu 0,5 S/km*a (siehe Abb. 7.4.17).

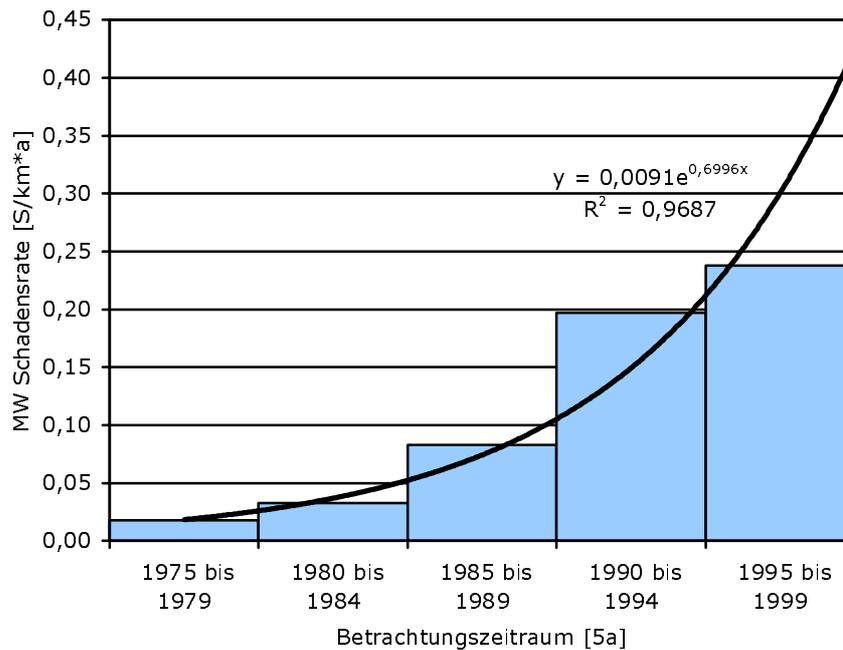


Abb. 7.4.17: Jährliche Schadensrate von PVC Leitungen DN ≥ 150

7.4.3.6 Duktilguss

Duktilgussrohre wurden, entsprechend der Angaben der Tiroler Röhren- und Metallwerke, in Rohre, die von 1970 bis 1980 (GGG), in Rohre die von 1980 bis 1985 mit Zugsicherung (GGGz) und in Rohre die nach 1985 (GGGzsm, GGGzsmpe) verlegt wurden, unterteilt.

Lediglich an den von 1970 bis 1980 verlegten Leitungen sind bisher Schäden aufgetreten. Die oben genannte Gruppierung wurde beibehalten.

7.4.4 ERGEBNISSE DER VORUNTERSUCHUNGEN FÜR GRAZ

7.4.4.1 Endgültige Leitungsgruppen

Resultierend aus den Voruntersuchungen wurden abschließend für Graz folgende Leitungsgruppen festgelegt.

Grauguss

- X GG DN < 150 1870 – 1875
- X GG DN < 100 1876 – 1939
- X GG DN 100 und DN 125 1876 – 1939
- X GG DN < 150 1940 - 1969
- X GG DN \geq 150

Bei allen Auswertungen der Graugussrohre ist zu beachten, dass die Leitungslängen der einzelnen Gruppen vor 1939 nur mittels Extrapolation ermittelt werden konnten. Genauere Auswertungen der Schadensraten an Gussrohren, können erst mit den GIS-Daten erzielt werden. Die Gruppeneinteilung kann sich dadurch noch ändern.

Asbestzement:

- X AZ DN < 100
- X AZ DN von 100 bis 200
- X AZ DN > 200

Die Auswertungen für AZ Rohre sind genauer als die der Graugussleitungen, da nur bei den ersten Verlegejahrgängen die Längenermittlung nicht exakt möglich war.

Stahl:

- X Stahl alt (1886 bis 1967)
- X Stahl neu zugfest (seit 1997)

Stahlrohre weisen die höchsten jährlichen Schadensraten auf. Die altersbezogene Auswertung für Stahlrohre ist jedoch mehr oder weniger unbrauchbar, da für Stahl die Abschätzung der Kohortenlängen die größten Fehler aufweist. Die alten Stahlrohre sind bereits zur Hälfte erneuert.

Kunststoff:

- X PVC \geq 150 (1970 – 1990)
- X PVC < 150 (1960 bis 1995)
- X PE

Vor allem Leitungen, die stark druckbeansprucht sind zeigen, nach Auskunft von Herrn DI Weinbauer, ein hohes Schadensaufkommen. Bei PVC \geq 150 sollte in Zukunft eine weitere Gruppe anhand lokaler Gesichtspunkte gebildet werden.

Duktilguss:

- X GGG (1970 bis 1979)
- X GGGz (1980 – 1985)
- X GGGzsm (ab 1986)
- X GGGzsmpe (ebenfalls ab 1986)

Lediglich die Duktilgussrohre der ersten Generation zeigen geringfügige Verschleißerscheinungen. Die Bestandsdaten sind bereits jetzt sehr genau.

7.4.4.2 Entwicklung der Schadensrate je Leitungsgruppe

In Graz zeigen viele Leitungsgruppen in den letzten 10 Jahren ein deutliches Ansteigen der Schadensraten (siehe dazu auch Anhang A). Hierzu zählen v.a. Stahlrohre, aber auch AZ und GG-Leitungen DN < 100, PVC-Leitungen DN \geq 150 oder auch Graugussrohre DN < 150, die zwischen 1940 und 1969 (ca. 10km) verlegt wurden.

Im Anschluss an die Schadensauswertungen einzelner Gruppierungen wurde eine Auflistung nach aktuellen Schadensraten (MW 1995-1999) erstellt (Tab. 7.4.2). Zusätzlich wurde die, in den letzten Jahren (MW 1996-1999) bei den Grazer Wasserwerken, erzielte Erneuerungsrate je Leitungsgruppe ermittelt. Seit 1996 wird in der Bestandsdatenbank der Wasserwerke zwischen Neuverlegung, Umlegung, Erneuerung und Sanierung unterschieden. Die erneuerten Längen je Gruppe können somit mit PiReP ermittelt werden. Tab. 7.4.2 enthält auch die von A. BÖHM (1993) empfohlenen Erneuerungsraten, in Abhängigkeit von der Schadensrate (siehe auch Tab. 5.1.1). Diese wurden zum Teil extrapoliert. Für Kunststoffleitungen können die Empfehlungen nicht angewendet werden.

Tab. 7.4.2: Jährliche Schadens- und Erneuerungsraten der Leitungsgruppen

Leitungsgruppe	Schadensrate [S/km*a]	Mittleres Alter [a]	Erneuerungs- rate (e) [%]	e-Soll nach BÖHM [%][
GG DN < 150 1870 - 1875	0,1	125	0,1 (Ø GG)	~ 0,1
GG < 100 1876 -1939	0,4	85	0,1 (Ø GG)	~ 0,8
GG DN 100 u.125 1876 – 1939	0,21	81	0,1 (Ø GG)	~ 0,2
GG DN< 150 1940 - 1969	0,4	43	0,1 (Ø GG)	~ 0,5
GG DN ≥ 150	0,05	74	0,08	0
AZ DN < 100	0,3	43,7	0,27	~ 0,6
AZ DN 100 und 125	< 0,07	41	0,23	0
AZ DN > 200	0	0	0	0
Stahl DN < 150	1,5	60	2,52	~ 2-3
Stahl DN ≥150	0,45	62	0,68	~ 0,5
PVC ≥ 150	0,25	19	0,76	-
PVC < 150	<0,05	19	0	-
GGG	0,08	27	0	-
Netz	0,12	41,5	0,16	-

Der DVGW empfiehlt, abgeleitet aus langjähriger Betriebserfahrung deutscher Wasserwerke, dass die Schadensraten einzelner Leitungsgruppen 0,5 Schäden/km*a nicht überschreiten sollen. Dieser Richtwert wird in Graz derzeit lediglich von Stahlrohren DN ≤ 150 überschritten. Dies jedoch deutlich und trotz intensiver Erneuerungsmaßnahmen. Grauguss und Asbestzementleitungen DN < 100 bzw. die jüngeren GG Leitungen DN < 150 nähern sich bereits dem Richtwert. Bei Beibehaltung der teils zu niedrigen Erneuerungsraten ist zu erwarten, dass auch diese Gruppen den Richtwert in den nächsten Jahren überschreiten werden.

Nur durch konsequente kontinuierliche Rehabilitationen kann einem weiteren Anstieg entgegengewirkt werden.

7.4.4.3 Strangauswahl besonders schadensanfälliger Leitungen

Sobald die Schäden in der Datenbank auf den Leitungsstrang bezogen vorliegen, können auch die Schadensraten einzelner Abschnitte berechnet werden und somit können mit PiReP auch vorrangig zu erneuernde Leitungsabschnitte ermittelt werden.

Es gibt in Graz bereits jetzt Leitungsabschnitte, die Schadensraten von mehr als 4 S/km*a aufweisen. Ab dieser Schadensrate ist, laut DVGW, eine Erneuerung in jedem Fall auch hinsichtlich der Kosten, die günstigste Instandhaltungsmaßnahme [W. LINDNER (1999)]. Dies konnte auch durch eine, am Institut für Siedlungswasserwirtschaft durchgeführte, Diplomarbeit mit dem Thema „Ermittlung des günstigsten Rehabilitationszeitpunktes von Wasserversorgungsleitungen“ erkannt werden [W. SEM-LITSCH (2000)].

7.5 SCHÄTZUNG DER ALTERUNGSPARAMETER

Im Anschluss an die Leitungsgruppenbildung und die Auswertung der Schadensraten können die Alterungsfunktionen kalibriert werden. Gruppe für Gruppe werden die Resistenzzeit (das Alter, das von 100% der Leitungen erreicht wird) und zwei weitere Werte der Überlebensfunktion, z.B. das Alter, das 50% und das Alter, das nur mehr 10% der Leitungen erreichen, geschätzt (siehe Kap.2.4.3).

Nach der Eintragung der Schätzwerte werden die Alterungsparameter a, b und c für pessimistische und optimistische Einschätzung des Ausfallsverhaltens berechnet. Die graphische Darstellung der Funktionen wird durch Anklicken des „Alterungsfunktionen“- Buttons aufgerufen. Die, aus der Literatur gemittelten, Alterungsfunktionen werden ebenfalls dargestellt.

Eingabe der Alterswerte:		
Pessimistisch:	Optimistisch:	Literatur Mittel:
100 % Wert: 10	100 % Wert: 15	100 % Wert: 40
50 % Wert: 40	50 % Wert: 50	50 % Wert: 60
10 % Wert: 55	10 % Wert: 65	10 % Wert: 80

Berechnung der Alterungsparameter:		
Pessimistisch:	Optimistisch:	Literatur Mittel:
c: 10	c: 15	c: 40
a: 72,1	a: 149,8	a: 5,97
b: 0,14	b: 0,14	b: 0,1

Abb. 7.5.1: Schätzung der Alterungsparameter

Die Alterungsparameter können mit Hilfe der Schadensstatistik und Aufzeichnungen über bereits erfolgte Erneuerungen geschätzt werden.

Die Funktion der Ausfallrate [%] beschreibt die Ausfälle [m] bezogen auf den vorhandenen Bestand der betroffenen Kohorte [m] in Abhängigkeit vom Alter. Existieren, wie in Graz, keine Aufzeichnungen über das Verlegejahr der erneuerten Leitungen, können diese „Ausfälle“ für die Schätzung der Alterungsparameter nicht herangezogen werden. In Hinblick auf bereits erfolgte „Ausfälle“ sind somit die Schäden in Abhängigkeit vom Alter der einzige Anhaltspunkt.

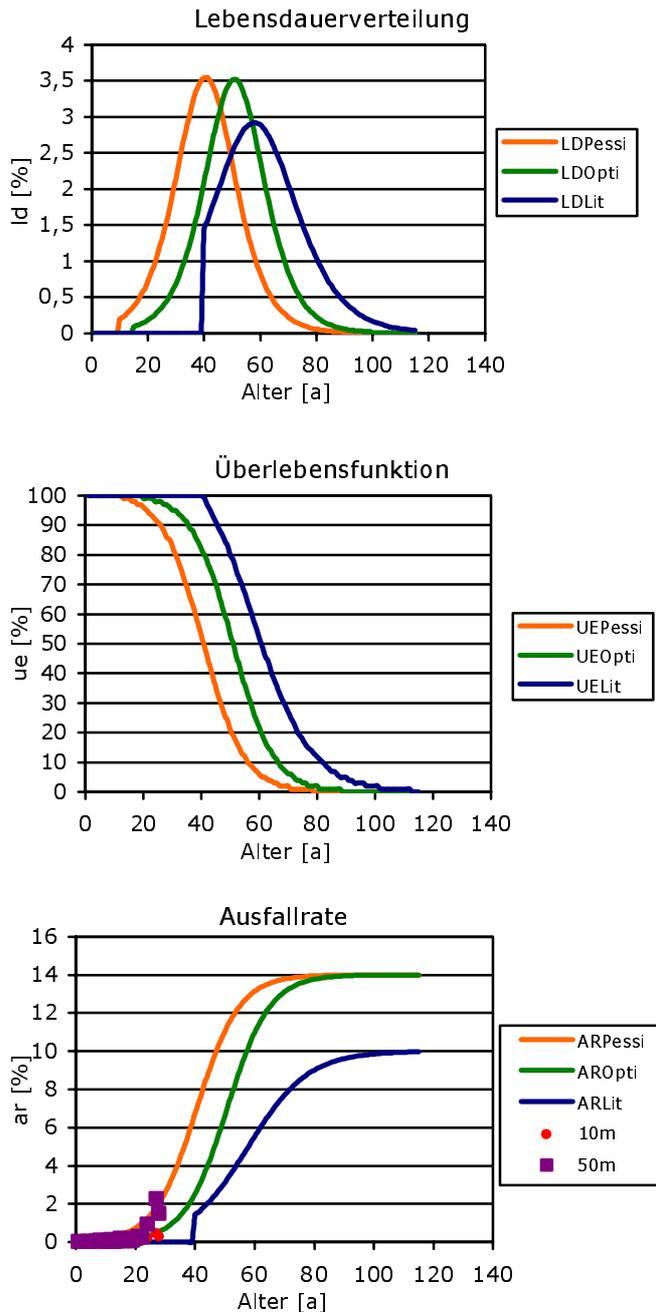


Abb. 7.5.1: Alterungsfunktionen nach HERZ für PVC DN ≥ 150

Bei Gruppen, die einen signifikanten Trend der Schadensrate zeigen, kann, mittels Parametervariation, die Ausfallrate gut an den Verlauf der Schadensraten mit dem Alter angepasst werden. Dies erfolgt in PiReP bei **optimistischer** Betrachtung unter der Annahme, dass ein Schaden einem Ausfall eines Rohrstücks mit einer Länge von 10 m entspricht. Eine Schadensrate von 1 S/km*a entspricht somit einer Ausfallrate von 1%. Eine Länge von 10 m erscheint, nach Ansicht der Verfasserin, für die derzeitige Instandhaltungspraxis der Grazer Wasserwerke als plausibel. Manche Schäden betreffen zwar mit Sicherheit einen kürzeren Abschnitt, andere Abschnitte wurden jedoch bereits auf einer größeren Länge ausgetauscht.

Um auch eine **pessimistische** Erneuerungspraxis simulieren zu können, wurde weiter angenommen, dass je Schaden eine Länge von 50 m erneuert wird.

In Anhang A sind für alle Leitungsgruppen, die anhand der Schäden geschätzten Altersfunktionen abgebildet.

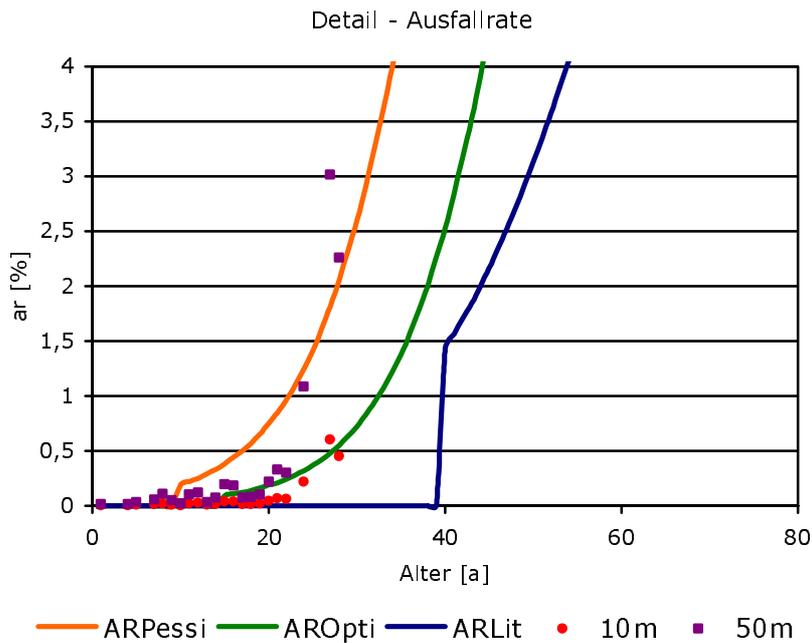


Abb. 7.5.2: Detailansicht der, durch Parametervariation an die Schadensrate angepassten Ausfallrate (ar) für PVC DN ≥ 150

Tab. 7.5.1 und Tab. 7.5.2 zeigen die Alterungsparameter bei pessimistischer und optimistischer Betrachtung, die sich aufgrund dieser Annahmen ergaben.

Tab. 7.5.1: Alterswerte und -parameter (pessimistisch)

Leitungsgruppe	100%	50%	10%	c	a	b
AZ < 100	20	60	80	20	68,80	0,10
AZ > 200	30	60	80	30	21,70	0,10
AZ 100 bis 200	10	80	100	10	1610,00	0,10
GG < 100 1876 - 1939	30	100	130	30	137,10	0,07
GG < 150 1940-1969	10	50	70	10	68,80	0,10
GG \geq DN 150	20	100	140	20	64,70	0,05
GG 100 u.125 1876-1939	30	120	150	30	518,60	0,07
GGG	5	40	70	5	9,77	0,07
GGG zzm	80	100	120	80	5,97	0,10
GGG zzmpe	100	120	140	100	5,97	0,10
GGGz	30	60	90	30	5,96	0,06
PE – X	20	50	80	20	5,96	0,06
PVC < 150	20	55	80	20	17,30	0,08
PVC \geq 150	10	40	55	10	72,10	0,14
St alt	30	60	80	30	21,70	0,10
ST pe neu	100	120	140	100	5,97	0,10
Leitungsgruppe	100%	80%	10%	c	a	b
GG < 150 1870-1875	80	130	185	80	86,00	0,06

Tab. 7.5.2: Alterswerte und -parameter (optimistisch)

Leitungsgruppe	100%	50%	10%	c	a	b
AZ 100 bis 200	40	100	120	40	593,90	0,10
GGGz	50	80	110	50	5,96	0,06
GGG zzm	120	140	160	120	5,97	0,10
St alt	40	80	100	40	68,80	0,10
ST pe neu	100	120	140	100	5,97	0,10
PVC >= 150	15	50	65	15	149,80	0,14
PVC < 150	30	85	105	30	347,80	0,10
GG >= DN 150	80	155	175	80	2729,00	0,10
AZ < 100	30	90	110	30	593,90	0,10
GGG	20	70	90	20	203,40	0,10
GG < 100 1876 - 1939	40	135	165	40	734,90	0,07
GG < 150 1940-1969	30	90	110	30	593,90	0,10
GG 100 u.125 1876-	80	160	190	80	257,80	0,07
GGG zzmpe	100	120	140	100	5,97	0,10
AZ > 200	50	80	100	50	21,70	0,10
PE - X	30	70	90	30	68,80	0,10
Leitungsgruppe	100%	80%	10%	c	a	b
GG < 150 1870 - 1875	80	160	220	80	392,90	0,05

7.6 REHABILITATIONSBEDARFSPROGNOSE

Nach Abschluss der Parameterschätzung kann der langfristige Rehabilitationsbedarf prognostiziert werden. Dazu steht ein weiteres Abfrageformular zur Verfügung. Die Berechnung startet durch Klick auf den *Button* „Prognose“. Zuvor muss die Leitungsgruppe bestimmt werden, der die neuen Leitungen zuzuordnen sind. Die jährlich prognostizierten Rehabilitations- bzw. Erneuerungslängen je Leitungsgruppe werden in einer Tabelle (*Tab_Erneuerungsbedarf*) gespeichert.

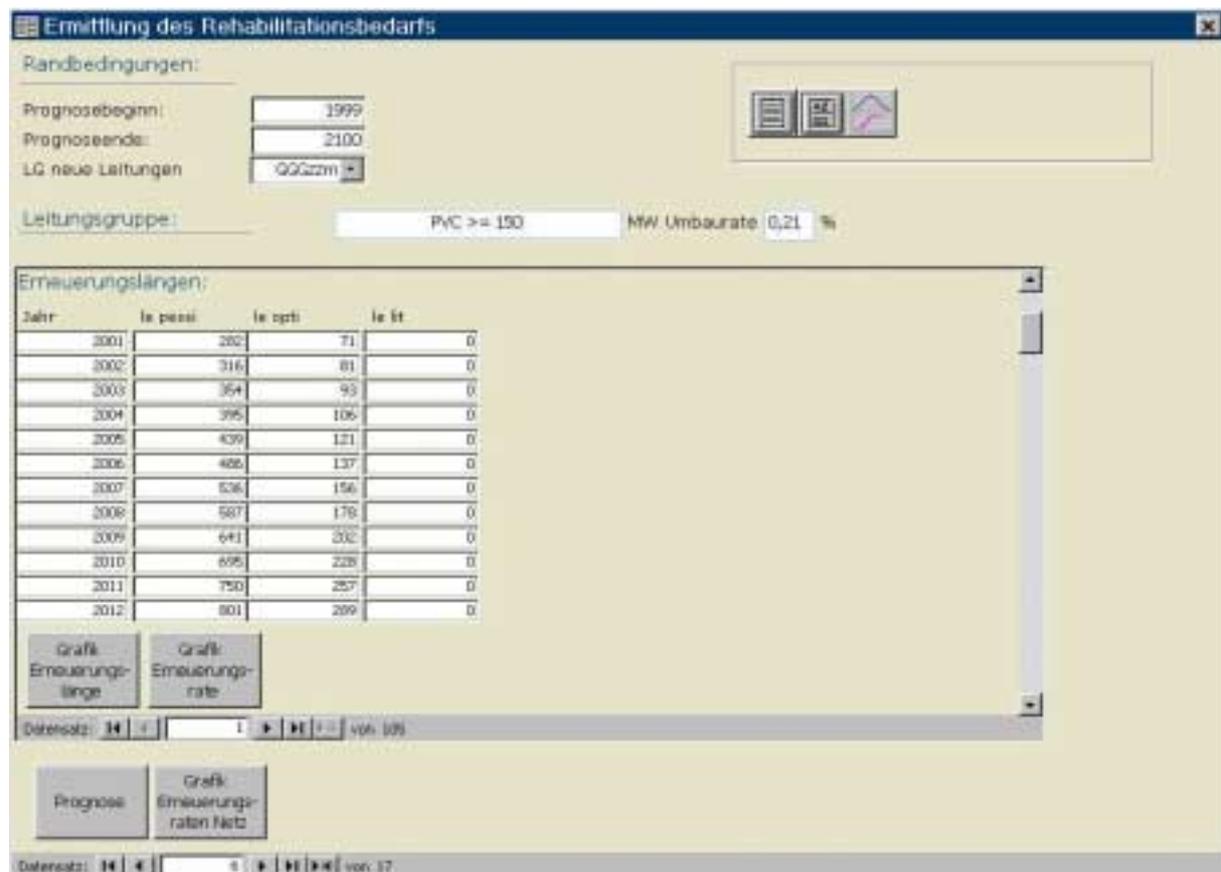


Abb. 7.6.1: Rehabilitationsbedarfsprognose

Nach Beendigung der Berechnungen können die prognostizierten Längen Gruppe für Gruppe graphisch dargestellt werden.

7.6.1 REHABILITATIONSBEDARFSPROGNOSE GRAZER ROHRNETZ

Im folgenden sind die prognostizierten Rehabilitationslängen einiger Leitungsgruppen bis ins Jahr 2010 angeführt. Es wurden jene Gruppen ausgewählt, bei denen aufgrund des steigenden Trends der Schadensraten eine Erhöhung der jährlichen Erneuerungen bzw. Sanierungen erfolgen sollte. Die prognostizierten Rehabilitationslängen sind für pessimistische und optimistische Erneuerungspraxis und im Mittel angegeben.

7.6.1.1 Grauguss

GG DN < 150 1870 – 1875

Tab. 7.6.1: *Erneuerungslängen*
GG DN < 150 1870 - 1875

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	426	56	241	241
2002	442	60	251	492
2003	458	62	260	752
2004	474	65	270	1022
2005	490	68	279	1301
2006	506	71	289	1590
2007	522	74	298	1888
2008	538	77	308	2196
2009	553	81	317	2513
2010	569	85	327	2840

In Graz können bei den *englischen Gussrohren* die jährlichen Erneuerungslängen weit unter den, für Leitungen dieses Alters in anderen Städten, erforderlichen Längen liegen. Laut Prognose sollten *bis 2010 im Mittel ca. 3 km* erneuert werden (Tab. 7.6.1). Die Entwicklung der Schäden muss jedoch weiter beobachtet werden. Nach Fertigstellung des GIS sollte eine neuerliche Betrachtung der Leitungsgruppen mit dem tatsächlich vorhandenen Bestand erfolgen.

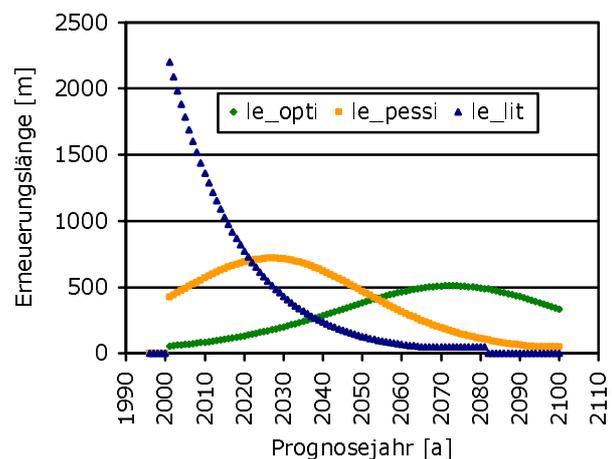
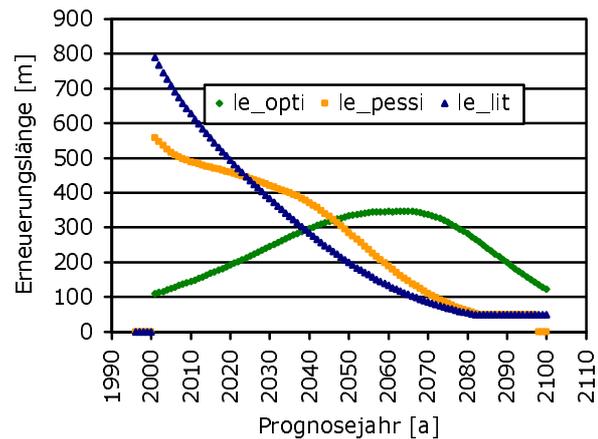


Abb. 7.6.2: *Erneuerungsbedarf*
GG DN < 150 1870 - 1875

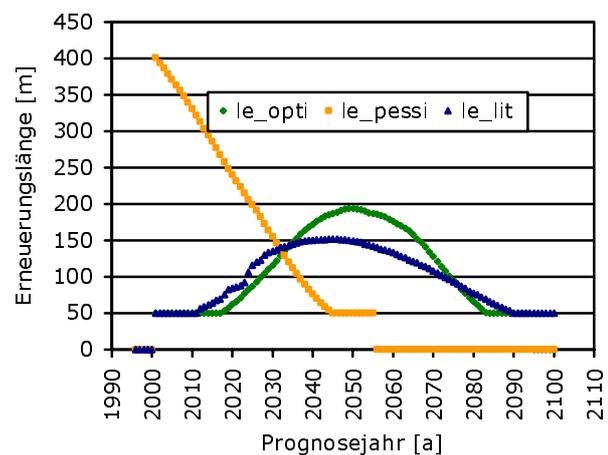
GG < 100 1876 – 1939**Tab. 7.6.2:** Erneuerungslängen
GG DN < 100 1876- 1839

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	558	109	334	334
2002	546	113	330	663
2003	535	116	326	989
2004	525	120	323	1312
2005	516	124	320	1632
2006	509	128	319	1951
2007	503	133	318	2269
2008	497	137	317	2586
2009	493	141	317	2903
2010	489	145	317	3220

Aufgrund der stark steigenden Schadensraten sollten bei dieser Gruppe die Rehabilitationen nicht mehr länger hinausgezögert werden. Bis ins Jahr 2010 sollten, laut Ergebnis der Modellierung, im Mittel ca. 3 km erneuert werden (Tab 7.6.2).

**Abb. 7.6.3:** Erneuerungsbedarf
GG DN < 100 1876 -1939**GG < 150 1940 – 1969****Tab. 7.6.3:** Erneuerungslängen
GG DN < 150 1940 - 1960

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	401	50	226	226
2002	394	50	222	448
2003	387	50	218	666
2004	379	50	215	881
2005	371	50	210	1091
2006	363	50	206	1297
2007	356	50	203	1500
2008	348	50	199	1699
2009	340	50	195	1894
2010	331	50	191	2085

**Abb. 7.6.4:** Erneuerungsbedarf
GG DN < 150 1940 - 1969

Ebenfalls aufgrund der erhöhten jährlichen Schadensrate sind bei diesen noch relativ jungen Leitungen in den nächsten 20 Jahren Erneuerungen in der Höhe von ca. 2 km erforderlich (Tab. 7.6.3).

7.6.1.2 Kunststoff

Tab. 7.6.4: Erneuerungslängen
PVC DN \geq 150

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	282	71	176	176
2002	316	81	199	375
2003	354	93	223	598
2004	395	106	251	849
2005	439	121	280	1129
2006	486	137	311	1440
2007	536	156	346	1786
2008	587	178	383	2169
2009	641	202	421	2590
2010	695	228	462	3052

Die Schäden an PVC Rohren DN \geq 150 treten, nach Auskunft von Herrn DI Weinbauer, vor allem in druckstoßbeeinflussten Bereichen auf. Die, für die nächsten 6 Jahre seitens der Wasserwerke geforderten Erneuerungen von 4 km Leitungslänge betreffen diese Bereiche. Bei zukünftiger räumlicher Analyse dieser lokal auftretenden Schäden, ist eine neue Leitungsgruppenbildung für eine bessere Erneuerungsbedarfsprognose zielführend.

Die PVC Leitungsgruppen sollten daher nach Fertigstellung des GIS, in diesem Sinne, weiter unterteilt werden.

PVC DN \geq 150

Der Erneuerungsbedarf bei PVC Rohren DN \geq 150 ist laut Prognose für die nächsten Jahre geringer, als aufgrund der Entwicklung der jährlichen Schadensraten angenommen werden könnte.

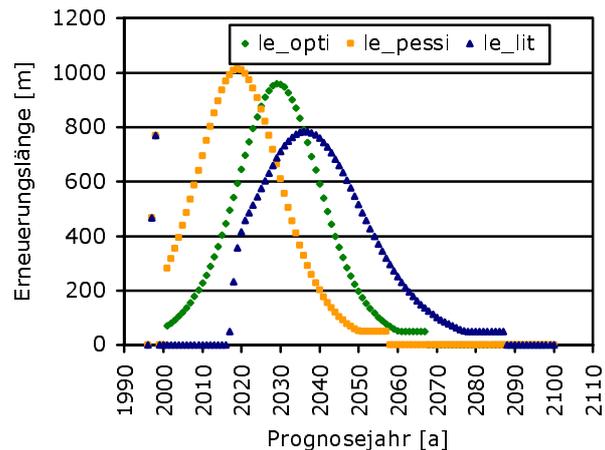


Abb. 7.6.5: Erneuerungsbedarf PVC DN \geq 150

7.6.1.3 Asbestzement

Tab. 7.6.5: Erneuerungslängen
AZ DN < 100

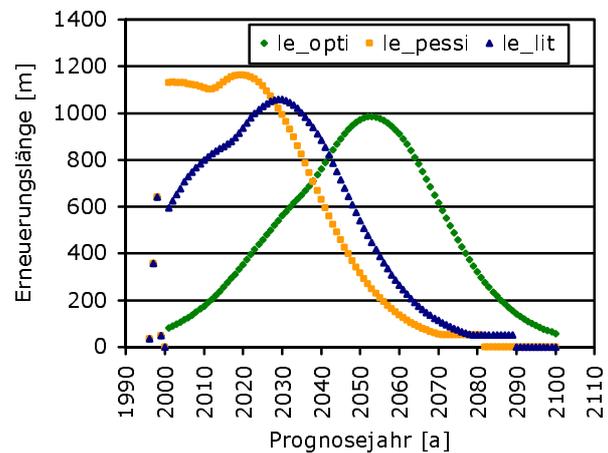
Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	1129	81	605	605
2002	1132	89	610	1215
2003	1131	97	614	1829
2004	1131	106	619	2448
2005	1129	116	622	3070
2006	1126	126	626	3696
2007	1122	137	630	4326
2008	1118	149	633	4959
2009	1114	162	638	5597
2010	1108	175	642	6239

AZ < 100:

Bis ins Jahr 2010 sollten aufgrund der Prognoseergebnisse ca. 6 km AZ-Leitungen DN < 100 erneuert werden, um dem Anstieg der Schadensraten auf mehr als 0,5 S/km*a entgegenzuwirken (Tab 7.6.5).

Steigt die Schadensrate weiter an, muss das Ausmaß der Erneuerungen erhöht werden.

Auch hier sollte eventuell nach 2002 eine weitere Gruppierung nach lokalen Kriterien erfolgen.

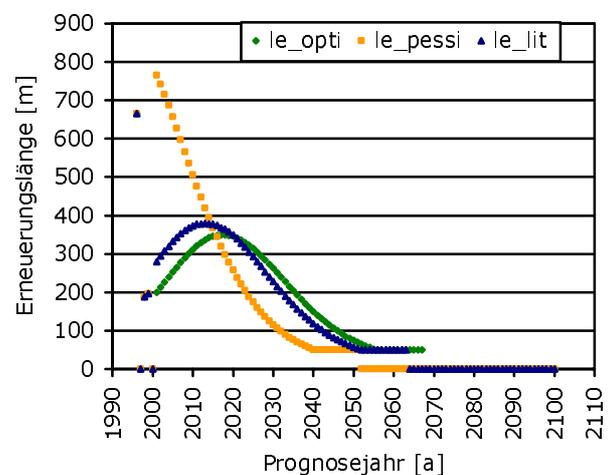


7.6.1.4 Stahl alt

TTab. 7.6.6: Erneuerungslängen
Stahl alt

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2001	766	200	483	483
2002	742	213	477	960
2003	716	226	471	1431
2004	688	239	464	1895
2005	658	252	455	2350
2006	628	265	446	2796
2007	597	278	437	3234
2008	566	290	428	3662
2009	536	301	418	4080
2010	506	311	409	4489

Abb. 7.6.6: Erneuerungsbedarf AZ DN < 100



Die Erneuerungslängen bei Stahlrohren sollten aufgrund der hohen Schadensraten - wenn möglich - näher am pessimistischen Bereich liegen, um das weitere Ansteigen der Schäden verhindern zu können. Im Mittel ergibt sich, laut Prognose, ein Bedarf von ca. 4,5 km Erneuerungen in den nächsten 10 Jahren (Tab 7.6.6).

7.6.1.5 Übrige Leitungsgruppen

Für die übrigen Leitungsgruppen ergeben sich insgesamt Erneuerungserfordernisse von ca. 20km für die nächsten 10 Jahre. Sie sollten, im Sinne einer vorausschauenden Rehabilitation des Netzes, nicht vernachlässigt werden, auch wenn die Schadensraten derzeit noch gering sind.

7.6.1.6 Gesamtnetz

Die Erneuerungsraten für das Gesamtnetz sind in Abb. 7.6.8 dargestellt.

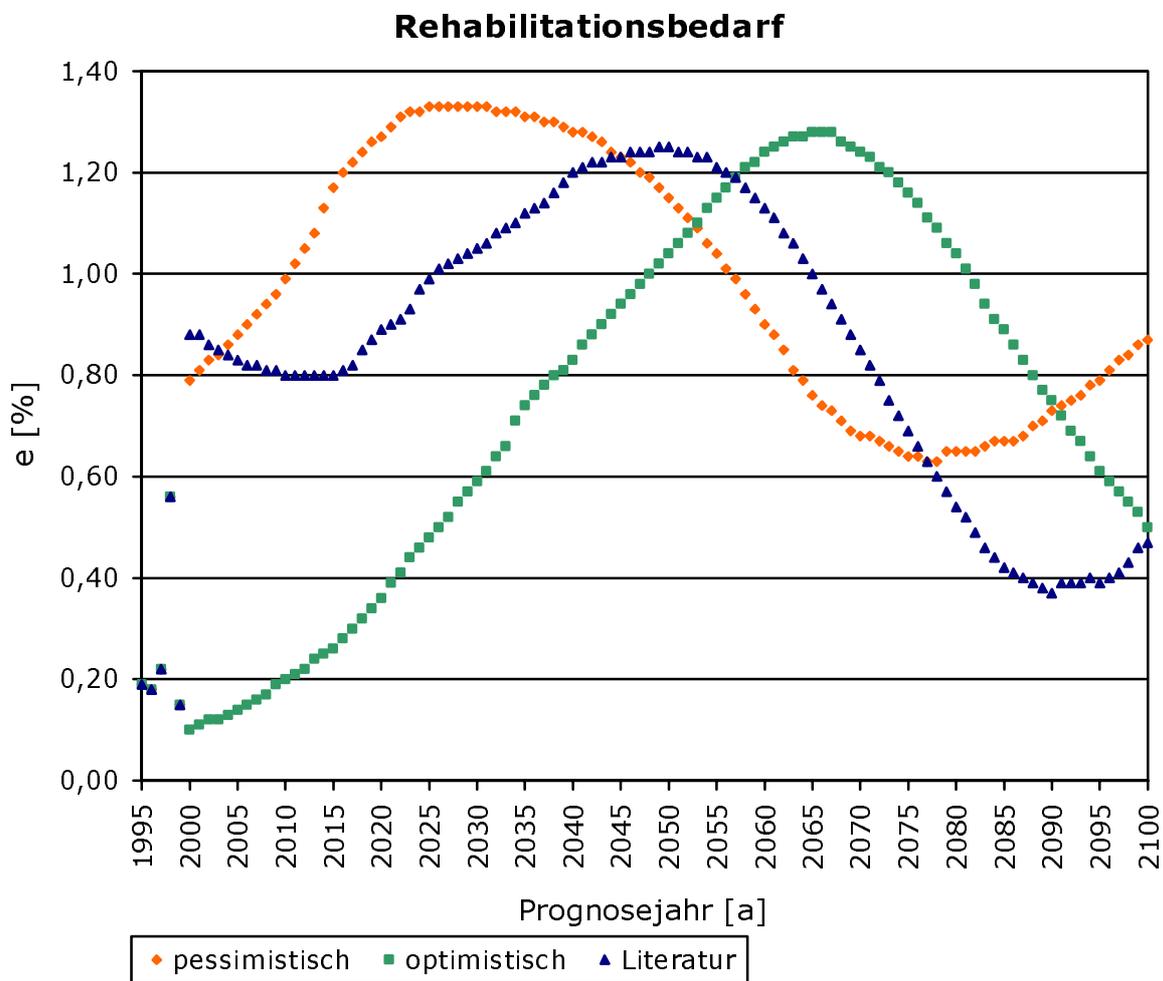


Abb. 7.6.8: Erforderliche jährliche Erneuerungsraten des Grazer Rohrnetzes (Soll-Werte)

Die tatsächliche Erneuerungsrate sollte immer im Bereich zwischen der optimistischen und der pessimistischen Kurve liegen. Durch die stark optimistische Annahme, die sich nur an der Reparatur von Schäden als Instandhaltungsmaßnahme orientiert, sollten die jährlichen Erneuerungsraten mindestens in der Größenordnung des Mittelwertes aus pessimistischer und optimistischer Erneuerungsrate liegen.

In Abb. 7.6.8 sind die empfohlenen mittleren Erneuerungsraten bis 2010 dargestellt. Die bisherigen Erneuerungsmaßnahmen sind hauptsächlich der Kategorie Umbau infolge von Fremdbaumaßnahmen zuzuordnen und enthalten kaum zustandsbedingte Erneuerungen ($e = 0,16\%$). Die, mit dem Prognosemodell abgeschätzten Erneuerungsrate betreffen direkt die, infolge von Verschleißerscheinungen, notwendigen Erneuerungen und sollten nicht länger hinausgezögert werden.

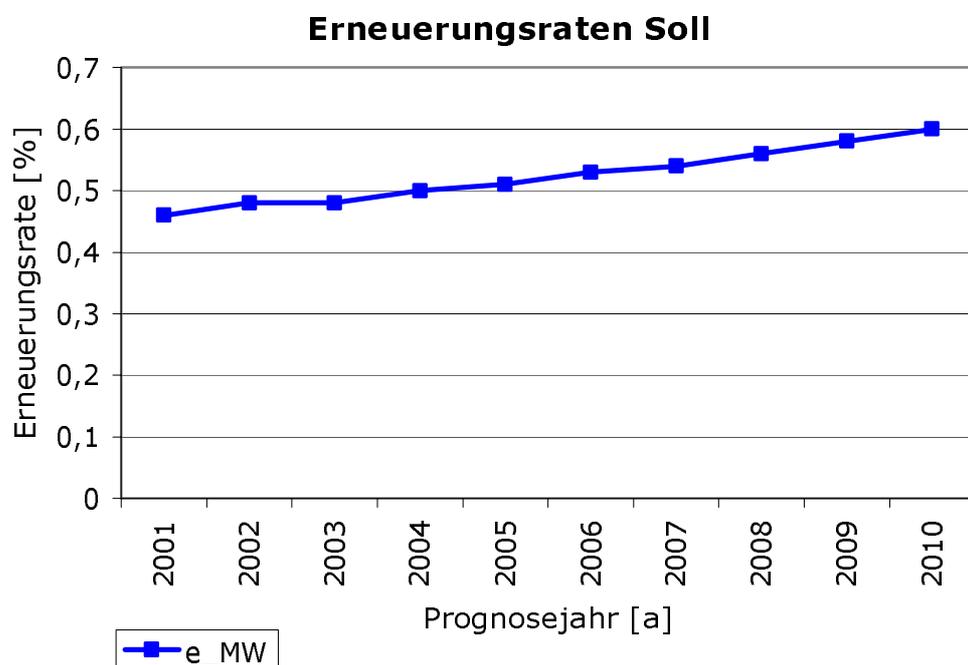


Abb. 7.6.9: *Empfohlene mittlere Erneuerungsrate für Graz bis 2010*

Als mittlere jährliche Gesamterneuerungslängen ergeben sich die in Tab 7.6.7 angeführten Werte.

Tab. 7.6.7: *Mittlere jährliche Erneuerungslänge*

Jahr	pessi	opti	MW	Σ (MW)
2000	5955	767	3361	3361
2001	6085	816	3450,5	6811,5
2002	6213	868	3540,5	10352
2003	6337	925	3631	13983
2004	6465	984	3724,5	17708
2005	6594	1045	3819,5	21527
2006	6738	1112	3925	25452
2007	6891	1184	4037,5	29490
2008	7062	1310	4186	33676
2009	7230	1392	4311	37987
2010	7452	1479	4465,5	42452

Diese entsprechen in etwa den, von Herrn DI Weinbauer vorgeschlagenen Erneuerungen im Ausmaß von ca. 27 km bis 2006 (siehe Kap. 5.1). Diese, anhand besonders schadensanfälliger Leitungen abgeleiteten Erneuerungserfordernisse sollten somit auch in Hinblick auf eine vorausschauende, langfristige Rehabilitationsstrategie in den nächsten Jahren, durch entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden.

Stehen die für diese Erneuerungen notwendigen finanziellen Mittel nicht unmittelbar zur Verfügung, kann im Modul Szenarioanalyse modelliert werden, wie sich Versäumnisse von Erneuerungen auf den zukünftigen Bedarf auswirken.

7.7 SZENARIOANALYSE

Im Modul Szenarioanalyse können abschließend Auswirkungen auf den zukünftigen Erneuerungsbedarf abgeschätzt werden, die sich, bei Beibehaltung der bisher praktizierten Erneuerungsstrategie, bis zu einem definierten Zeitpunkt ergeben.

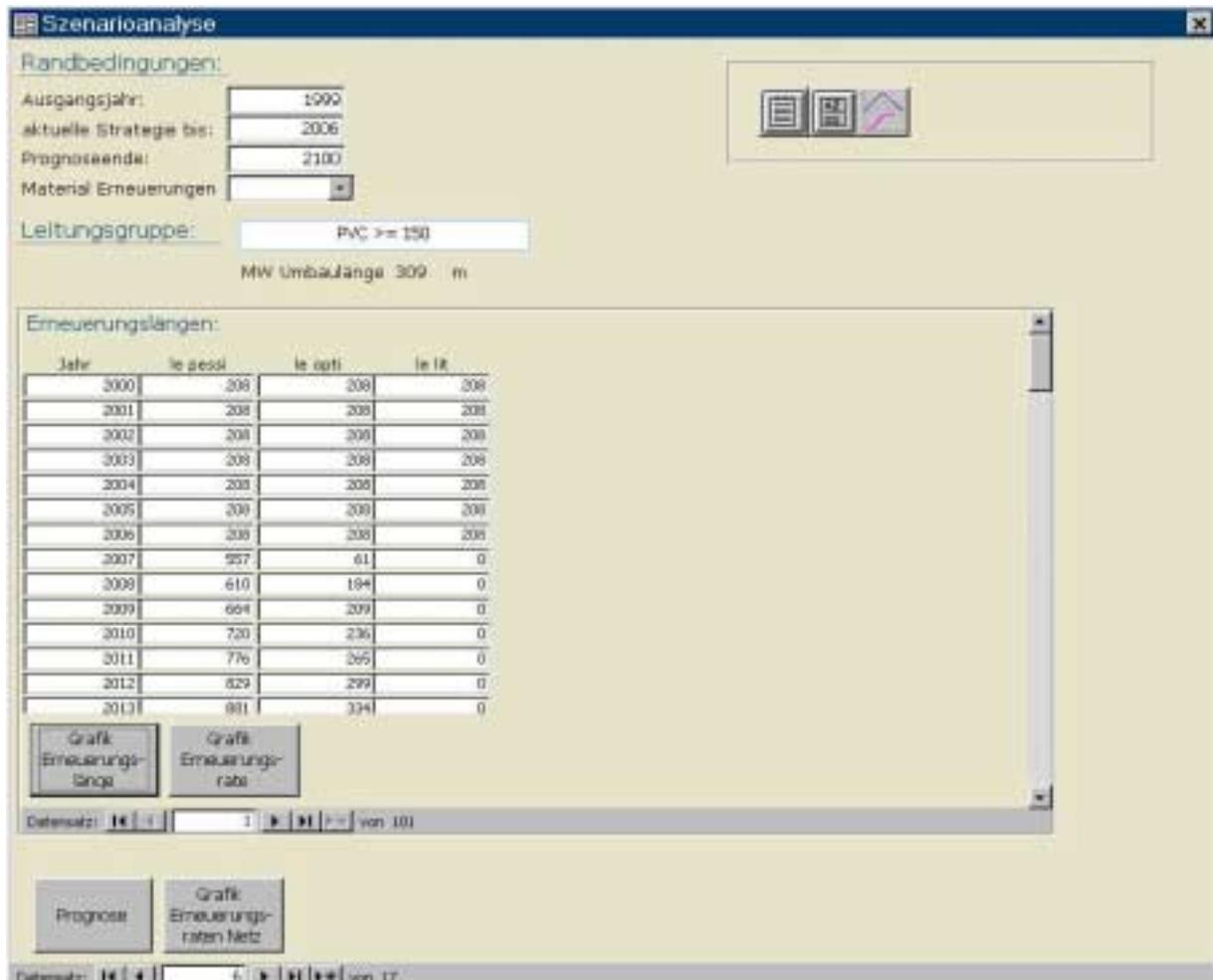


Abb. 7.7.1: Modul Szenarioanalyse

Dabei werden die Erneuerungslängen, je Leitungsgruppe, der letzten 5 Jahre gemittelt. Dieser Mittelwert wird als jährliche Erneuerungslänge der Gruppe bis zur Beendigung der aktuellen Strategie herangezogen.

Wird in Graz die derzeitige (1995 - 2000) durchschnittliche Erneuerungslänge je Leitungsgruppe bis 2006 beibehalten, ergeben sich daraus ab dem Jahr 2007 die in Abb. 7.7.2. dargestellten Erneuerungsraten.

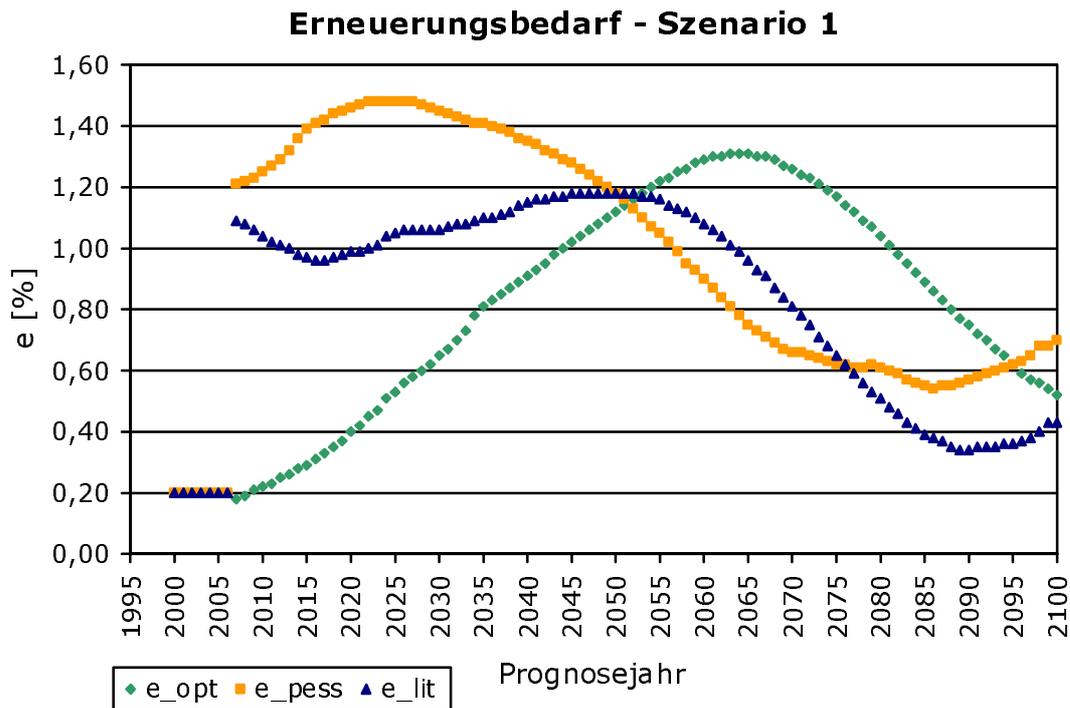


Abb. 7.7.2: Prognostizierter Erneuerungsbedarf bei Beibehaltung der derzeitigen Erneuerungsstrategie bis 2006 (Szenario 1)

Vergleicht man diese Prognose mit den empfohlenen Erneuerungsraten aus Abb. 7.6.8, so erhöht sich die Erneuerungsrate (Mittelwert) für 2007 von 0,54% auf 0,7%.

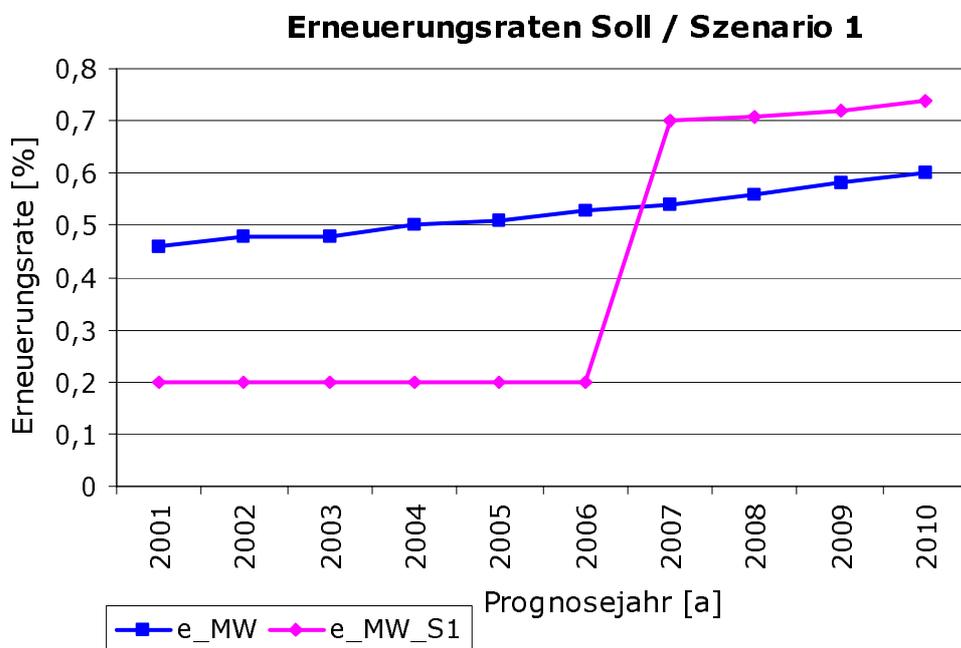


Abb. 7.7.3: Erneuerungsrate ab 2007 bei Beibehaltung der derzeitigen Instandhaltungspraxis

Wird die derzeitige Erneuerungspraxis allerdings bis ins Jahr 2020 weiterverfolgt, so ergeben sich die in Abb. 7.7.4 dargestellten Erneuerungsrate. Der Erneuerungsbe-

darf für das Jahr 2021 würde sich gegenüber dem Sollzustand von 0,85% auf 1,35% nahezu verdoppeln.

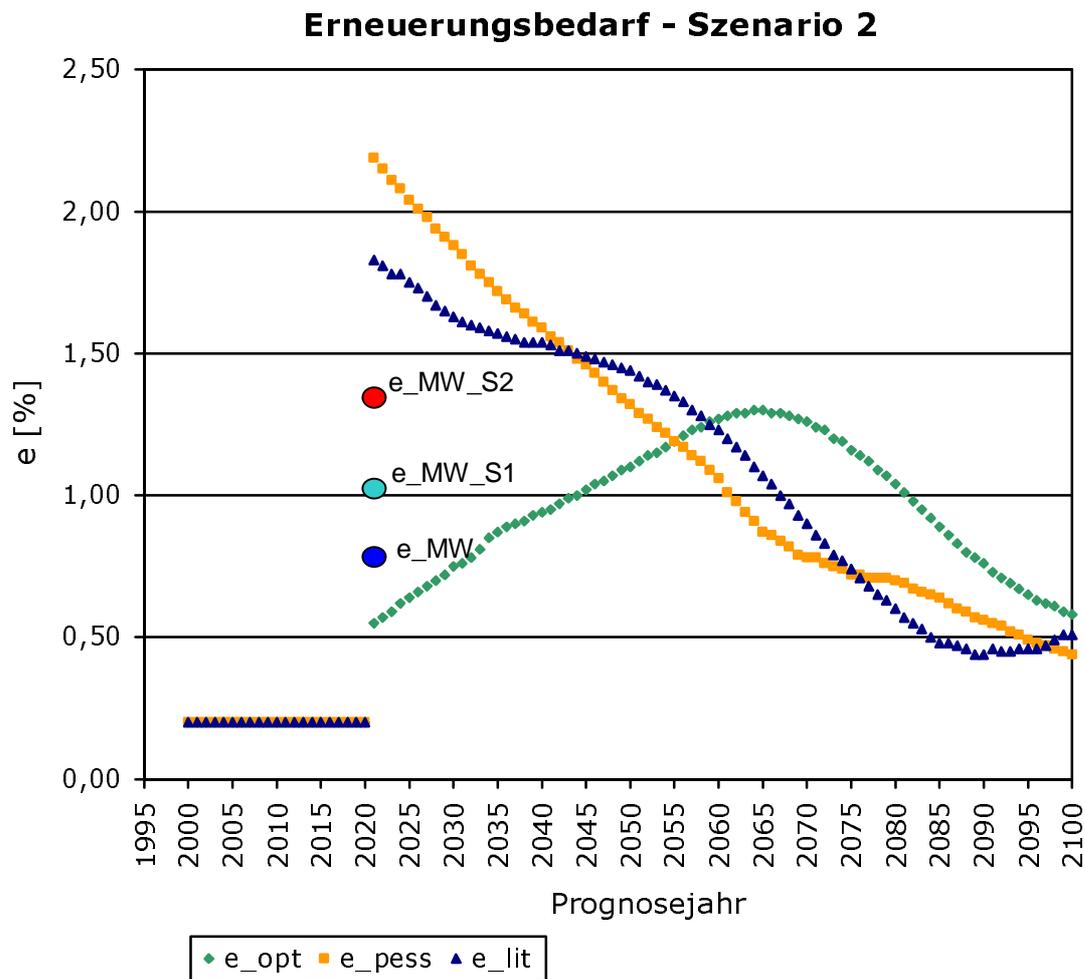


Abb. 7.7.4: Prognostizierter Erneuerungsbedarf bei Beibehaltung der derzeitigen Erneuerungsstrategie bis 2020 (Szenario 2)

Die beiden Szenarien verdeutlichen, dass eine schrittweise Anpassung der Erneuerungsrate an die prognostizierte Erneuerungsrate aus Abb. 7.6.8 unumgänglich sind, um einen überdurchschnittlich hohen Erneuerungsbedarf in der Zukunft vermeiden zu können. Auch wenn in Graz die jährliche Schadensrate derzeit noch nicht dramatisch ansteigt, ist bei einer Beibehaltung der ereignisorientierten Strategie, dies in Zukunft zu erwarten (Abb. 7.7.5).

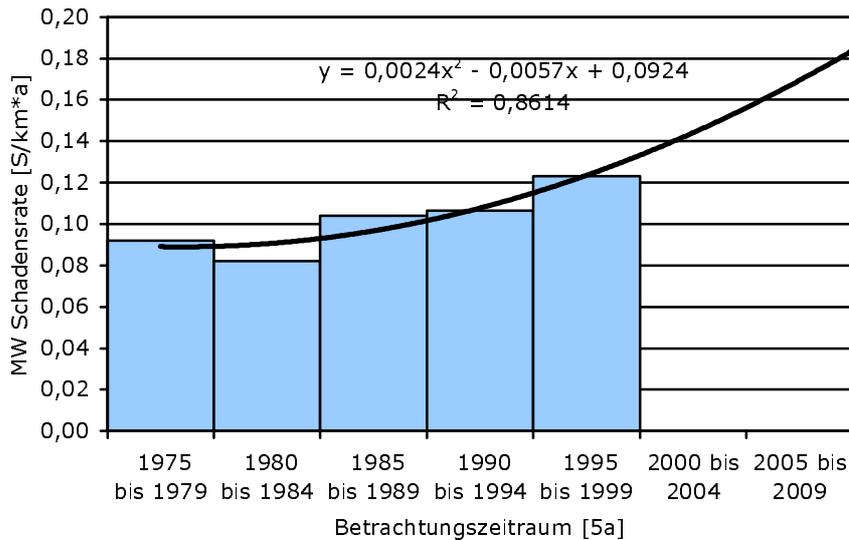


Abb. 7.7.5: Prognostizierte Schadensrate des Grazer Rohrnetzes

7.8 STRANGAUSWAHL

Die Ermittlung von vorrangig zu erneuernden Abschnitten kann anschließend durch Festlegung einer zulässigen Strangschadensrate (z.B. 1S/km*a) oder von maximal zulässigen Strangschadenskosten erfolgen. Diese abschließende Auswertung im Hinblick auf eine zustandsorientierte Umsetzung des jährlich erforderlichen Erneuerungsbedarfes, war derzeit für Graz nur bedingt möglich, da die Schäden nur für Leitungen die nach 1949 verlegt wurden strangbezogen ausgewertet werden können. Abb. 7.8.1 zeigt das entsprechende Formular.

max. Schadensrate je Strang: S/km*a

max. Reparaturkosten je Strang: ATS

empfohlene Erneuerungen:

Strasse	S/km*a	Material	DN
Steinbergstraße	10,96	ST	80
St.-Peter-Hauptstraße	4,12	GGG	125
Schwarzbauernweg	3,87	PVC	100
Schippingerstraße	2,17	AZ	100
Hochfeldweg	2	GGG	200
Radegunder Straße	2	AZ	125
Schnöbergergasse	1,82	GG	100
Walzer-Senebkowski-Weg	1,67	AZ	100
Straßengelstraße	1,67	AZ	100
Sturzgasse	1,57	AZ	200
Weinzenstraße	1,37	PVC	100
Wiesenaugasse	1,25	AZ	80
Rauchleitersstraße	1,22	PVC	100
Salfeldstraße	1,15	GGGz	100
Wegenergasse	1,14	AZ	80

Strasse	ATS	Material	DN
Petersbergenstraße	669408	PVC	150
Hochfeldweg	443001	PVC	200
Stöfingtalstraße	364679	AZ	125
Radegunder Straße	299770	PVC	150
Petersalstraße	295840	AZ	100
Plüddemanngasse	289237	AZ	200
Triester Straße	219657	GGG	200
Petersgasse	203163	GGG	250
Weinzenstraße	173251	PVC	100
Ragnitzstraße	170922	AZ	200
Schwarzbauernweg	142903	PVC	100
Walendorfer Hauptstraße	139443	GGG	150
Sturzgasse	138831	AZ	200
St.-Peter-Hauptstraße	125149	GG	125
Wassergasse	123383	GG	60

Abb. 7.8.1: Auswahl vorrangig zu erneuernder Abschnitte

8 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Für eine vorbeugende Strategieverfolgung bei der Planung von Rehabilitationsmaßnahmen gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Ansätze. Zum einen die konsequente Umsetzung von jährlich festgesetzten Rehabilitationsraten, aufbauend auf der Ausfallswahrscheinlichkeit verschiedener Rohrtypen. Zum anderen die Ermittlung des Rehabilitationsbedarfes anhand umfassender Zustandsanalysen, in einem nach geographischen Gesichtspunkten unterteilten Rohrnetz. Für beide Strategien ist ein hoher Informationsgrad über das Netz und dessen Zustand eine wesentliche Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse.

Die Planung der erforderlichen Rehabilitationsmaßnahmen am Wasserversorgungsrohrnetz kann durch die Sammlung, Zusammenführung und Analyse von Informationen in modernen Datenverwaltungssystemen (relationale Datenbanken, GIS) verbessert werden. Diese Systeme können, durch Anpassung an die gestellten Anforderungen, als Instrument zur Unterstützung von Entscheidungsfindungsprozessen verwendet werden.

Für die Lokalisierung von Schwachstellen im Netz und die darauf aufbauende zustandsorientierte Rehabilitationsplanung wurde versucht, ein Desktop-GIS als Decision Support System zu verwenden. Bestands- und Zustandsdaten des Grazer Wasserrohrnetzes wurden von den Grazer Wasserwerken zur Verfügung gestellt. Diese Daten wären jedoch nur durch erhebliche Anpassungen für räumliche Analysen verwendbar gewesen. Die umfangreiche Aufbereitung der vorhandenen Rohrnetzdaten wurde abgebrochen, da die Einführung eines Netzinformationssystems bei den Grazer Stadtwerken im Frühjahr 2000 begonnen wurde.

Ein wesentlicher Teil umfassender Rehabilitationsplanungen ist die Abschätzung des langfristigen Rehabilitationsbedarfes. Zu diesem Zweck wurde das Alterungsmodell nach HERZ in eine Access Datenbank integriert und liefert die mathematische Grundlage des, in dieser Arbeit entwickelten Decision Support Systems PiReP (Pipe Rehabilitation Planning System).

PiReP kann für folgende Teilschritte der Rehabilitationsplanung eingesetzt werden:

- ✗ die Verwaltung von Bestandsdaten und Schäden von Versorgungsleitungen,
- ✗ die Gruppierung von Leitungen mit ähnlichem Nutzungsdauerverhalten,
- ✗ die Ermittlung der Trendfunktion der Schadensrate verschiedener Leitungsgruppen,
- ✗ die Kalibrierung der Alterungsfunktionen der Leitungsgruppen,

- X die Prognose des langfristigen Rehabilitationsbedarfs der Leitungsgruppen und des Gesamtnetzes,
- X den Vergleich der Auswirkungen auf die Rohrnetzalterung, durch die jeweilige Umsetzung des prognostizierten Bedarfs (Szenarioanalyse) sowie
- X die Ermittlung vorrangig zu erneuernder Abschnitte.

Die Module zur Bildung von Leitungsgruppen für die alterungsspezifische Schadensauswertung, die Schätzung der Alterungsparameter und die Modellierung des Rehabilitationsbedarfs sowie die Szenarioanalyse wurde durch Visual Basic Programmierung realisiert.

Die praktische Anwendung der einzelnen Module von PiReP wurde anhand des Rohrnetzes der Stadt Graz veranschaulicht. Als Datengrundlage dienten die bei den Grazer Wasserwerken über die Leitungsverlegung seit 1872 geführten Aufzeichnungen/Karteien/Dateien und die in den letzten 25 Jahren aufgezeichneten Schadensdaten.

Bestandsdaten und Schadensstatistik werden in der Datenbank gemeinsam verwaltet. Mit Hilfe von PiReP kann eine sich am bisherigen Schadensverhalten orientierende Leitungsgruppenbildung und Schätzung der zugehörigen Alterungsfunktionen vorgenommen werden. Darauf aufbauend können die jährlich erforderlichen Rehabilitationsraten für eine optimistische und pessimistische Erneuerungspraxis ermittelt werden. Die Auswirkungen auf den zukünftigen jährlichen Rehabilitationsbedarf bei Abweichung von den aus der Modellierung errechneten Raten kann durch die Möglichkeit der Szenarioanalyse ebenfalls abgeschätzt werden.

Die Güte der Ergebnisse hängt stark von den Eingangsdaten ab. Die genaue Kenntnis des Bestandes ist von großer Bedeutung, da die zu den jeweiligen Altersgruppen vorhandenen Bestandslängen auf den Erneuerungsbedarf den größten Einfluss nehmen. Für eine möglichst realitätsnahe Abschätzung des Alterungsverhaltens sind eine über längere Jahre geführte Schadensstatistik und Aufzeichnungen über das Alter der bereits erneuerten Leitungen erforderlich. Ansonsten müssen die erforderlichen Parameter anhand von Expertenmeinungen ermittelt werden.

Das Decision Support System PiReP wurde vorrangig für die langfristige Abschätzung des Rehabilitationsbedarfes entwickelt. Liegen jedoch die Schäden in der Datenbank auf den Leitungsstrang bezogen vor, können auch die Schadensraten einzelner Abschnitte berechnet werden. Es besteht somit die Möglichkeit, mit PiReP auch die vorrangig zu erneuernden Leitungsabschnitte zu ermitteln.

Mit den für die praktische Anwendung von PiReP verwendeten Rohrnetzdaten der Stadt Graz war diese zusätzliche Verbesserung der strategischen Rehabilitationsplanung derzeit nicht durchführbar. Nach Fertigstellung des Netzinformationssystems der Stadtwerke AG wird dies jedoch in absehbarer Zeit möglich werden. Die Bearbei-

tung der Rohrnetzdaten im GIS ermöglicht zukünftig das Zusammenfassen von Gruppen mit ähnlichem Nutzungsdauerverhalten aufgrund lokaler Kriterien, wie Untergrundbeschaffenheit, Verkehrsbelastungen oder Maximaldrücke. Dadurch kann eine Verbesserung der Modellierung erzielt werden.

Weitere Verbesserungen der Ergebnisse können durch die Erfassung der Verlegejahre der erneuerten Leitungen erzielt werden. Dadurch sind zusätzliche Anhaltspunkte hinsichtlich der zu erwartenden Nutzungsdauer von Rohrtypen gegeben.

Die Modellierung des Rehabilitationsbedarfes kann mit PiReP jederzeit einfach und schnell mit den Jahr für Jahr dazugewonnenen Daten wiederholt werden.

LITERATURVERZEICHNIS:

- A. ANGLEITNER (2000): Untersuchungen über die Alterungsfunktionen; Diplomarbeit; Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU-Graz
- N. BARTELME (1999): Skriptum zur Vorlesung Geodatenbanken; Abteilung für mathematische Geodäsie und Geoinformatik am Institut für theoretische Geodäsie; TU-Graz
- K. BEYER (1985): Kriterien für das Auswechseln von Rohrleitungen; Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen; Nr. 57; Technische Universität München
- K. BEYER (1995): Instandsetzung und Erneuerung von Rohrleitungen – Verfahren der Erneuerung und Instandsetzung, vorbeugende Instandsetzung, technische und wirtschaftliche Aspekte; gwf Wasser Special Jg. 136; Nr. 14; S. 146 - 150
- A. BÖHM (1993): Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung des Wasserrohrnetzes; Vulkan - Verlag; Essen; ISBN 3-8027-5501-4
- S. EVINS, G. STEVENSON et al. (1989): Planning the Rehabilitation of Water Distribution Systems; Water Research Centre; Swindon; ISBN 0 902156 80 2
- J. FÜRST (1990): Decision Support Systeme für die Grundwasserwirtschaft unter Verwendung Geographischer Informationssysteme; Wiener Mitteilungen Band 93; Universität für Bodenkultur; Wien
- R. HERZ, K. HOCHSTRATE (1987): Erneuerungsstrategien für städtische Infrastrukturnetze; Jahrbuch für Regionalwissenschaft Jg. 8; S. 67 - 105
- R. HERZ (1993): Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - Ein Kohortenüberlebensmodell; Jahrbuch für Regionalwissenschaft 14; S.7-28
- R. HERZ (1996): Alterungsprozesse in Wasserrohrnetzen und daraus resultierender Erneuerungsbedarf; 10. Oldenburger Rohrleitungsforum
- W. HIRNER, C. POß (1992): Ziele, Ergebnisse und Konsequenzen aus zehn - jähriger Tätigkeit in der Erneuerung von Rohrnetzen; 3R-international 31; Nr.1-2; S. 49-55
- W. HIRNER (1993): Sichere Wasserversorgung durch moderne Rohrleitungstechnik - Anspruch und Realität; WAR - Band 70; Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt
- W. HIRNER (1997): Zustandsorientierte Instandhaltung durch Kennzahlenanalyse in der Wasserverteilung; gwf Wasser Spezial; Jg. 138; Nr.13; S. 15 - 22

- W. HIRNER (1998): Erneuerungsstrategien; Kennzahlenanalyse der Rohrleitungen; Tagungsunterlagen 4. Bregenzer Rohrleitungstage
- P. HOFER (1993): Planung der langfristigen Erneuerung von Wasserrohrnetzen; Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft; TU München; Heft 115; S. 59-76
- P. HOFER (1994): Planung der langfristigen Erneuerung von Wasserrohrnetzen; 3R-international 33; Nr. 112; S. 19-25
- H. HOLTSCULTE (1984): Sanierung von Wasserrohrnetzen aus Guss- und Stahlrohrleitungen; gwf - Wasser/Abwasser 125; Nr. 7; S. 333-394
- A. HÜGGING (1985): Statistik über Rohrschäden - Ein wichtiges Hilfsmittel für die Überwachung und planmäßige vorbeugende Instandhaltung; Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen; Nr. 57; TU München
- H.R. IMHOFF, et al. (1995): Handbuch Wasserversorgungstechnik und Abwassertechnik; Bd.1: Rohrnetztechnik; 5. Ausgabe; Vulkan - Verlag; Essen; ISBN 3-8027-2824-6
- A. KUHLE (1993): Rohrleitungswerkstoffe - Stahl, Duktiles Gußeisen, Kunststoff - und Versorgungszuverlässigkeit; WAR - Band 70; Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt
- W. LINDNER (1999): Kostensenkungspotentiale in der Wasserverteilung; 23. Wassertechnisches Seminar; Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft; TU München; Berichtsheft Nr. 150; ISSN 0942-941X
- H. MAYR (1995): Entscheidungshilfen für die Planung der Erneuerung oder Sanierung (Rehabilitation) von Wasserrohrnetzen - DVGW-Hinweis W 401; DVGW - Statusseminar Sanierung und Erneuerung von Wasserleitungen - Praxiserfahrungen beim Einsatz moderner Bauverfahren; Leipzig; gwf Wasser Spezial Jg. 136; Nr.14; S.140-145
- H. MAYR (1996): Ein Beitrag zur Planung der Rehabilitation von Rohrnetzen. 3R-international 35; S. 71 -77
- P. MICHALIK (1985): Beitrag zur Ermittlung des ökonomisch günstigen Rekonstruktionszeitpunktes von Wasserversorgungsleitungen unter Nutzung des Datenbankteiles Wasserversorgungsnetze; Dissertation; TU Dresden
- H. NICKL (1999): Das Rohrnetz des Bereiches Wasser der Grazer Stadtwerke AG - Stand und Perspektiven; Grazer Stadtwerke AG; Bereich Wasser
- D. RÖTSCH (1999): Zuverlässigkeit von Rohrleitungssystemen – Fernwärme und Wasser; Springer – Verlag; ISBN 3 –540-66042-9

- W. SEMLITSCH (2000): Die Ermittlung des optimalen Rekonstruktionszeitpunktes von Wasserversorgungsleitungen; Diplomarbeit; Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau; TU-Graz
- C. SKARDA (1998): Erneuerungsstrategien; Kennzahlenanalyse der Rohrleitungen; Tagungsunterlagen 4. Bregenzer Rohrleitungstage
- R. TRUJILLO ALVAREZ (1995): Bedarfsprognose und Strategieentwicklung für die Rehabilitation städtischer Wasserrohrnetze; Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung; Heft 27; Karlsruhe
- H. VARETZA (1980): Wasser für Graz; Leykam Universitätsbuchdruckerei Ges.m.b.H.; Graz
- W. WEILAND (1993): Instandhaltung von Wasserleitungen; WAR - Band 70; Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt
- P. WEINBAUER (1996): Zusammenstellung von Kennwerten der Messzonen A-H; Wasserversorgung der Grazer Stadtwerke
- P. WEINBAUER (1997): Schadensdokumentation; Rohrbrüche an Versorgungsleitungen 1974 –1996; Wasserversorgung der Grazer Stadtwerke

NORMEN UND REGELBLÄTTER:

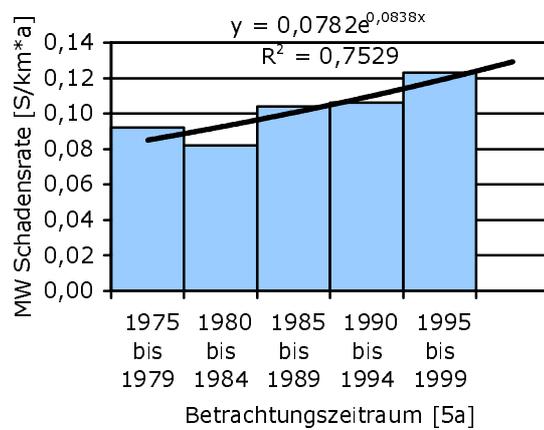
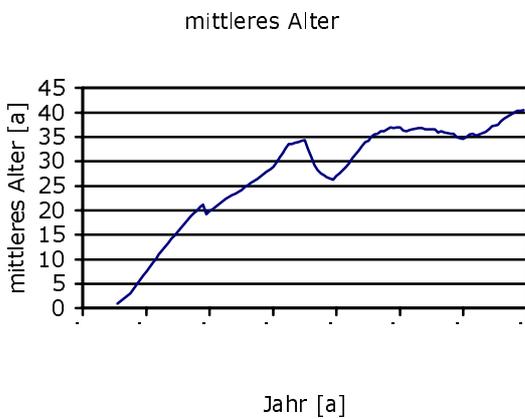
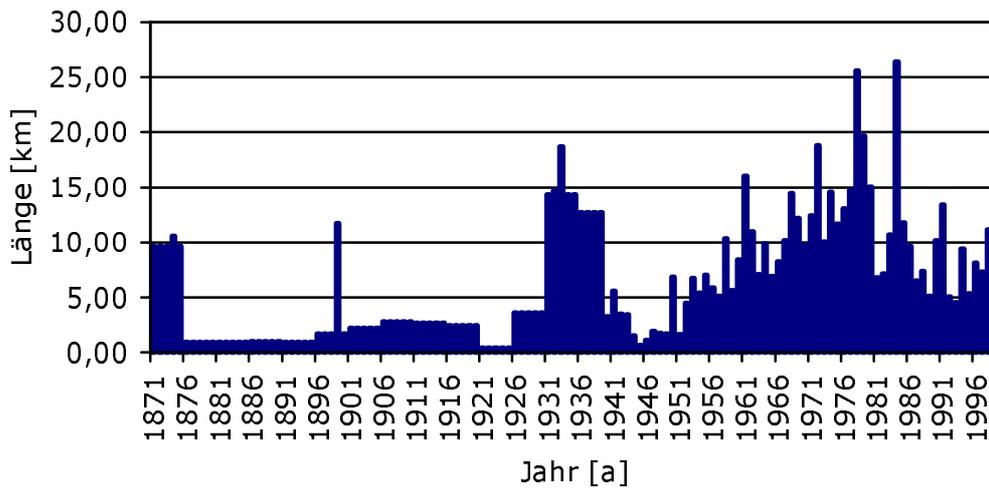
- DVGW–Hinweis W401 (1997): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen
- DVGW–Merkblatt W395 (1998): Schadensstatistik für Wasserrohrnetze
- DVGW-Arbeitsblatt GW 303 (1986): Berechnung von Rohrnetzen mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen
- Gas & Wasser digital 1 (1993): Gas/Wasser Information Nr.2 4/93; DVGW Information; Eschborn
- ÖNORM B 2538 Teil 1 (1984):Transport- und Versorgungsleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Planung

ANHANG

Anhang A beinhaltet alle wesentlichen Auswertungen mit PiReP, auf welche sich die Bildung der Leitungsgruppen, die Schätzung der Alterungsparameter und die Erneuerungsbedarfsprognose für die Stadt Graz stützt.

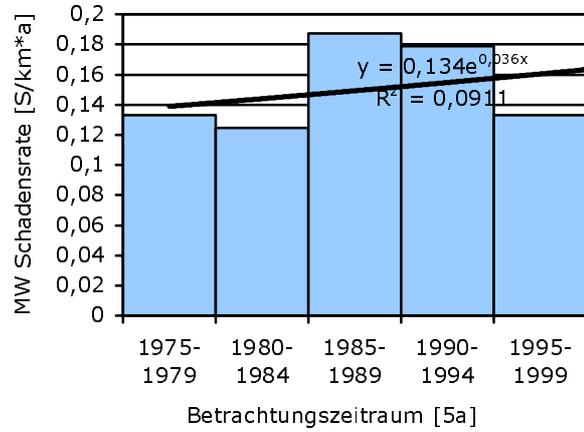
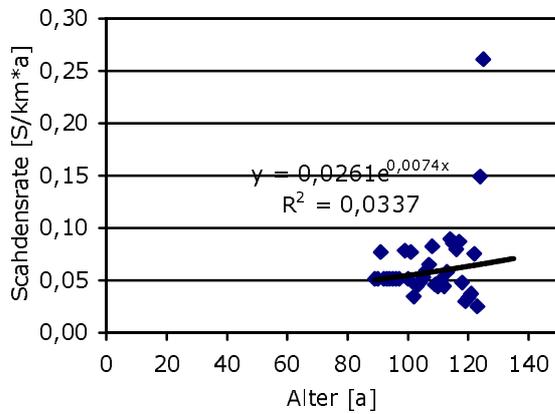
GESAMTNETZ

Kohortenlängen

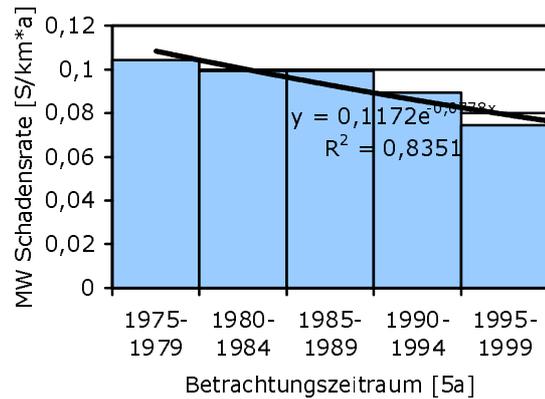
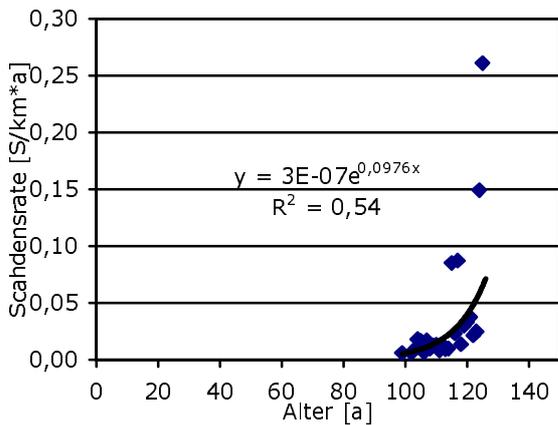


SCHADENS RATEN GRAUGUSS (DIV. GRUPPIERUNGEN):

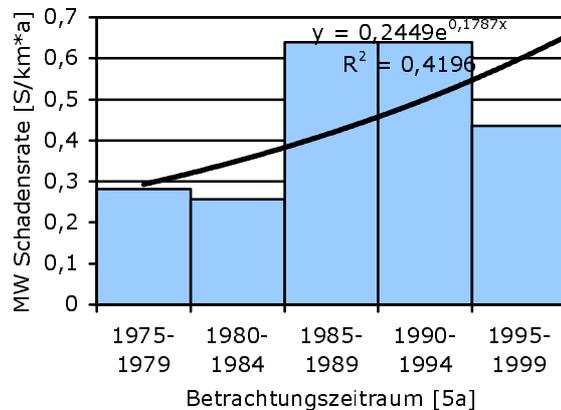
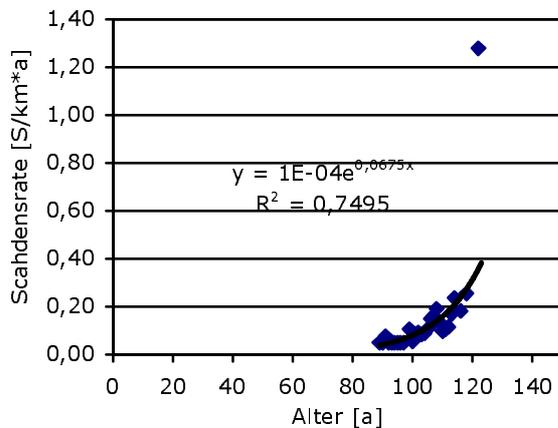
DN < 150 Englische Gussrohre (1870 – 1885):



DN < 150 Englische Gussrohre (1870 – 1875):

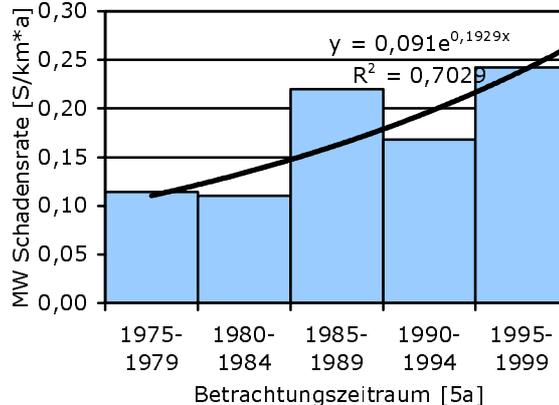
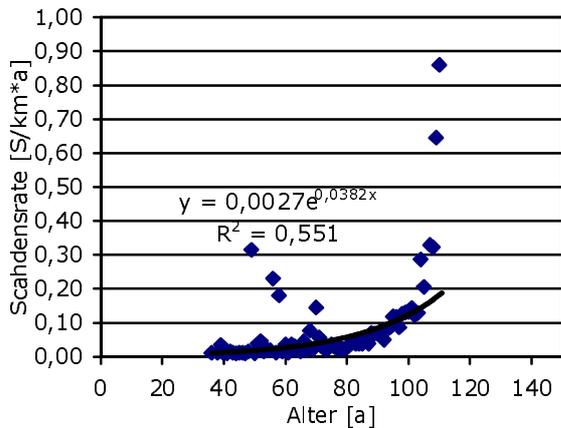


DN < 150 Englische Gussrohre (1876 – 1885):



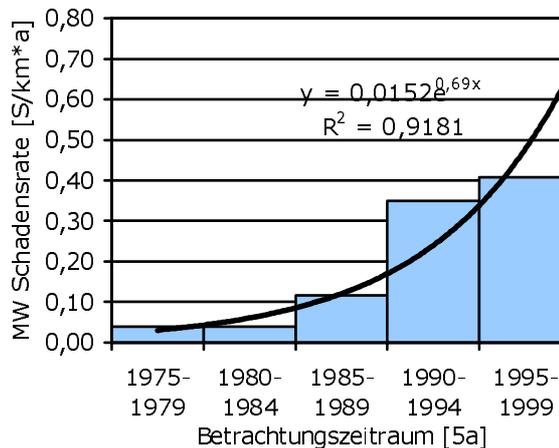
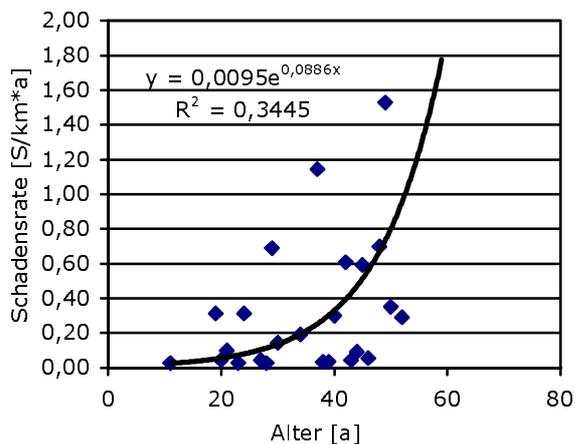
DN < 150

Gussrohre deutsche Norm Sandguss/Stemmmuffen 1886 bis 1939:

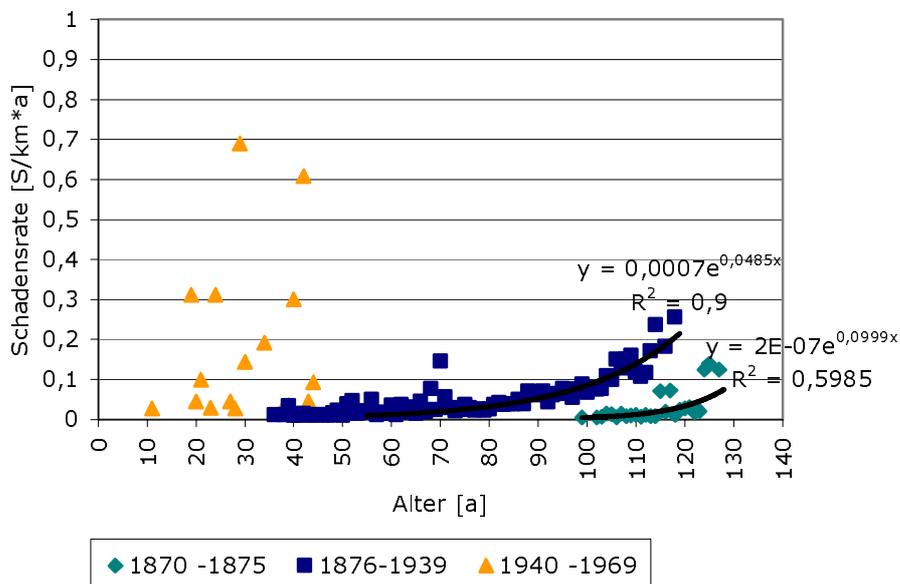


DN < 150

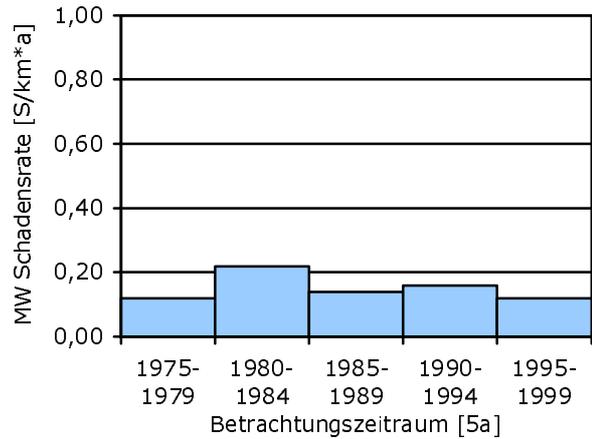
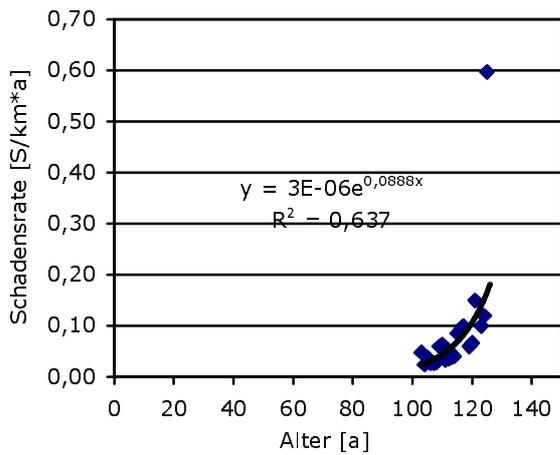
Gussrohre deutsche Norm Schleuderguss/Schraubmuffen 1940 bis 1969:



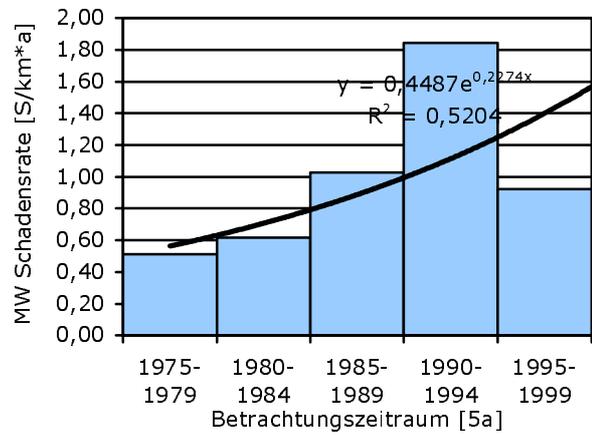
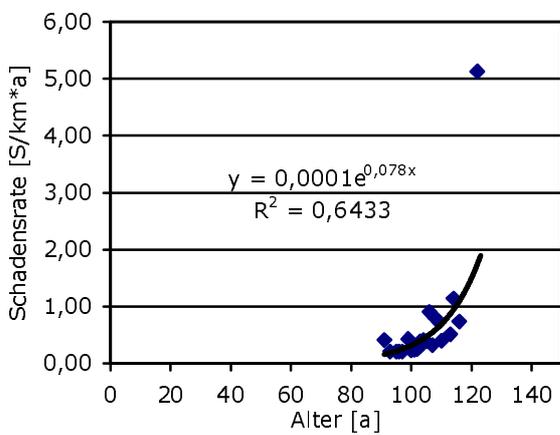
Gussrohre DN < 150:



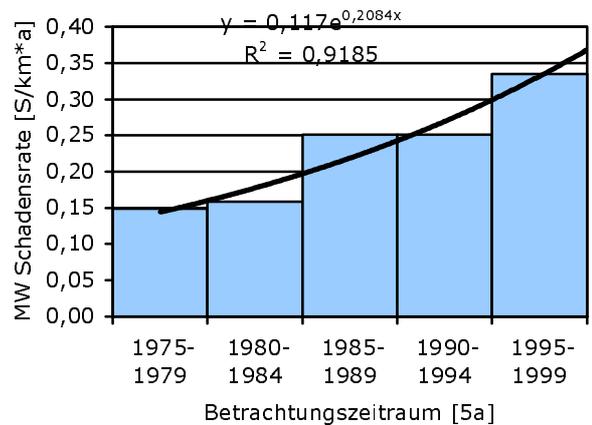
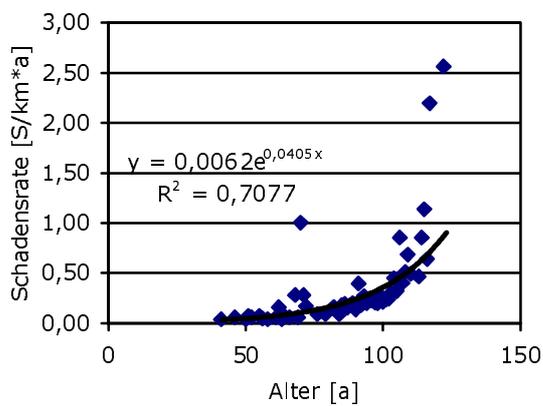
DN < 100 Englische Gussrohre (1870 bis 1875):



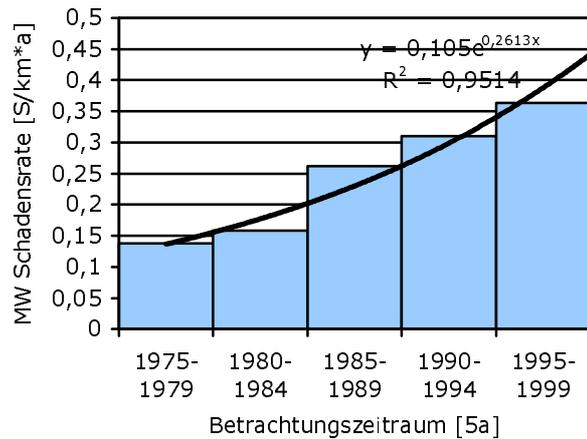
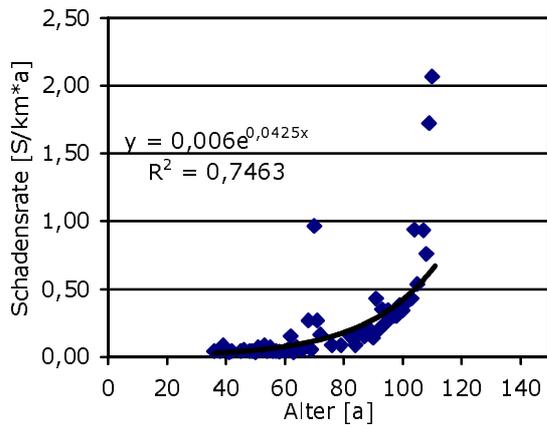
DN < 100 Englische Gussrohre (1876 bis 1885):



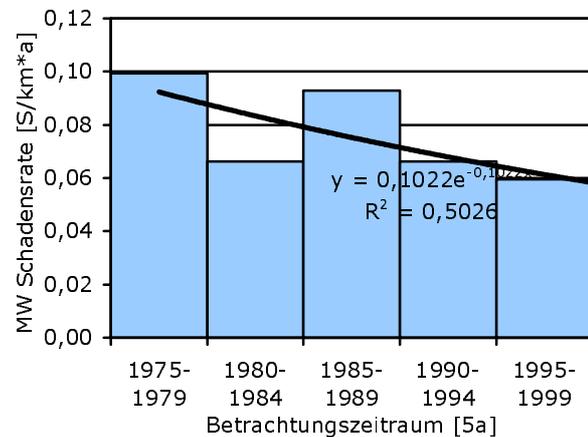
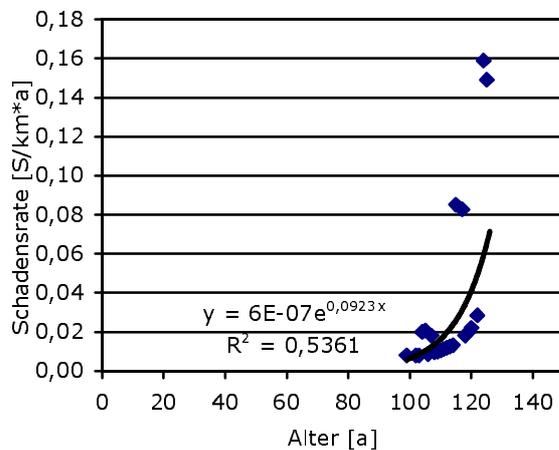
DN < 100 Gussrohre Sandguss/Stemmmuffen deutsche Norm (1886 bis 1935):



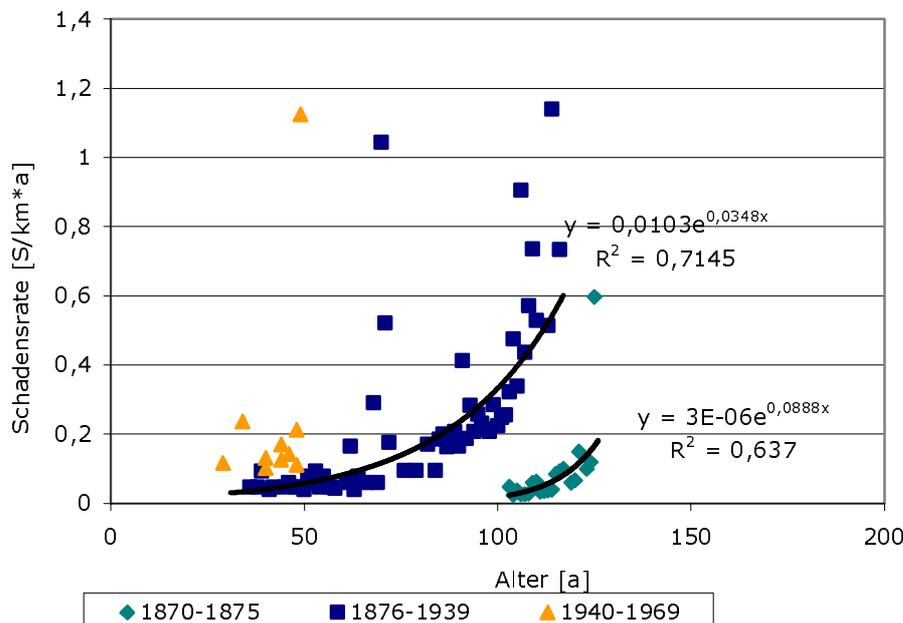
DN <100 Gussrohre Stemmuffen deutsche Norm (1886 bis 1939):



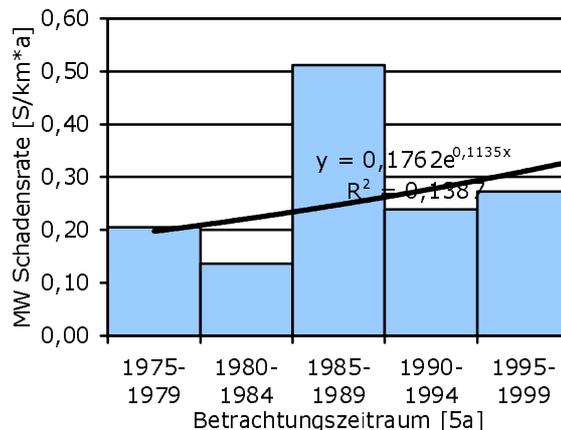
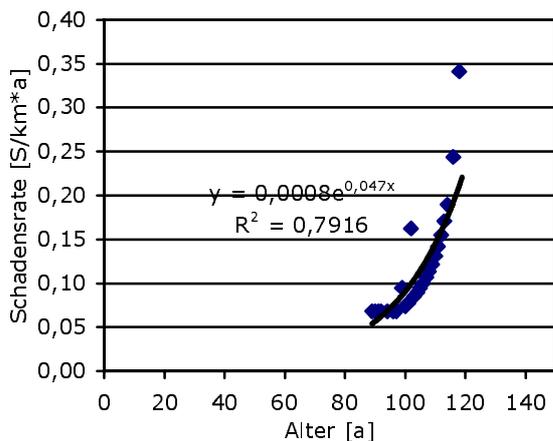
DN 100 u. 125 Englische Gussrohre (1870 bis 1875):



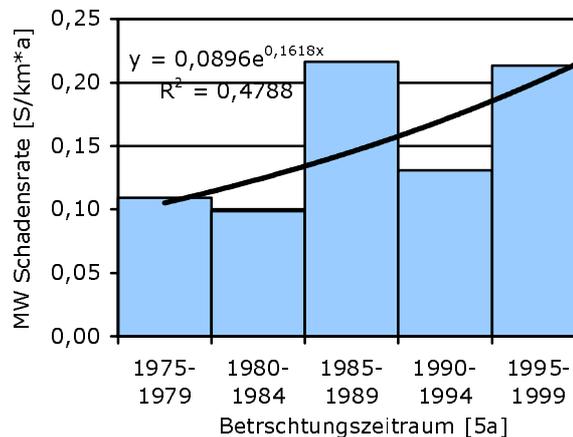
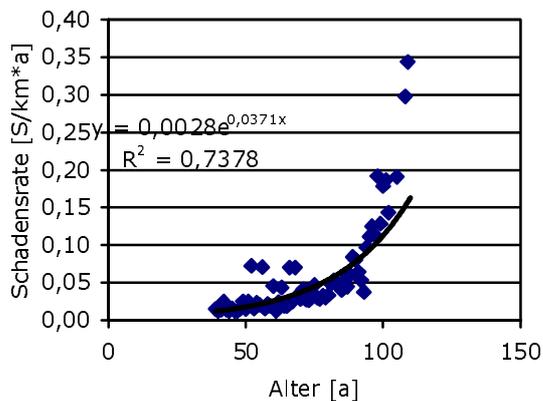
Gussrohre DN < 100:



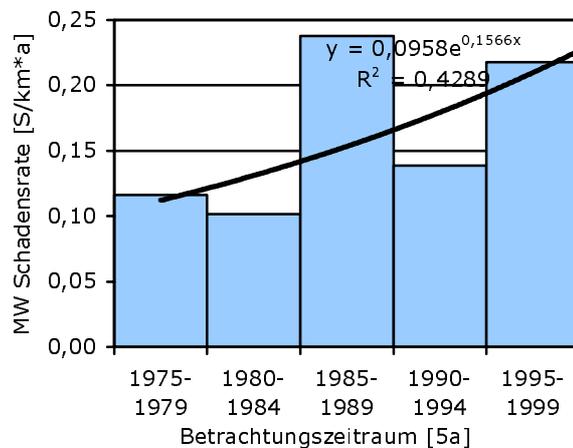
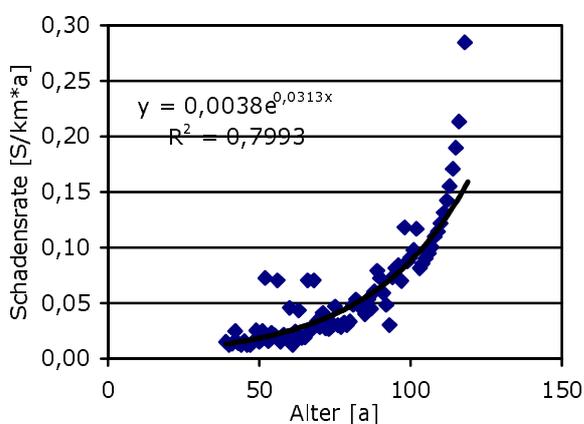
DN 100 u. 125 Englische Gussrohre (1876 bis 1885):



DN 100 u. 125 Gussrohre mit Stemmuffen deutsche Norm (1886 bis 1939):

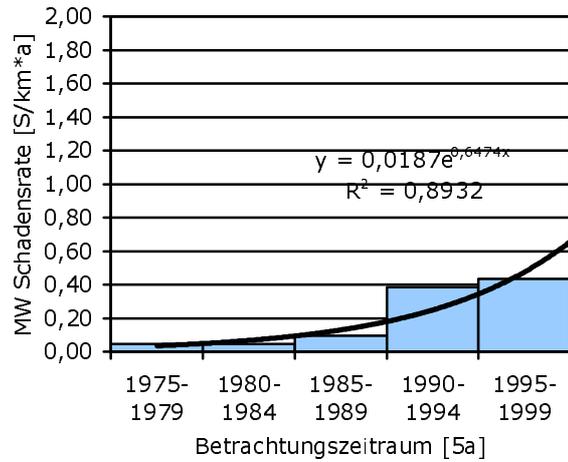
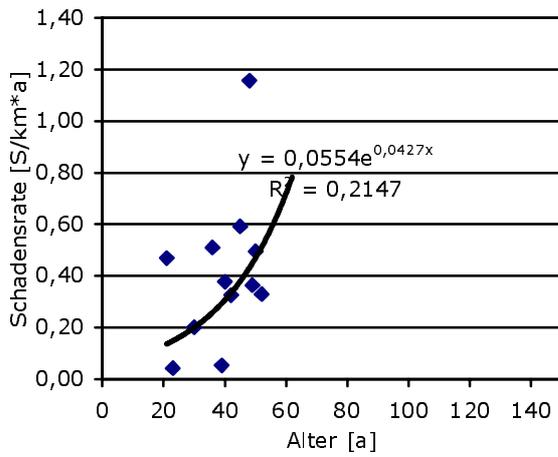


DN 100 u. 125 Gussrohre mit Stemmuffen (1876 bis 1939):

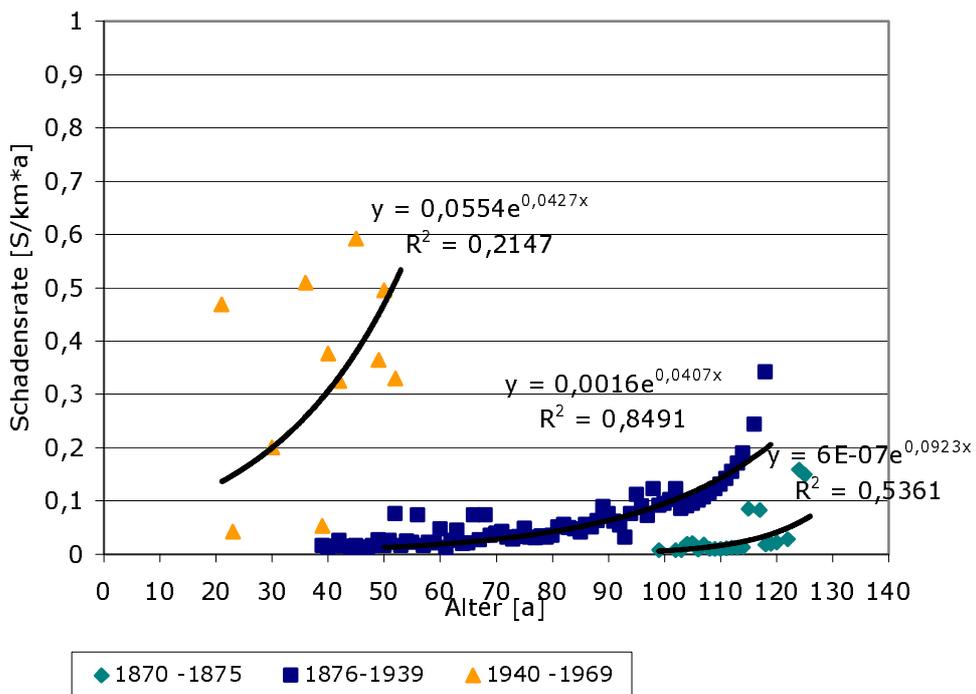


DN 100 u. 125

Gussrohre Schleuderguss/Schraubmuffen (1940 bis 1969):

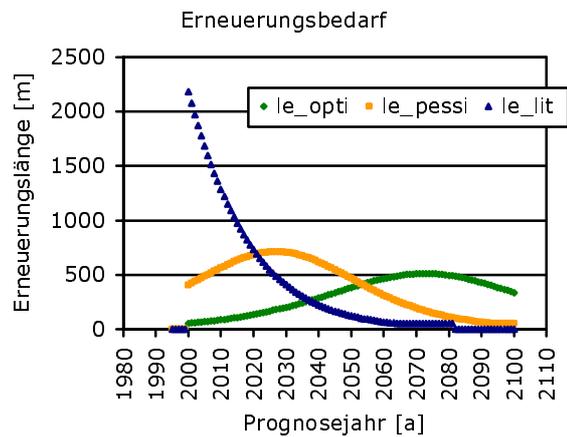
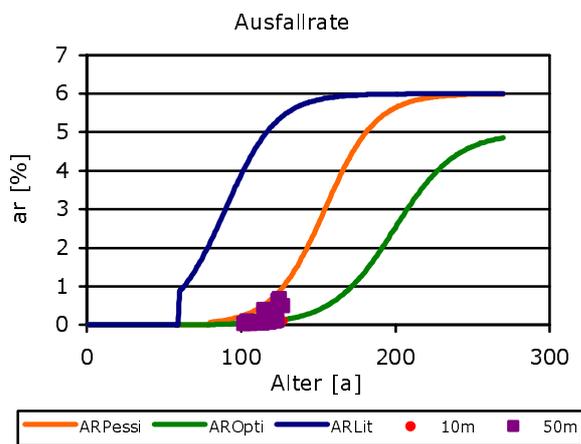
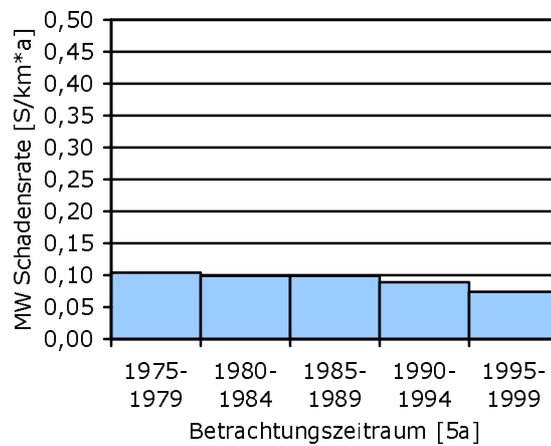
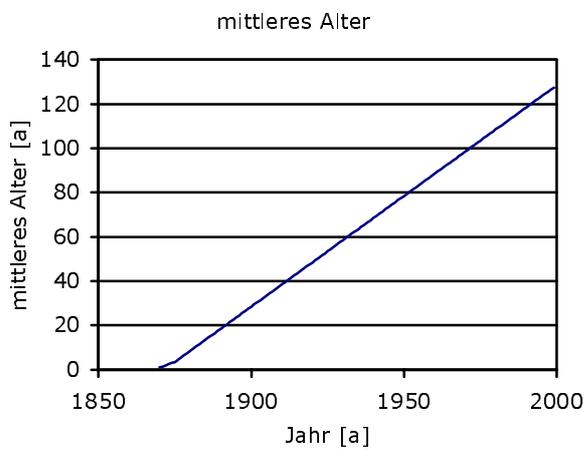
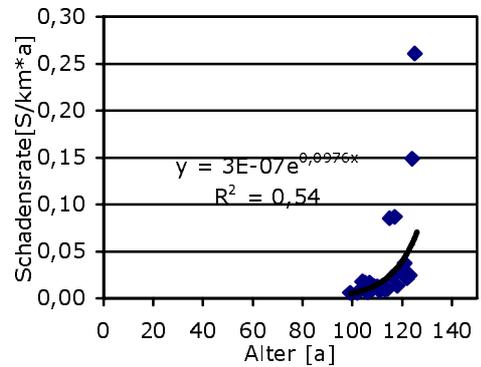
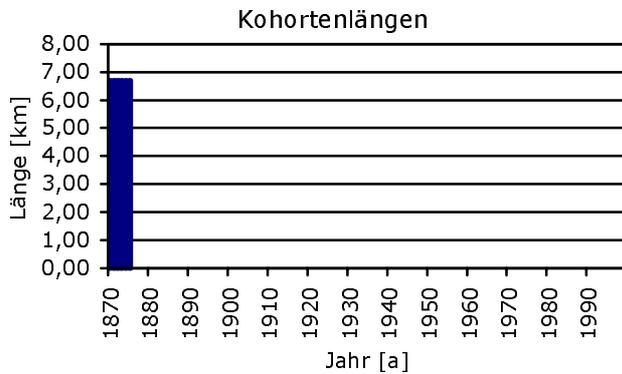


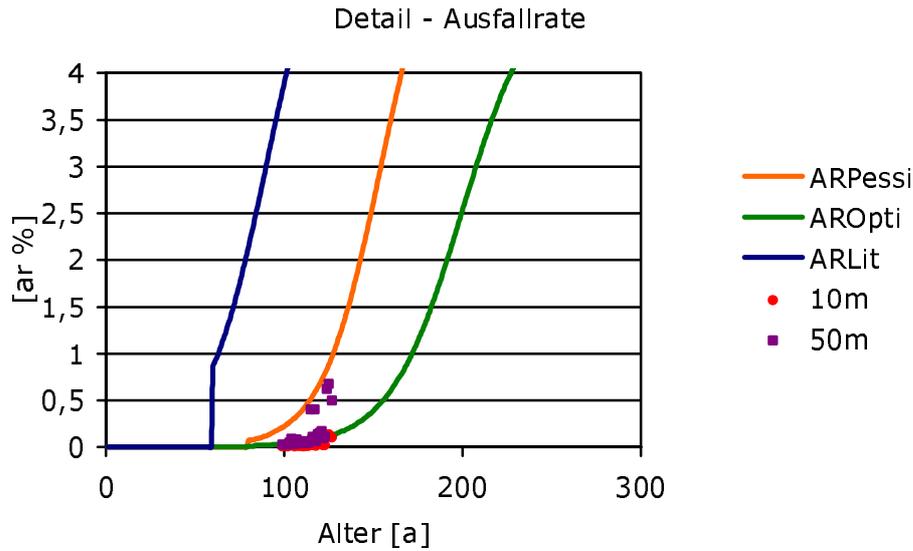
Gussrohre DN 100 u. 125:



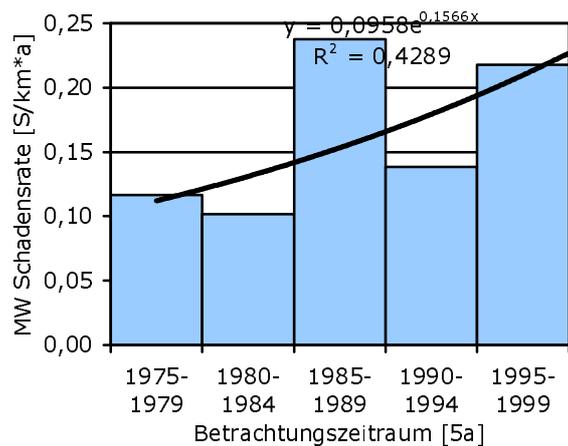
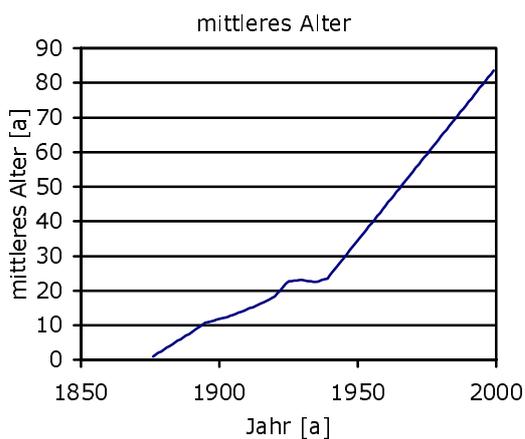
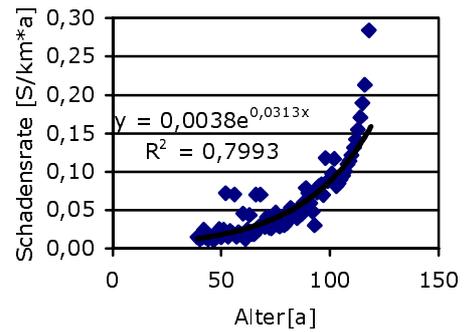
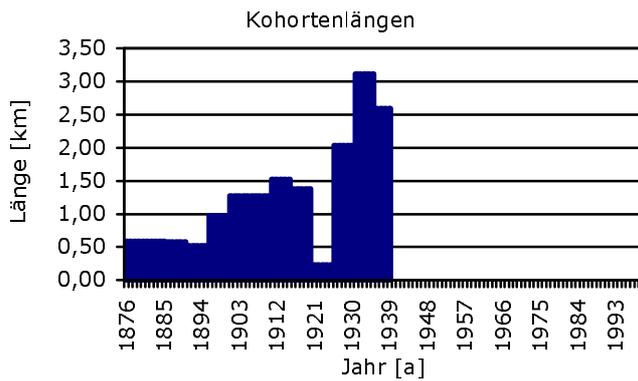
LEITUNGSGRUPPEN GRAUGUSS (ENDGÜLTIG):

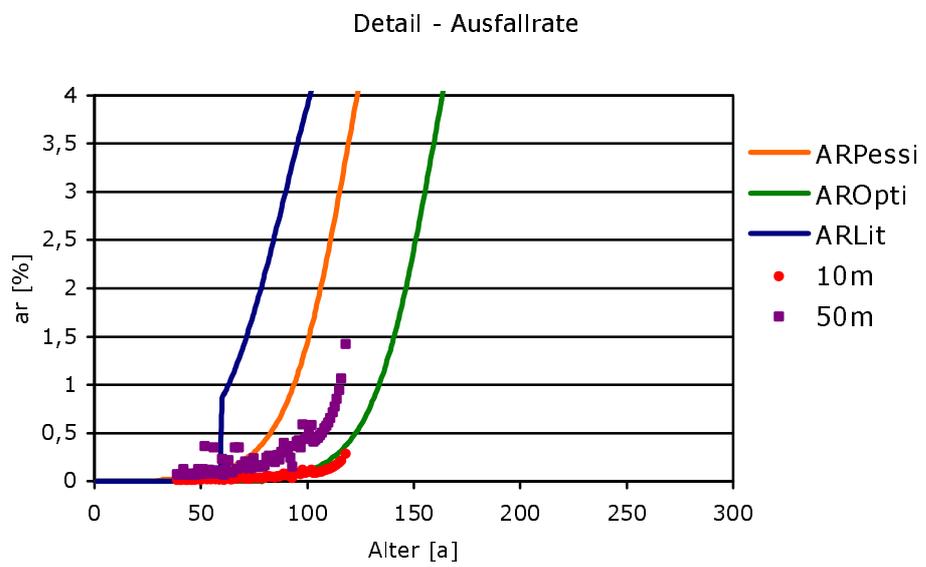
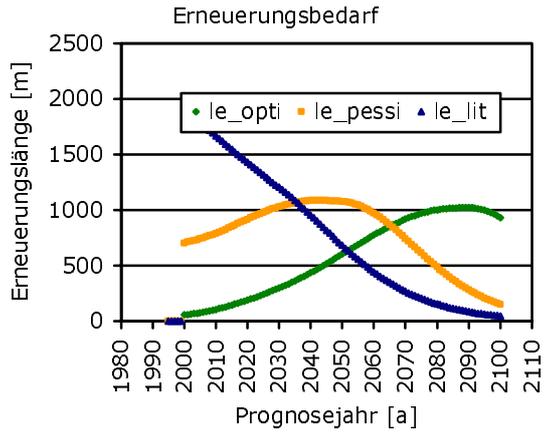
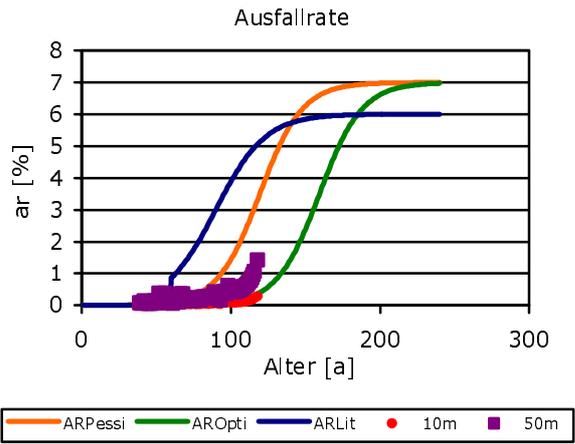
Englische Gussrohre 1870 - 1875 DN < 150:



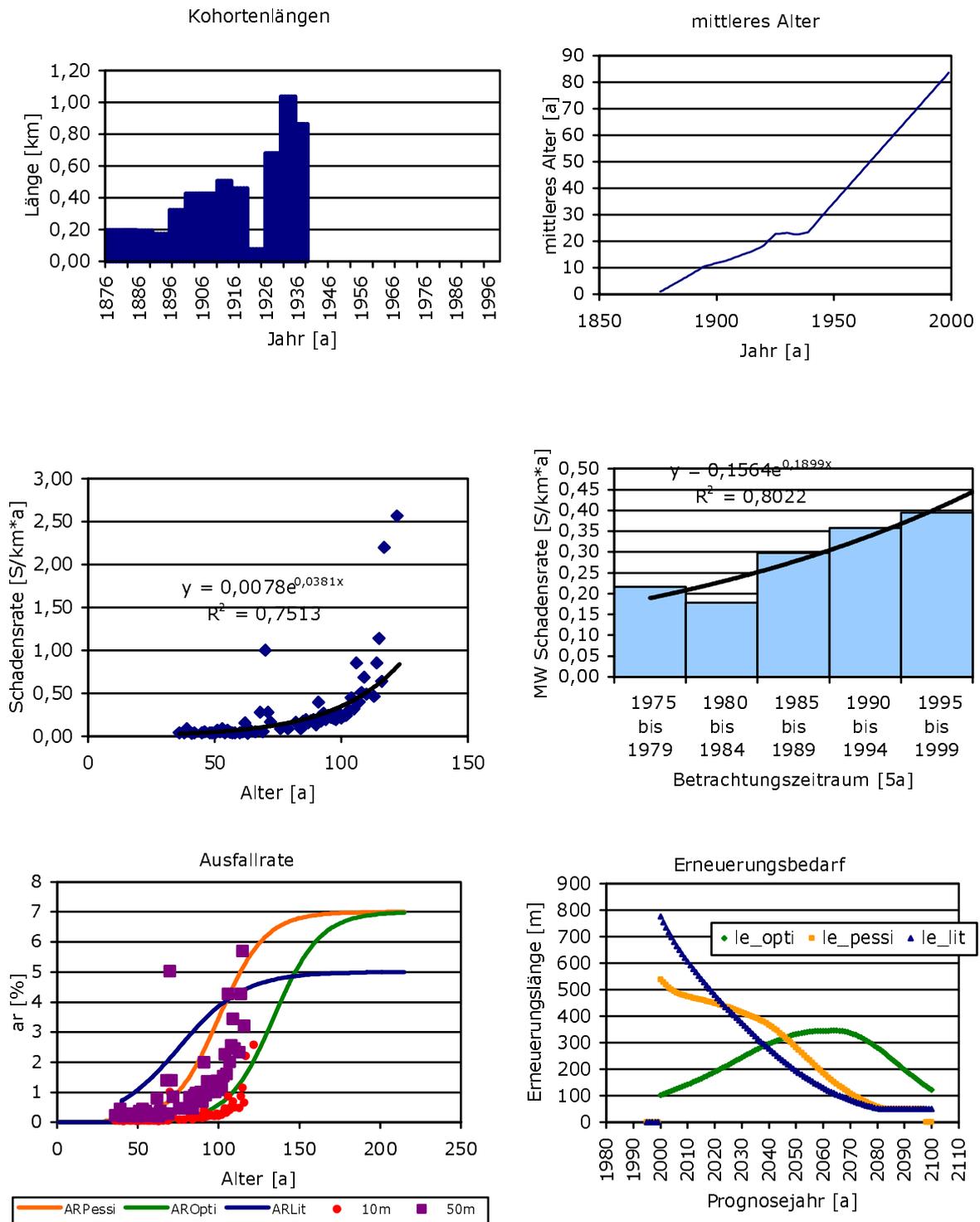


Gussrohre engl. und deutsche Norm 1876-1939 DN 100 u.125:

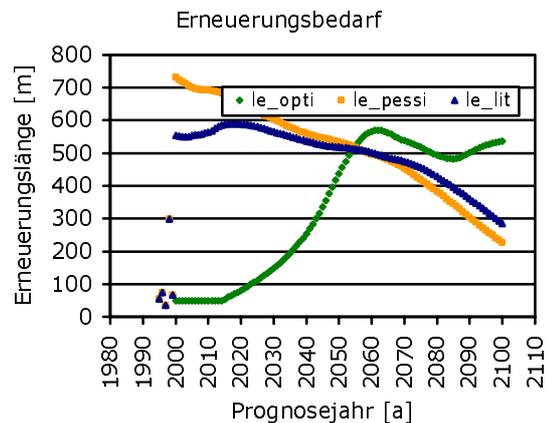
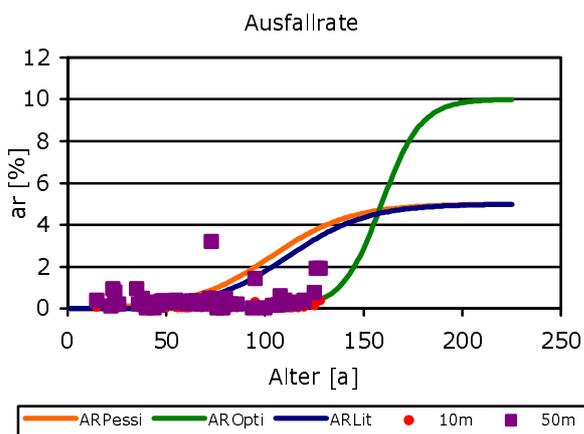
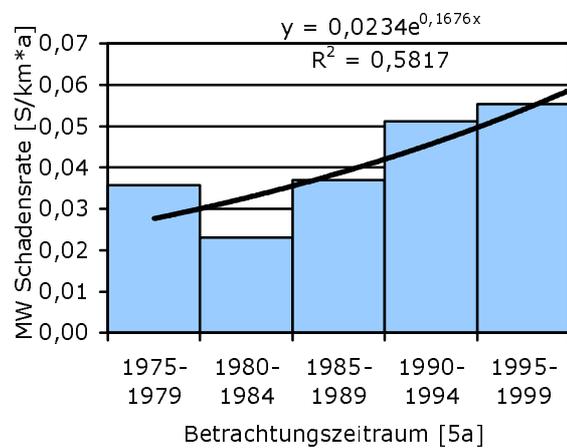
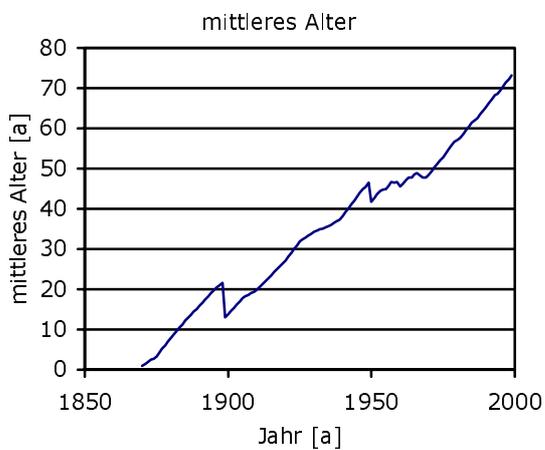
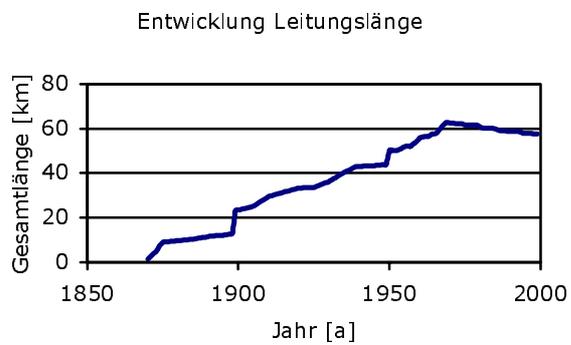
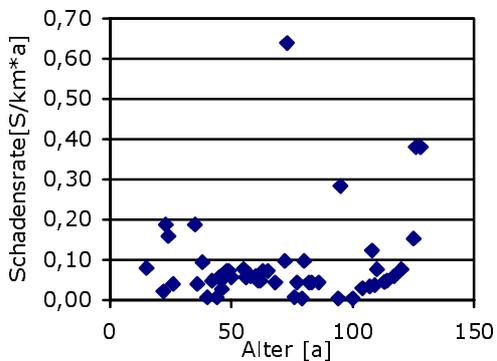
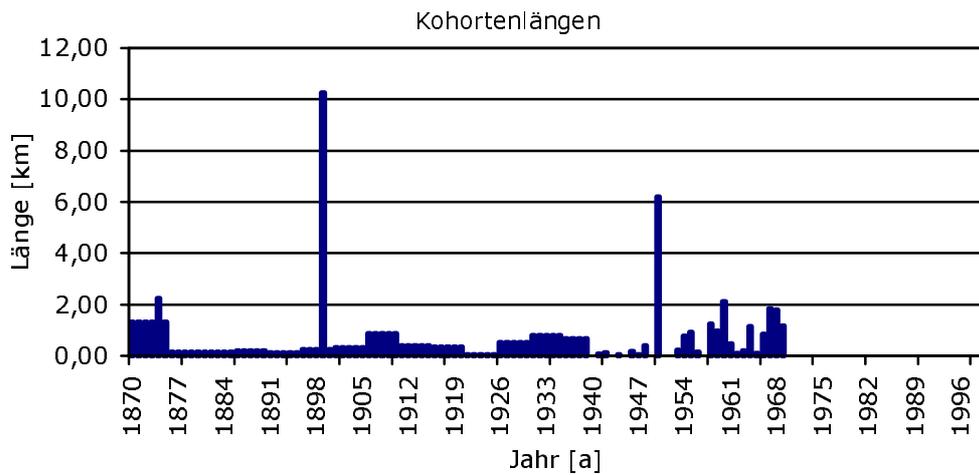




Gussrohre engl. und deutsche Norm 1876 – 1939 DN < 100:

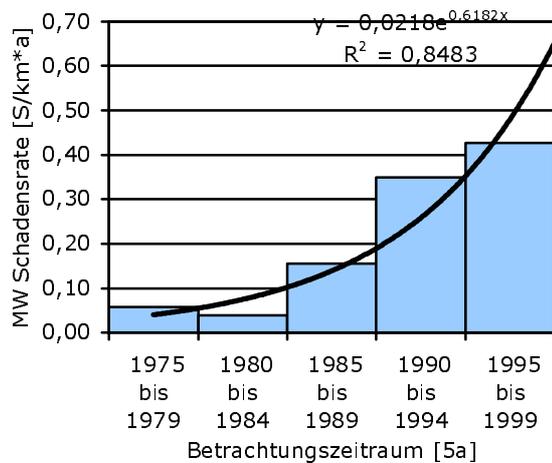
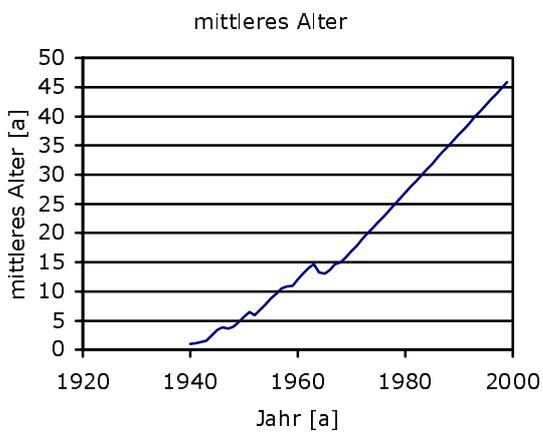
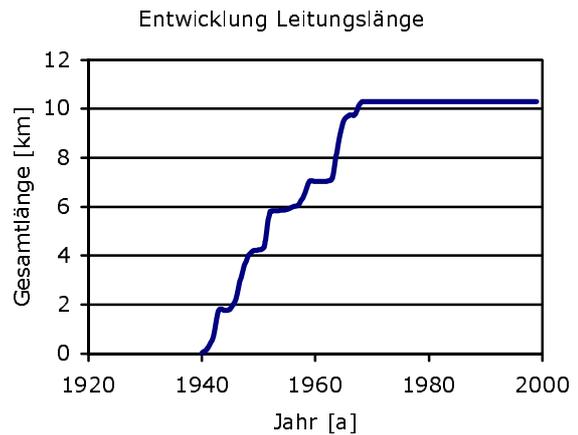
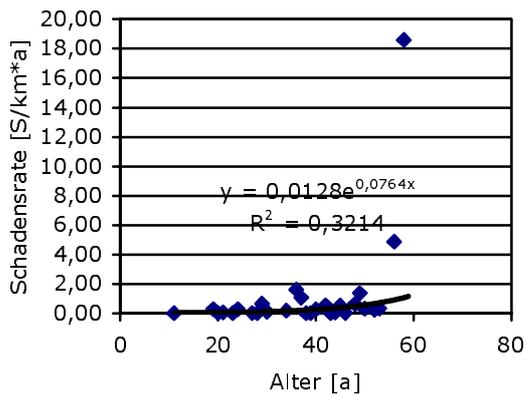
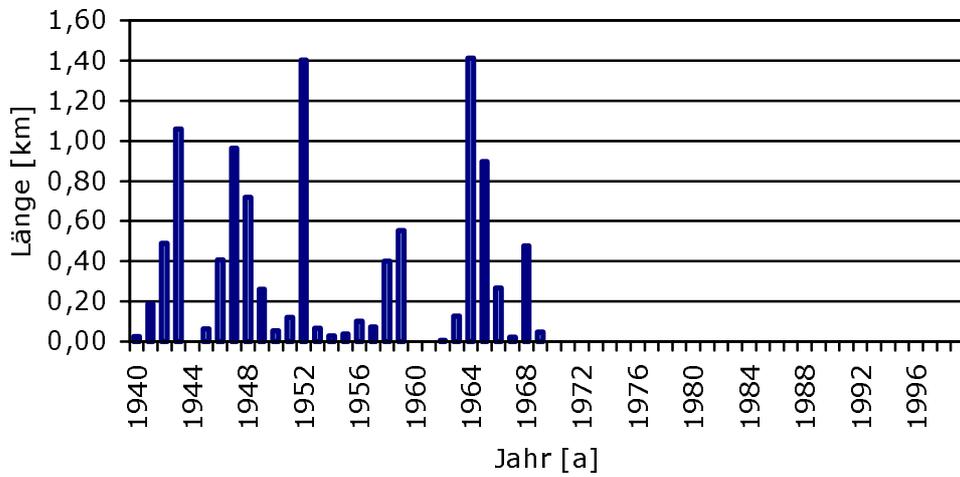


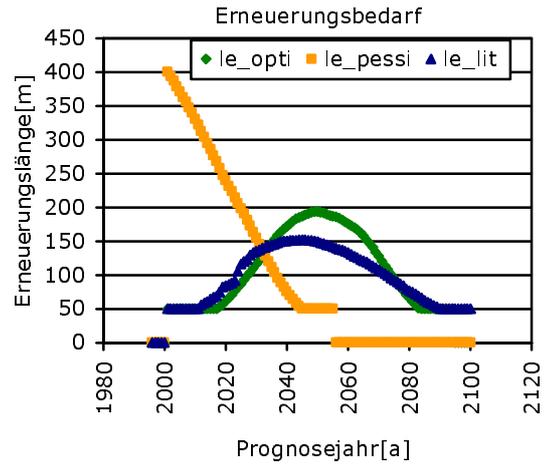
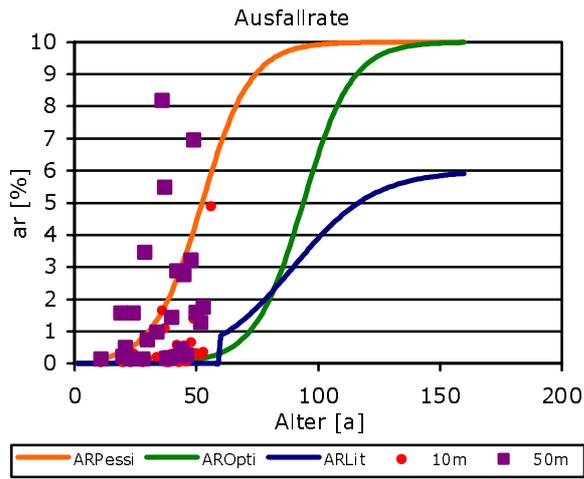
Gussrohre 1870 – 1969 DN >= 150:



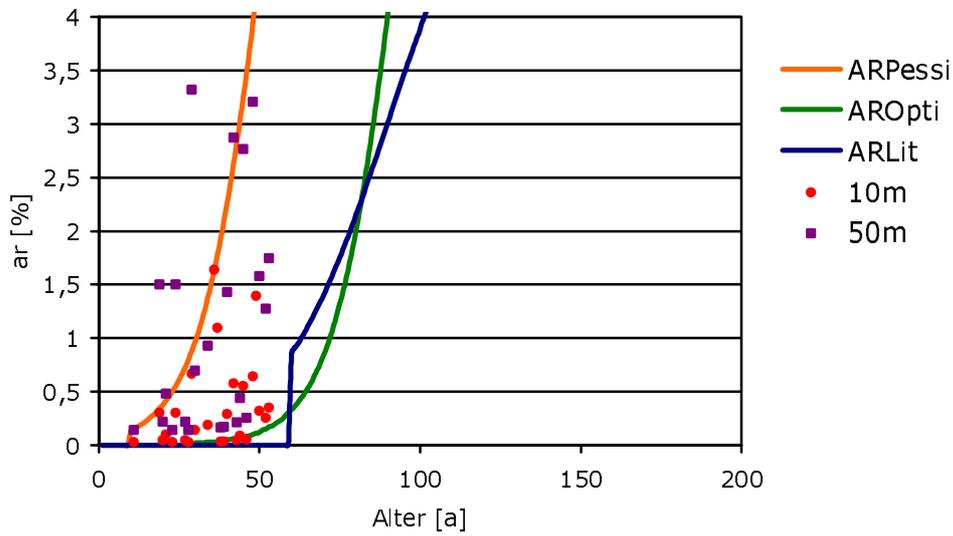
Schleuderguss vorw. mit Schraubmuffen 1940 – 1969 GG < 150:

Kohortenlängen



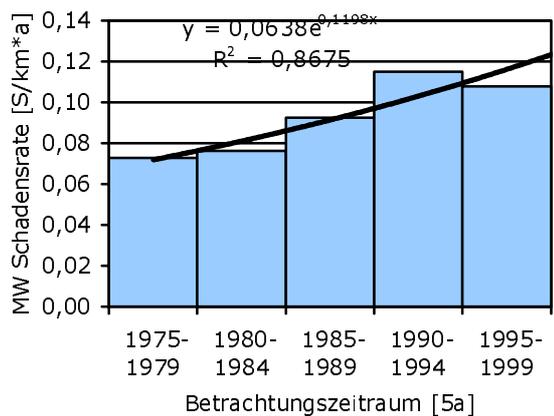
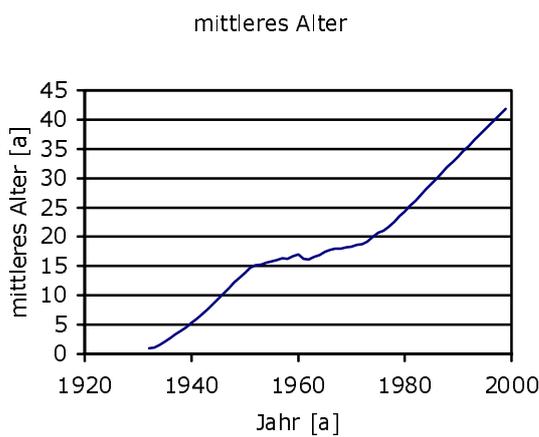
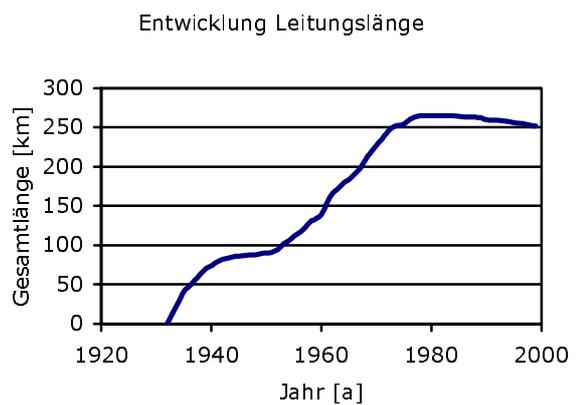
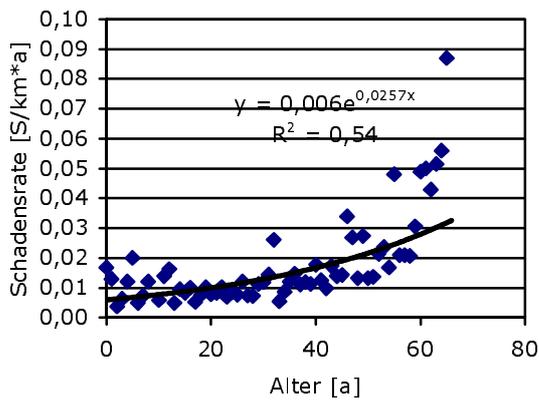
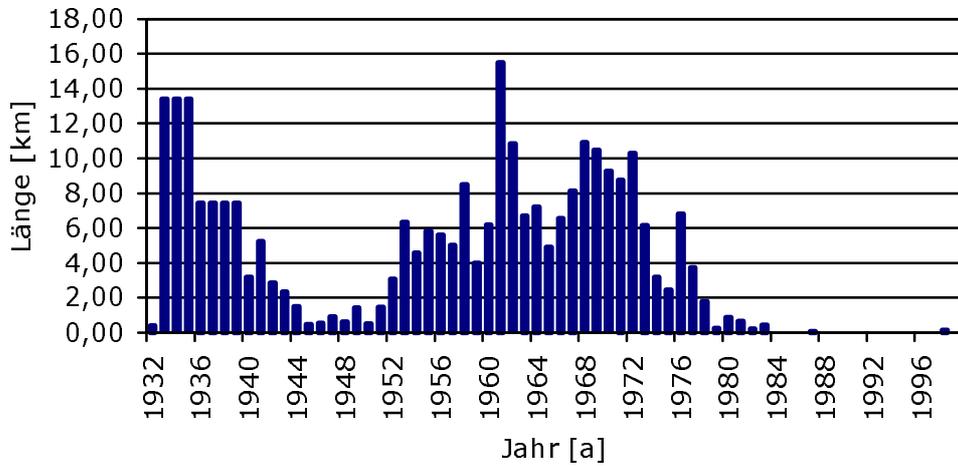


Detail - Ausfallrate

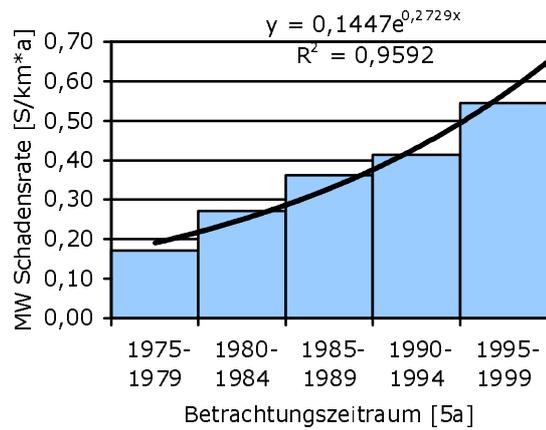
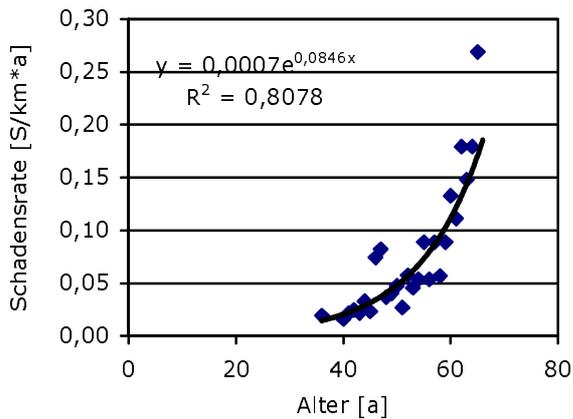


SCHADENS RATEN ASBESTZEMENT (DIV. GRUPPIERUNGEN):

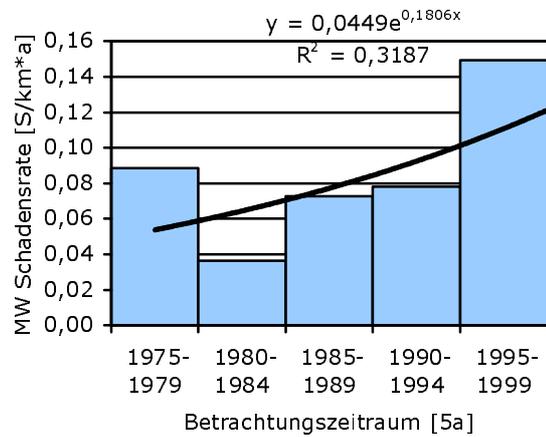
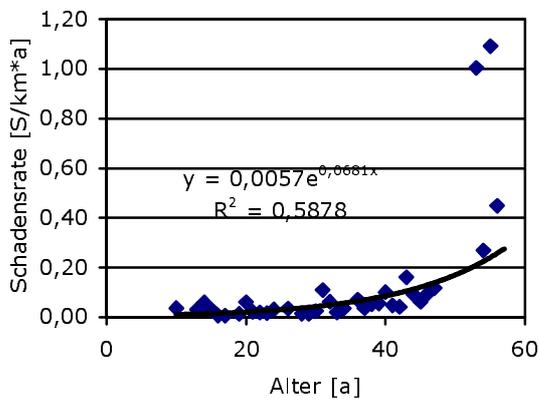
Kohortenlängen



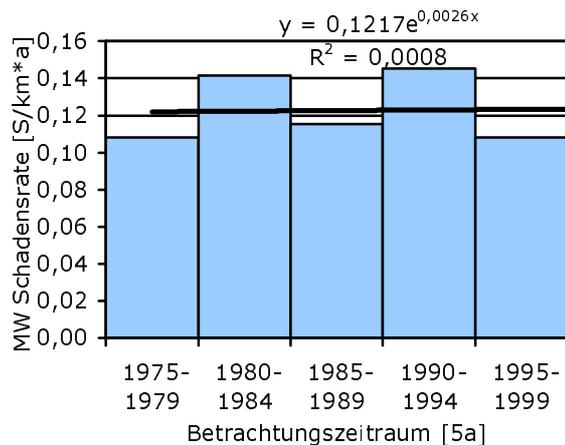
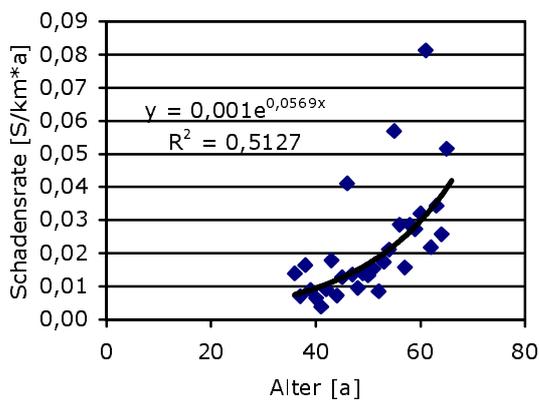
AZ DN < 100 (1932 – 1940):



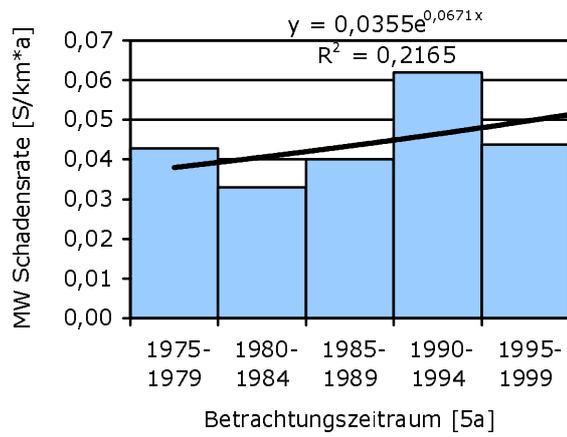
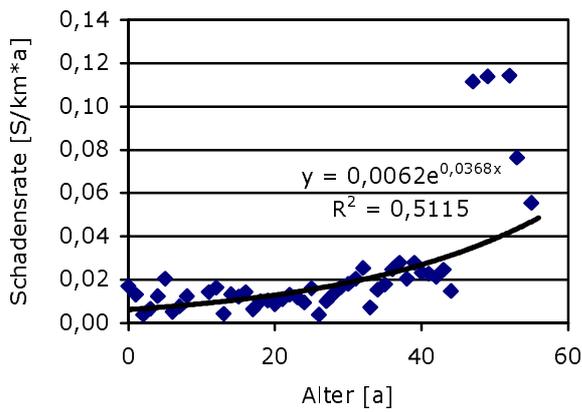
AZ DN < 100 (1941 – 1985):



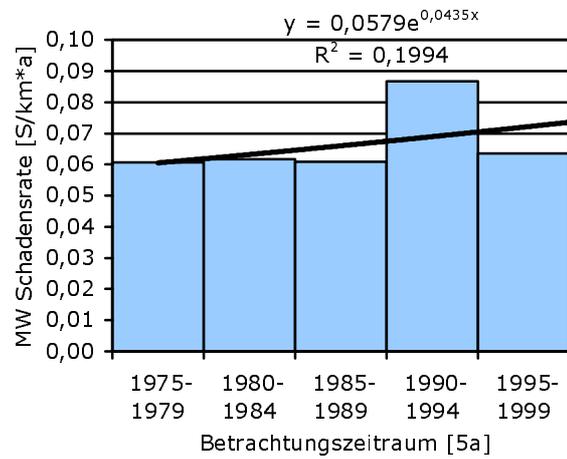
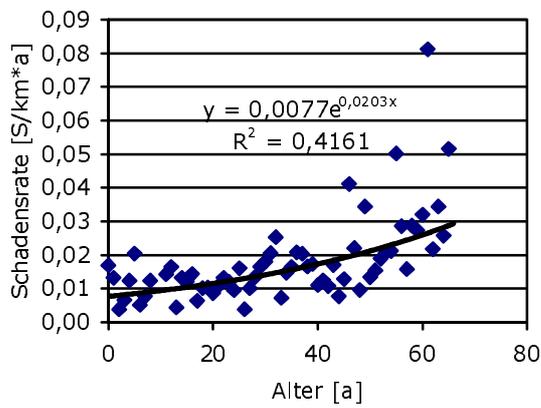
AZ DN >= 100 (1932 – 1940):



AZ DN >= 100 (1941 - 1985):



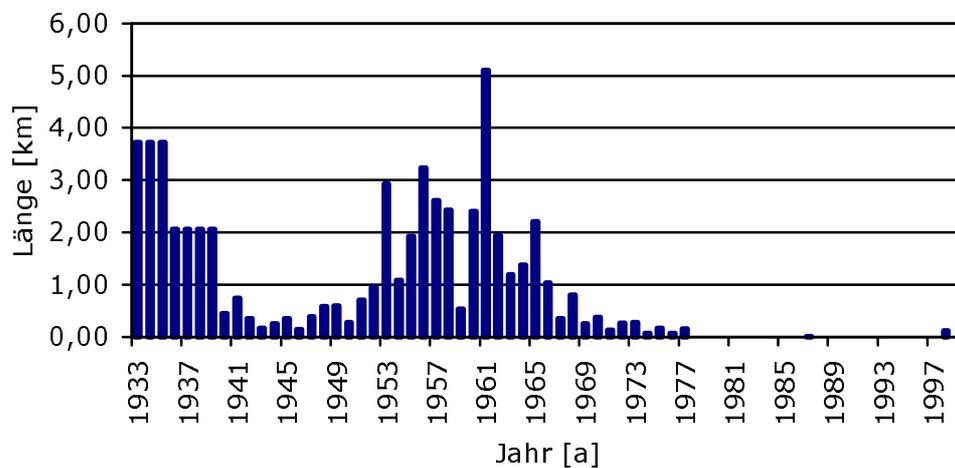
AZ DN >= 100:

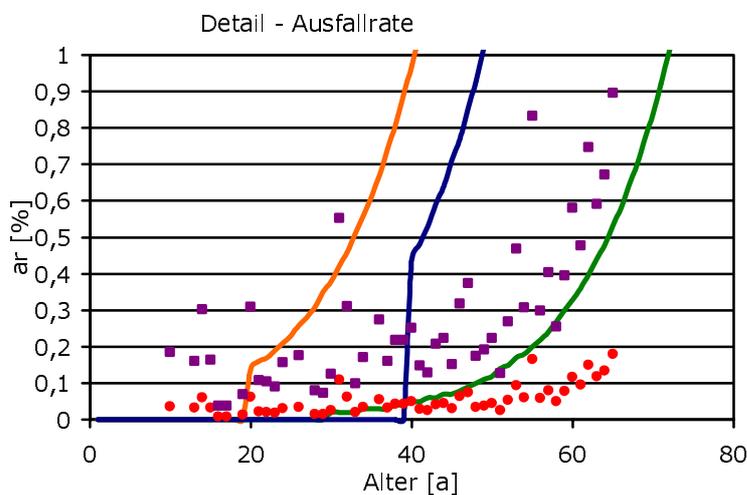
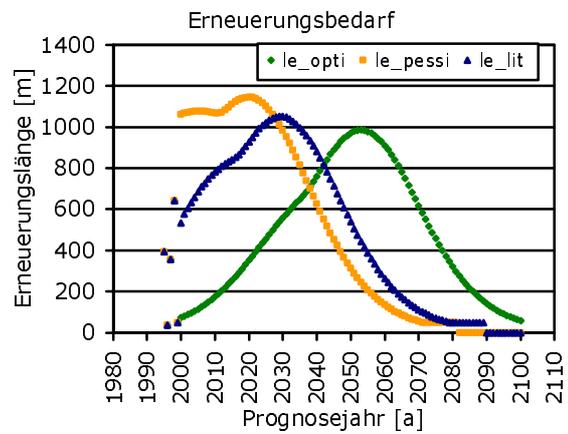
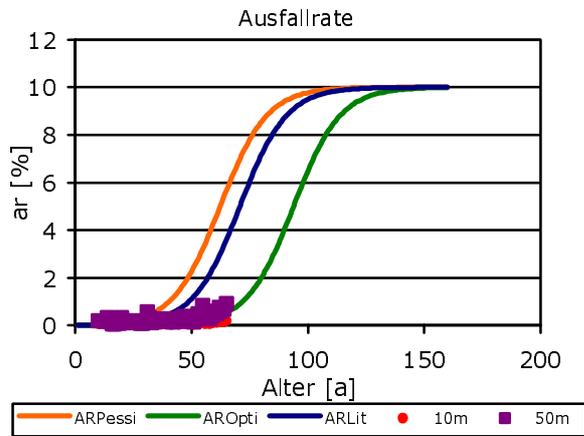
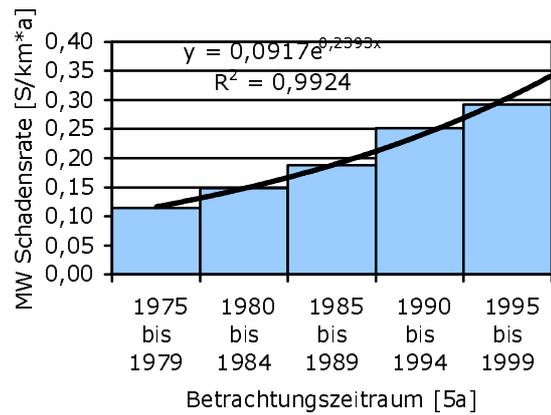
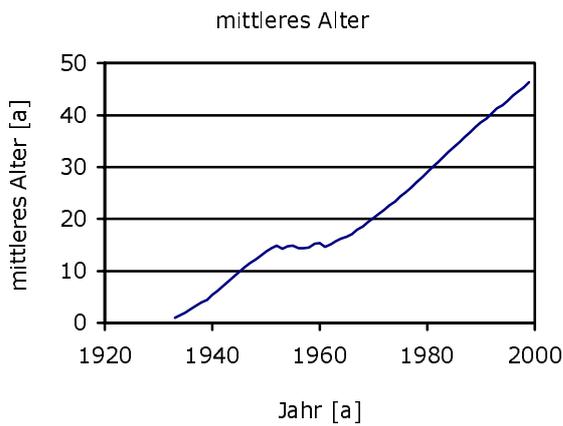
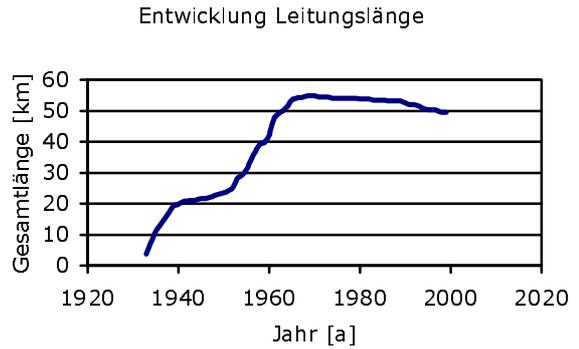
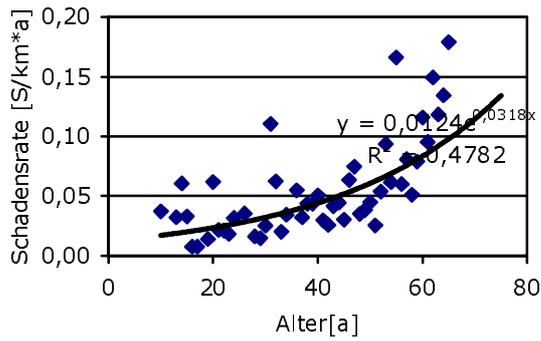


LEITUNGSGRUPPEN ASBESTZEMENT (ENDGÜLTIG)

AZ DN <100:

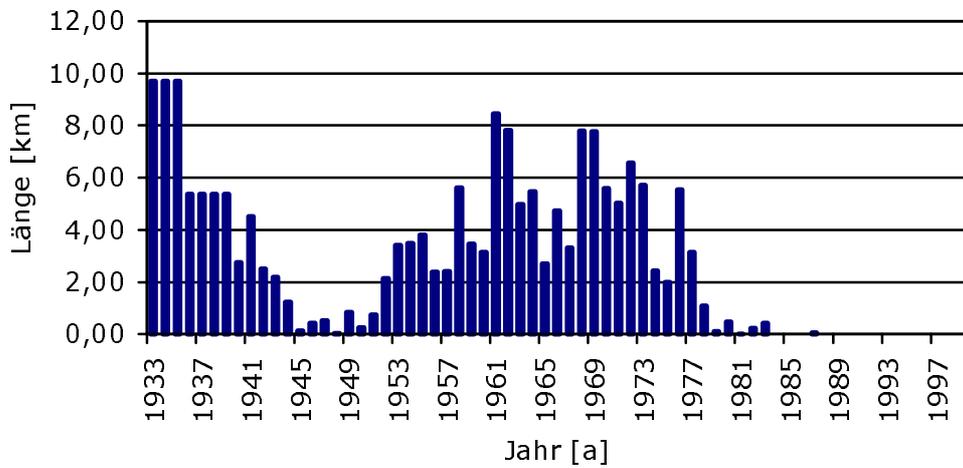
Kohortenlängen



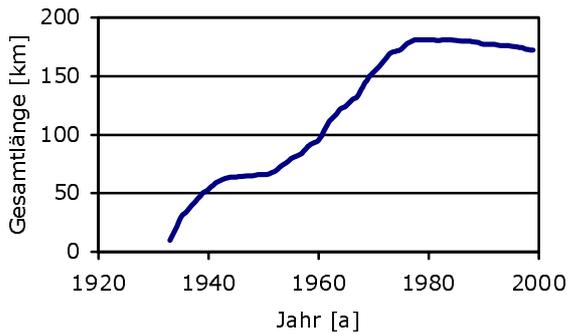


AZ DN 100 bis 200:

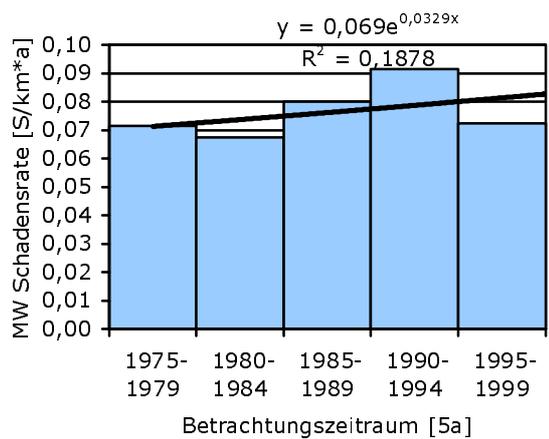
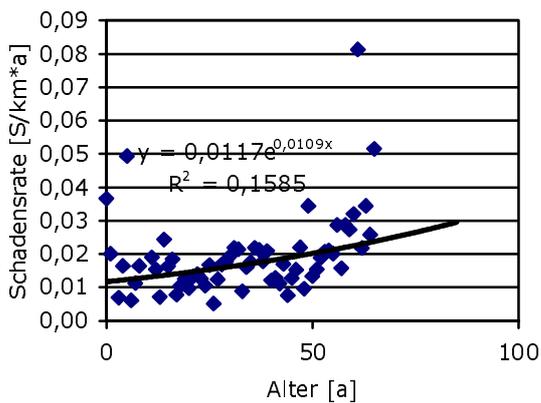
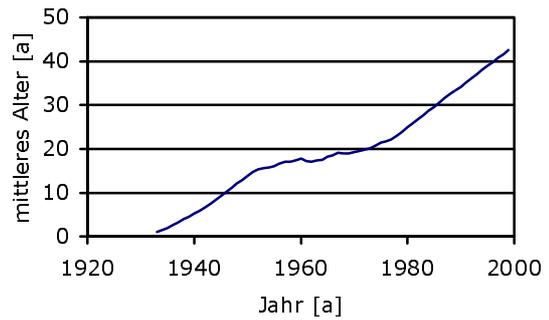
Kohortenlängen

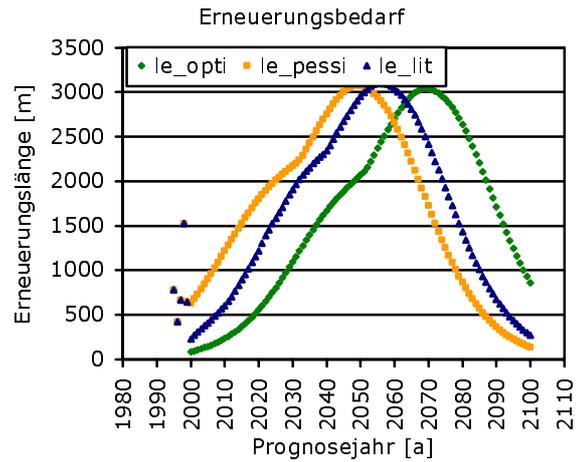
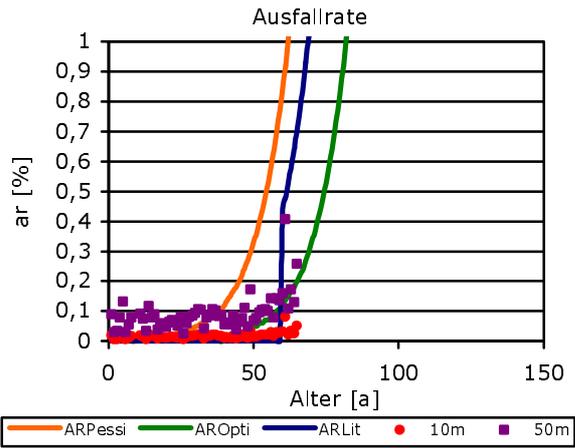


Entwicklung Leitungslänge



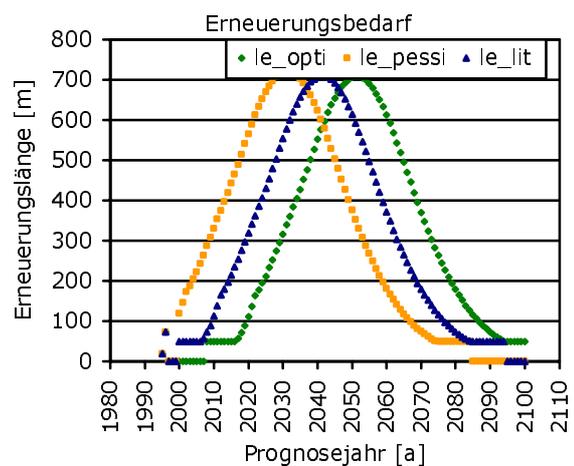
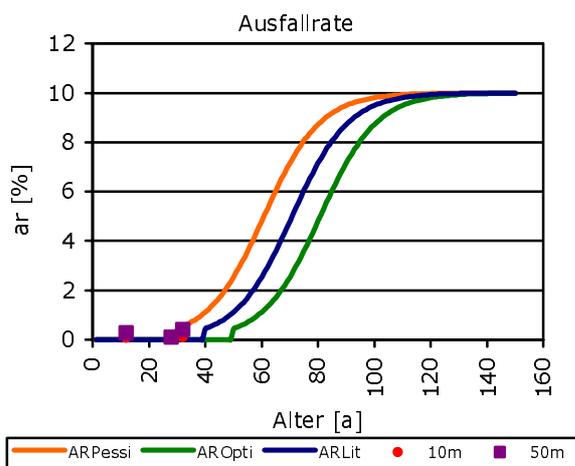
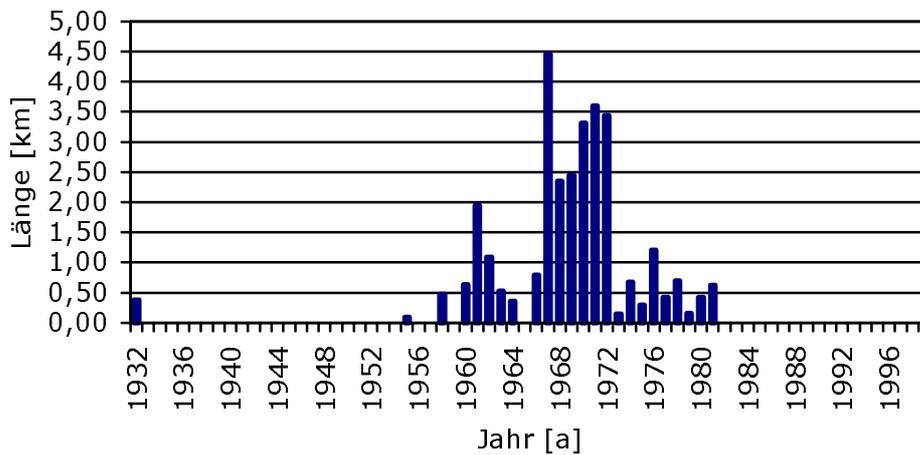
mittleres Alter





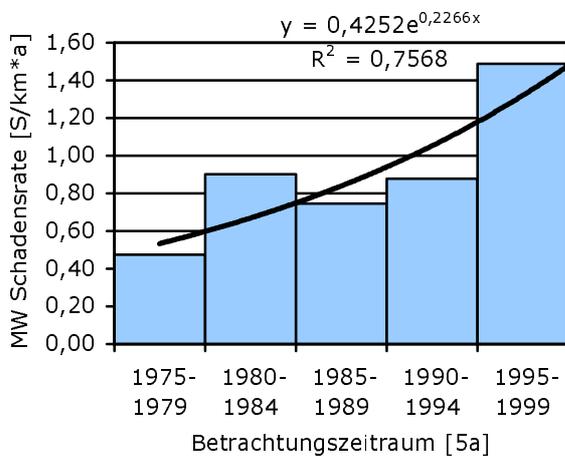
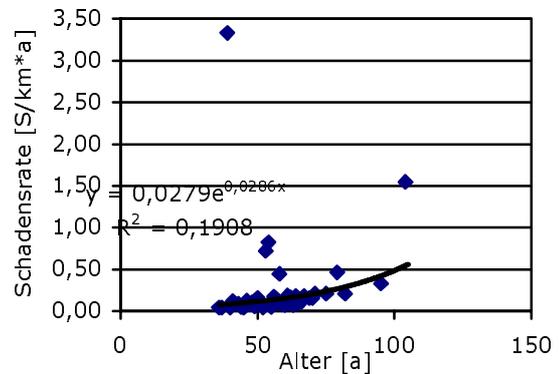
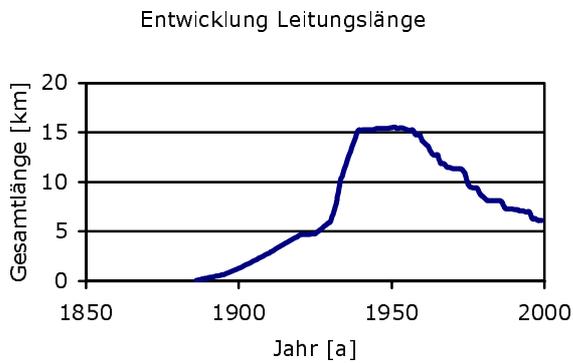
AZ DN > 200:

Kohortenlängen

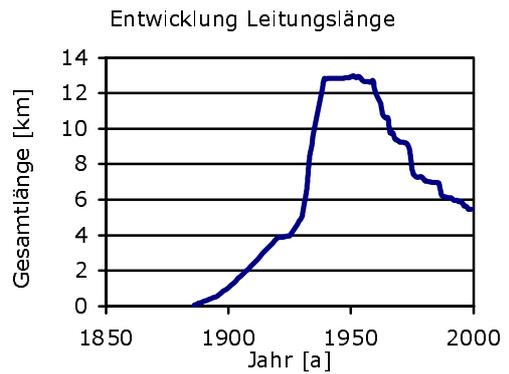
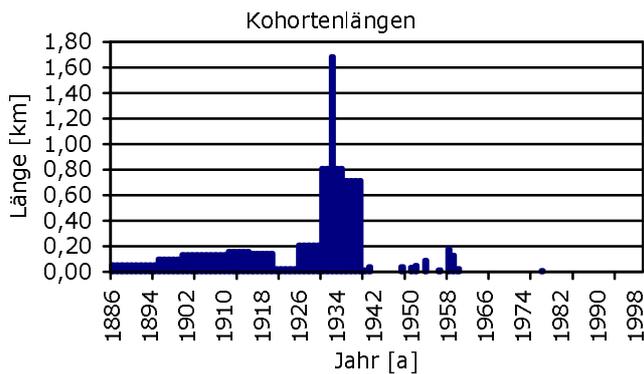


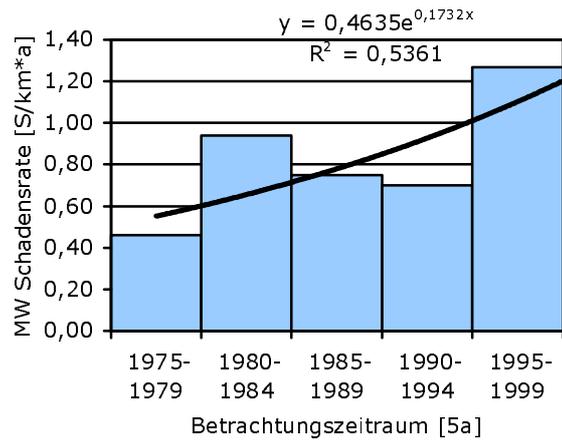
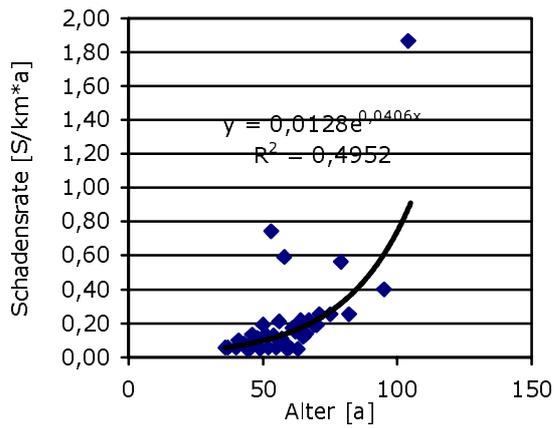
SCHADENS RATEN STAHL (DIV. GRUPPIERUNGEN) :

DN < 150 Stahl Stemmuffen (1886 bis 1967):

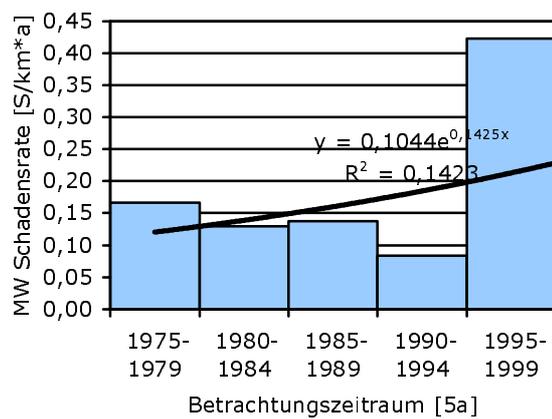
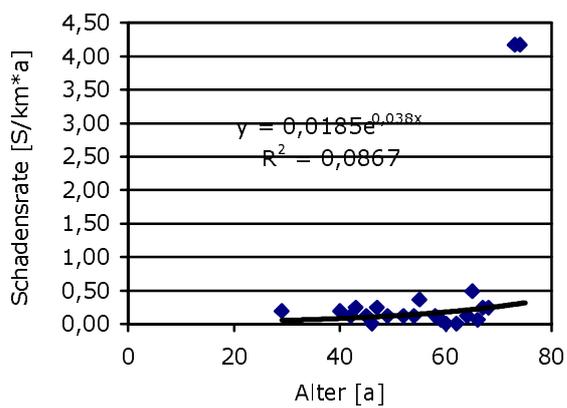
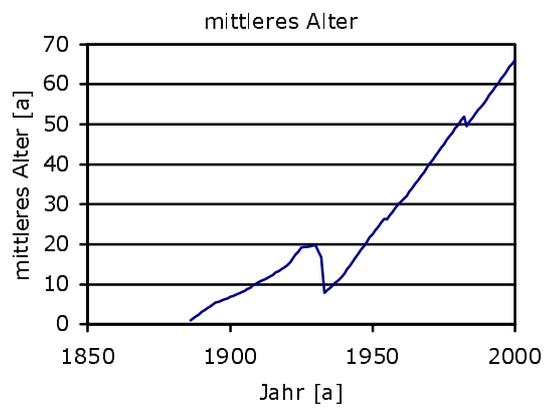
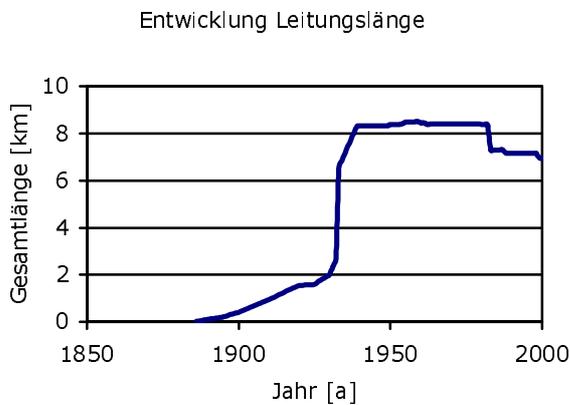


DN <= 100 Stahl Stemmuffen (1886 bis 1967):



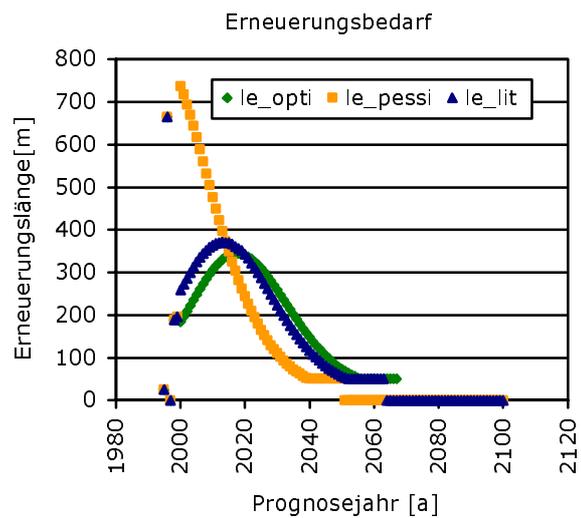
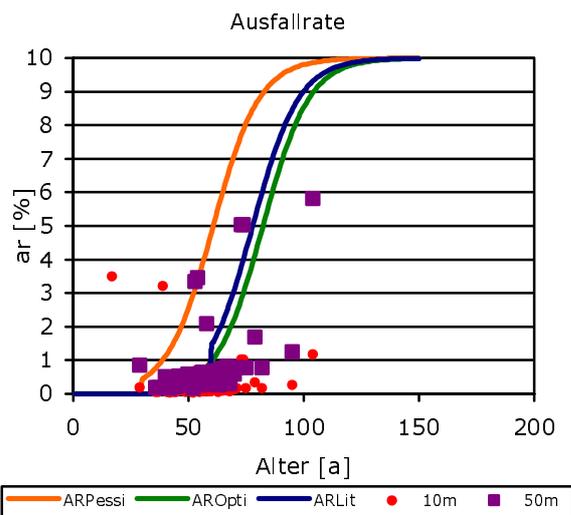
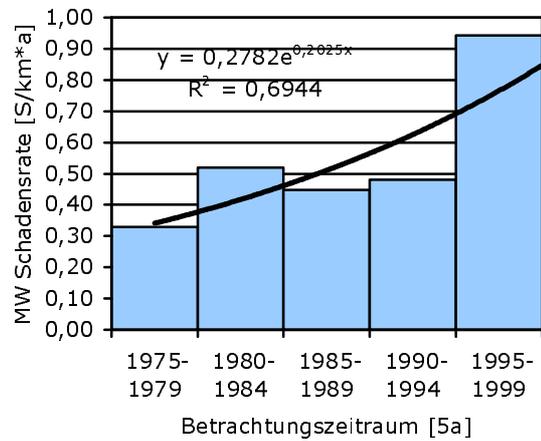
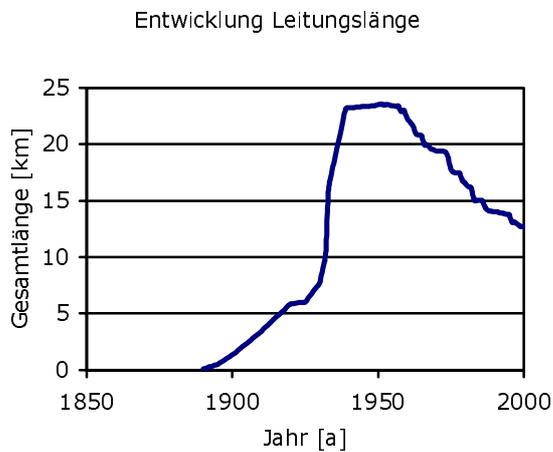
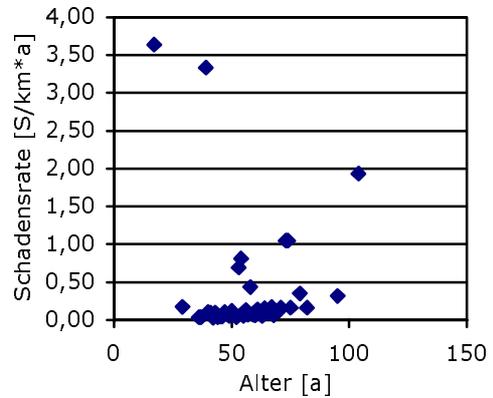
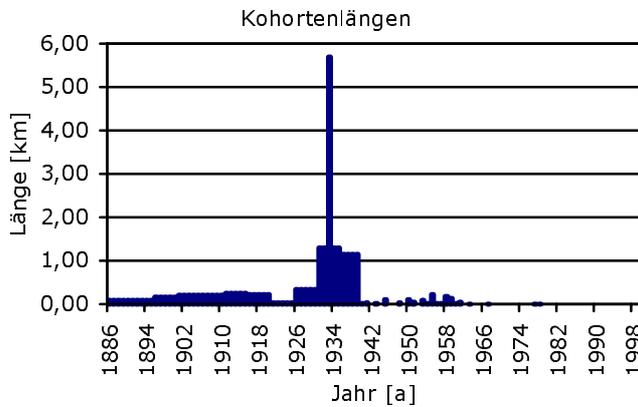


Stahl DN >=150:



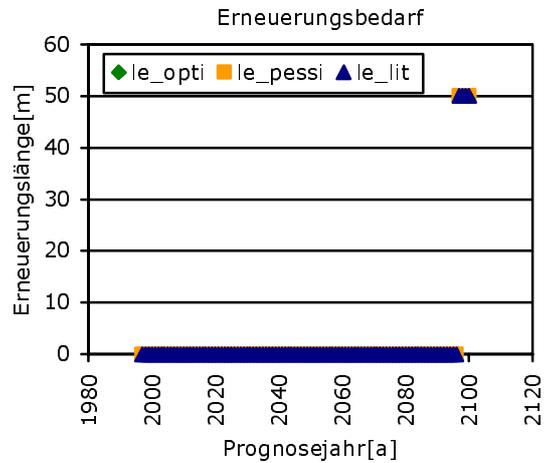
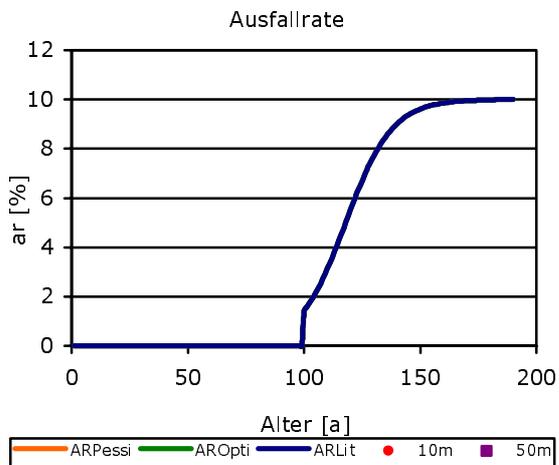
LEITUNGSRUPPEN STAHL (ENDGÜLTIG):

Stahl alt (1886 bis 1967)



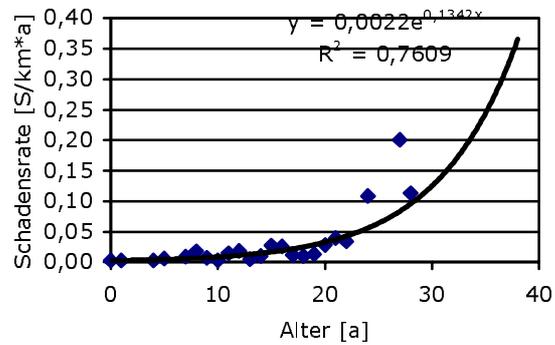
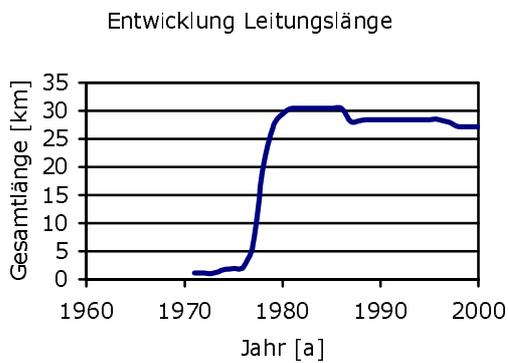
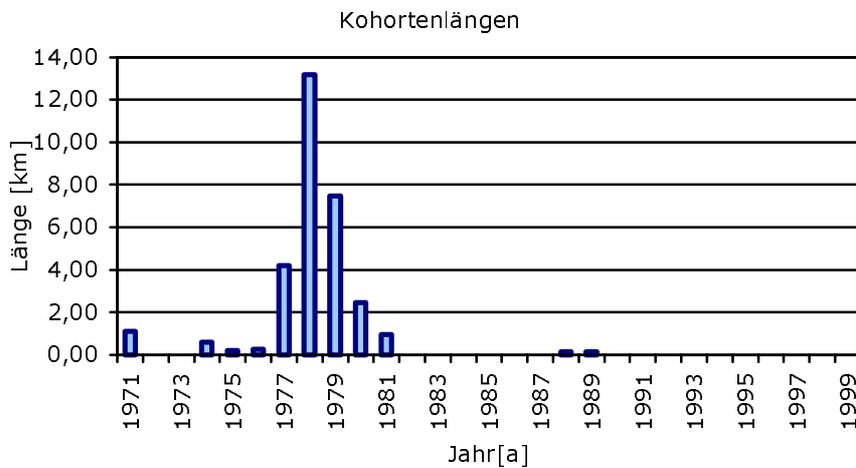
Stzmppe

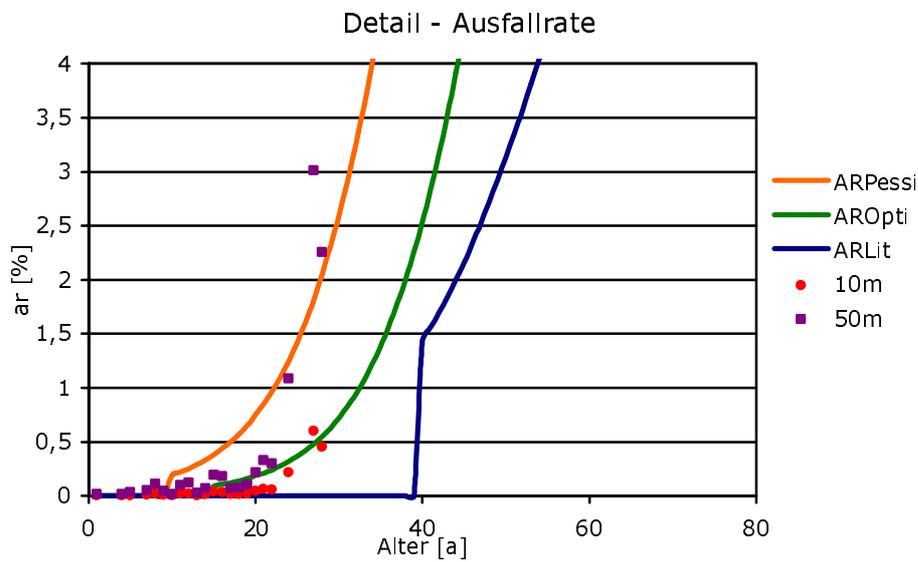
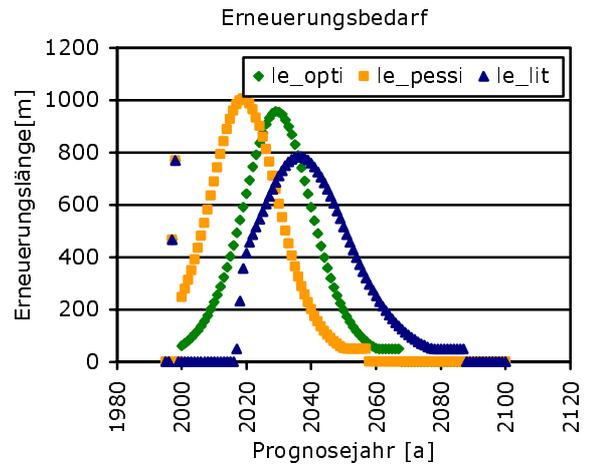
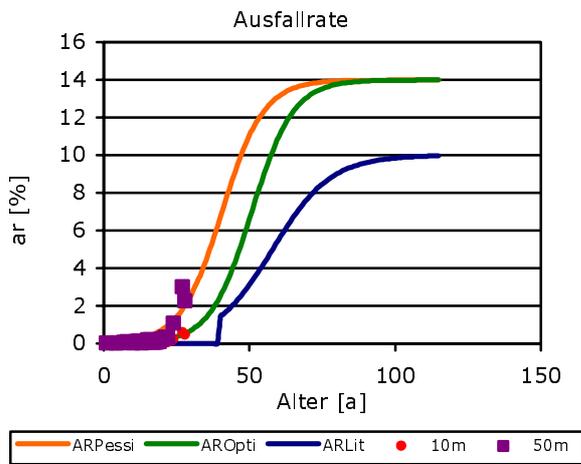
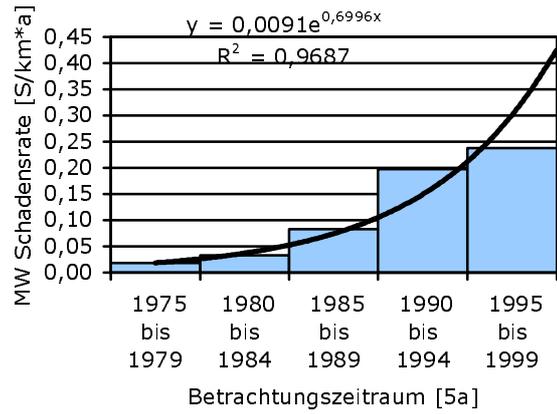
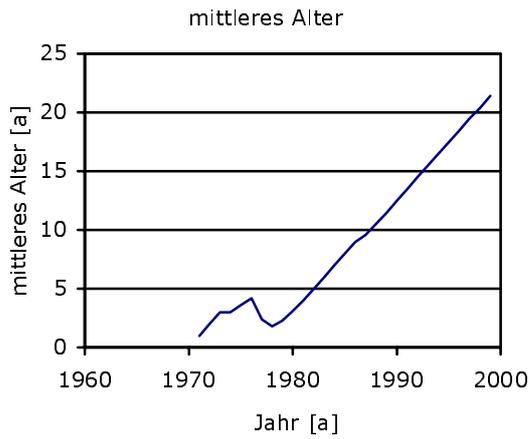
Bisher sind keine Schäden aufgetreten.



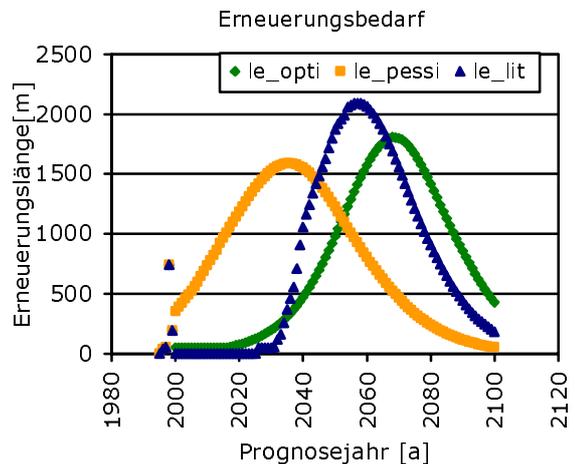
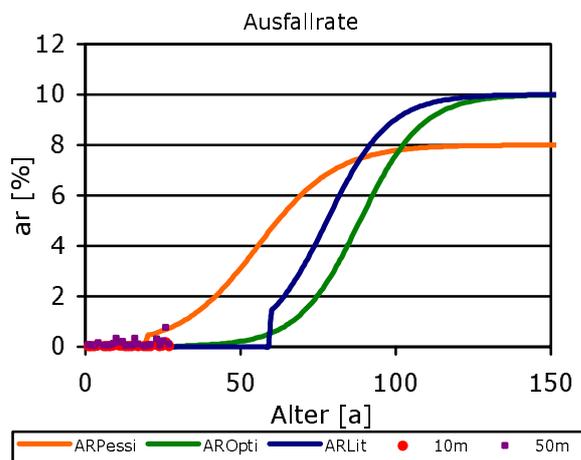
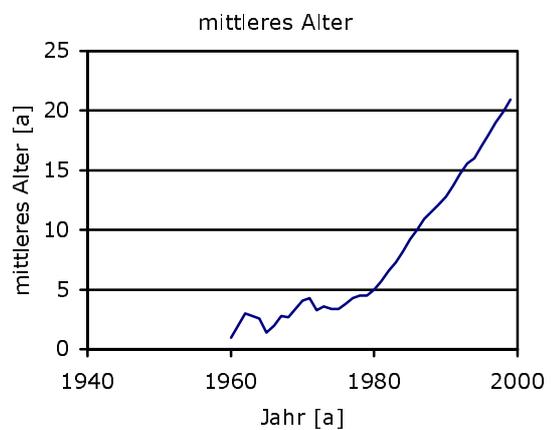
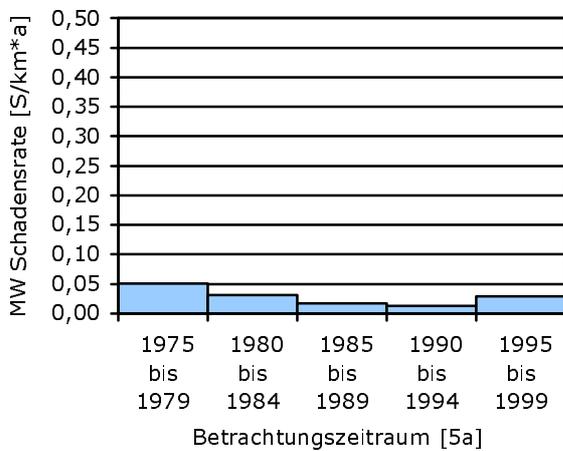
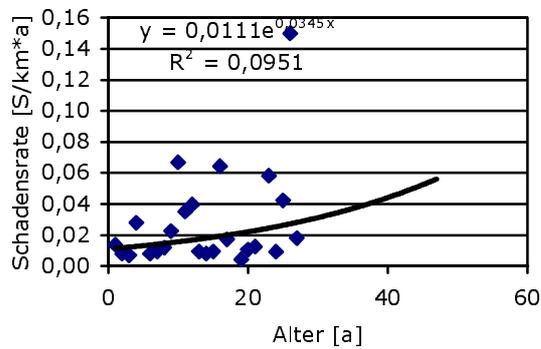
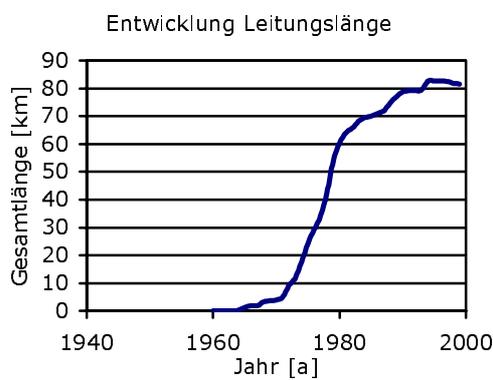
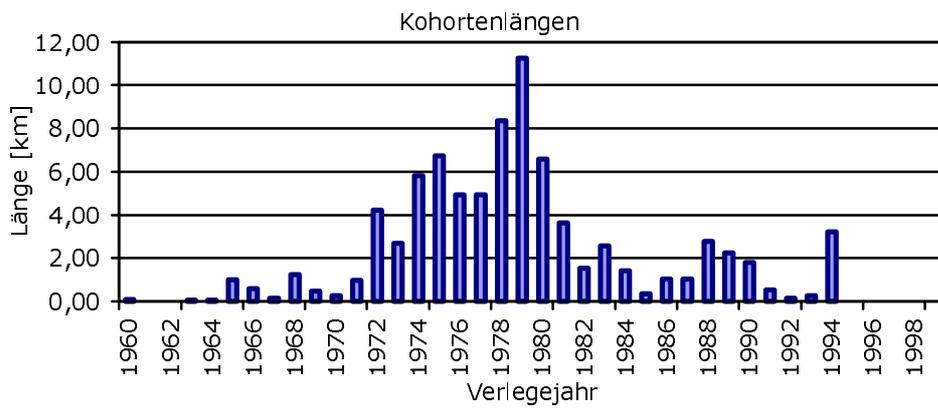
LEITUNGSGRUPPEN PVC (ENDGÜLTIG):

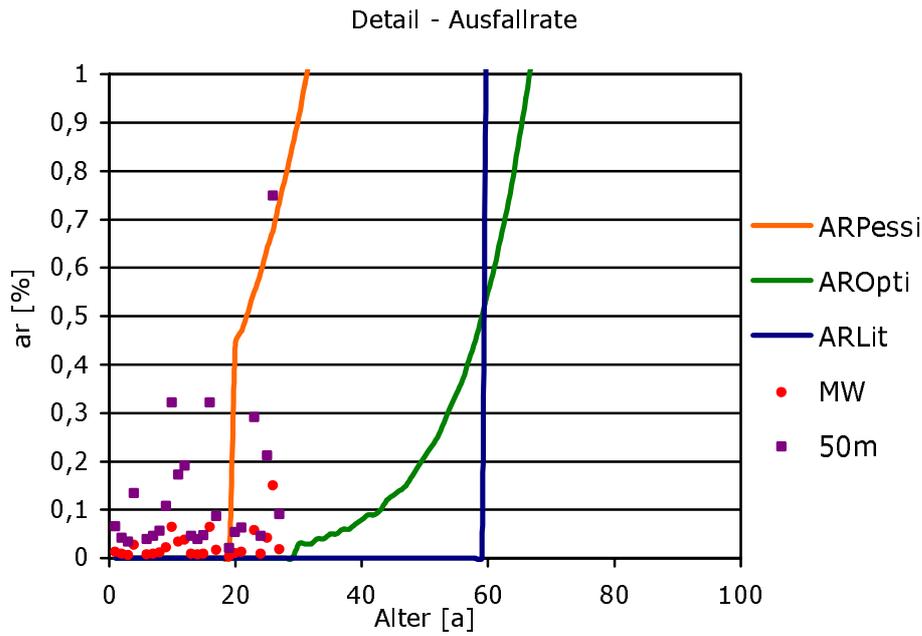
PVC DN >= 150 (1970 bis 1990):





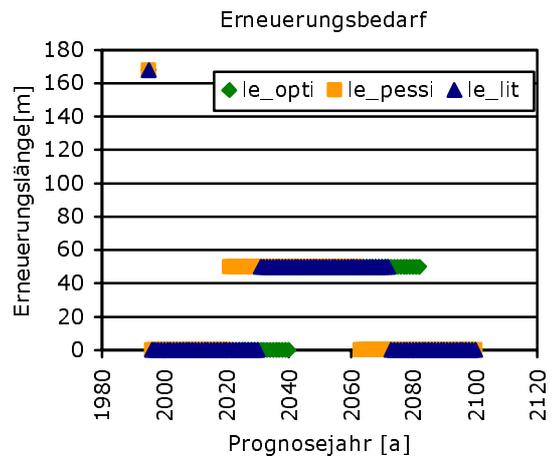
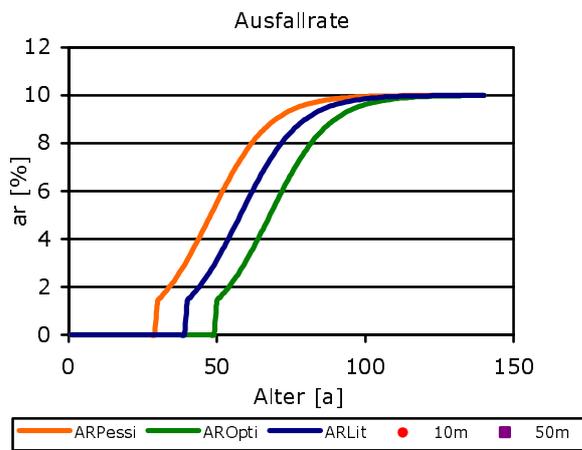
PVC < DN 150 (1960 bis 1995):





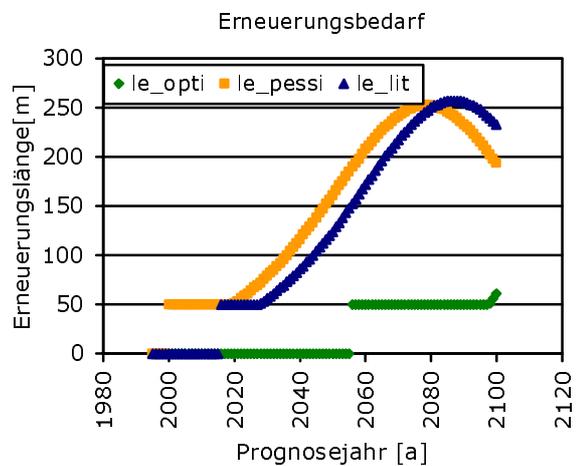
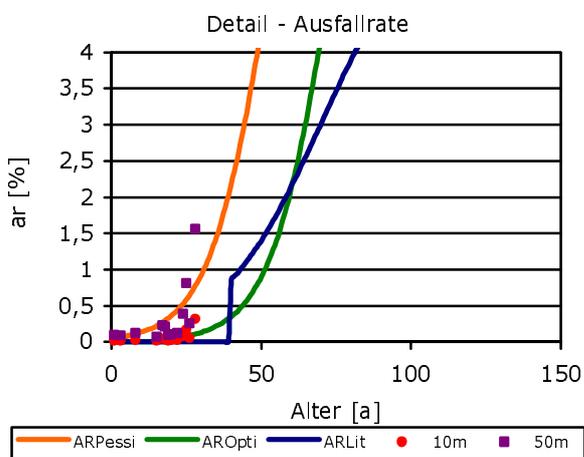
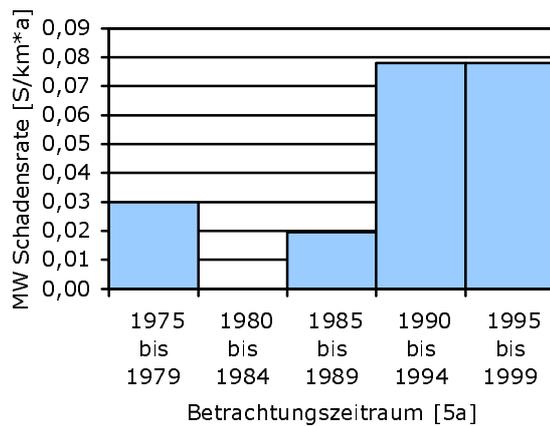
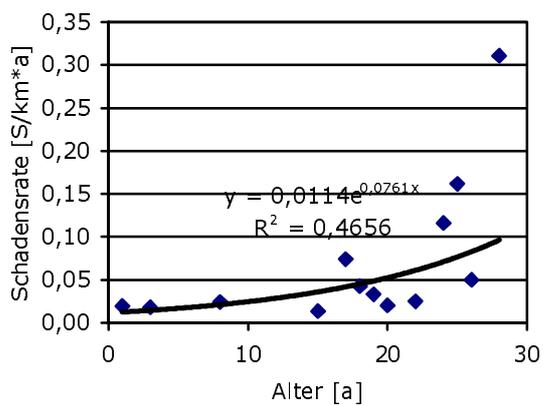
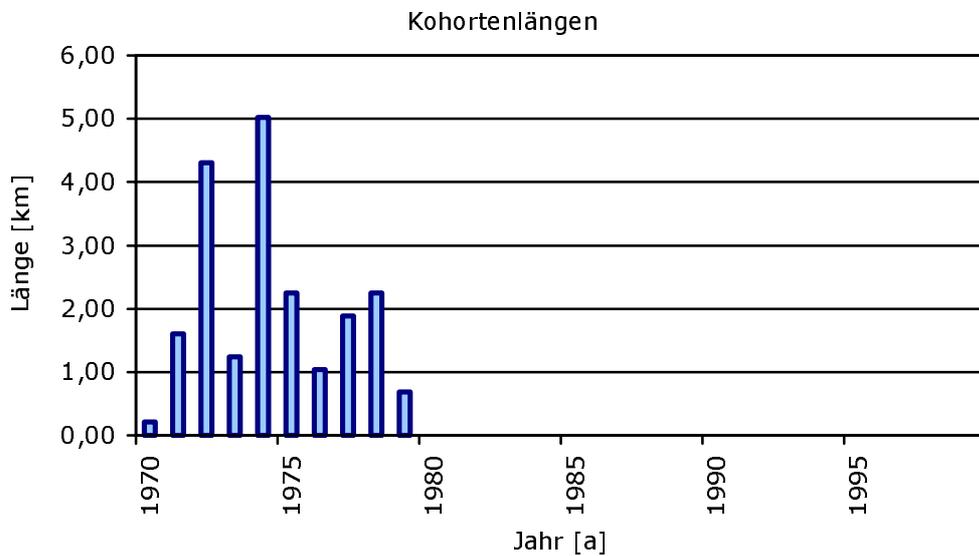
PE:

Bisher sind kaum Schäden aufgetreten.

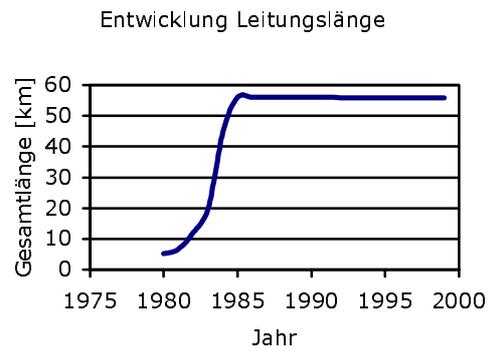
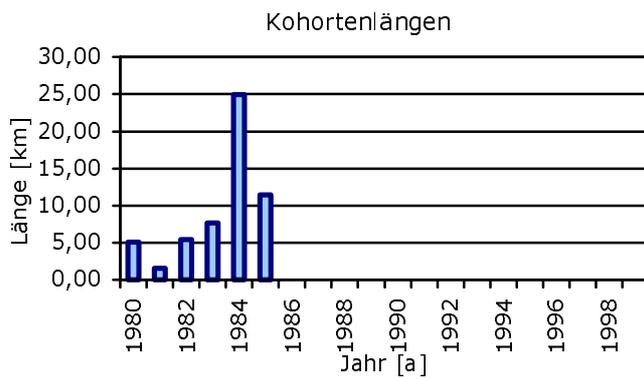


LEITUNGSGRUPPEN DUTILGUSS (ENDGÜLTIG):

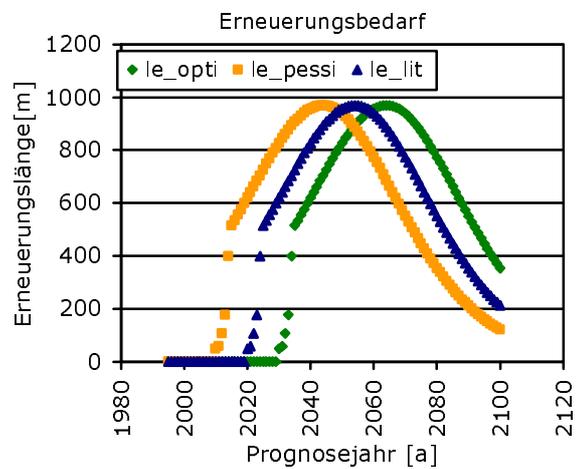
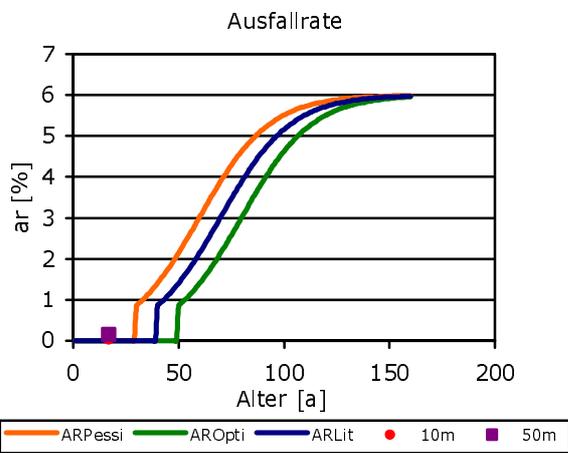
GGG (1970 bis 1980) laut Tiroler Röhrenwerke:



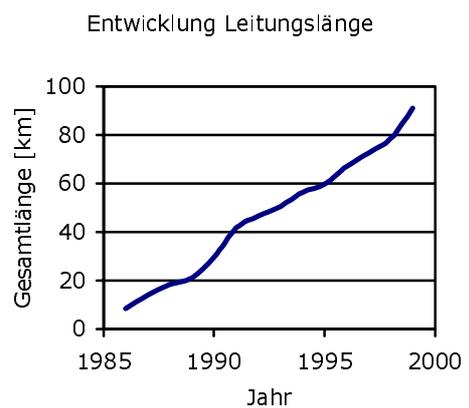
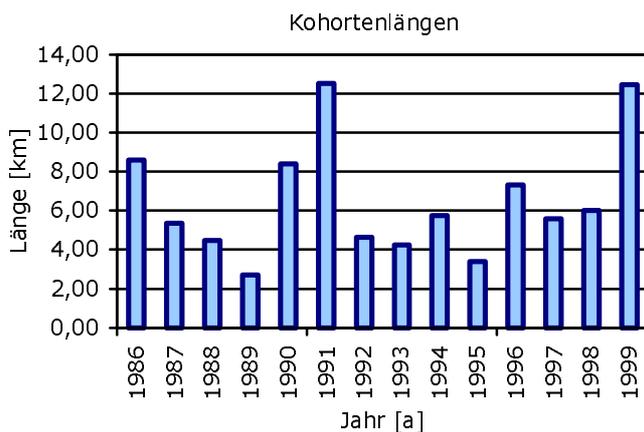
GGGz (1980 -1985) laut Tiroler Röhrenwerke:

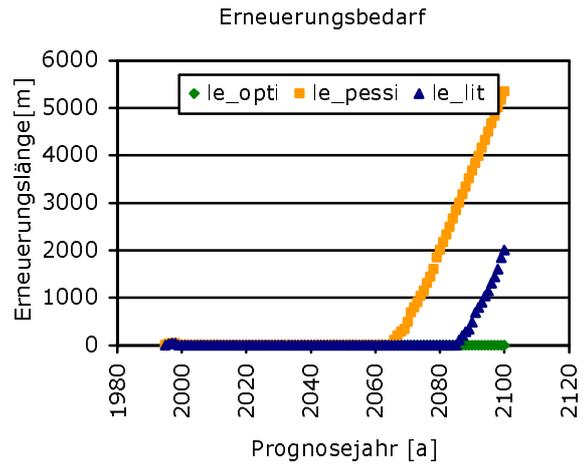
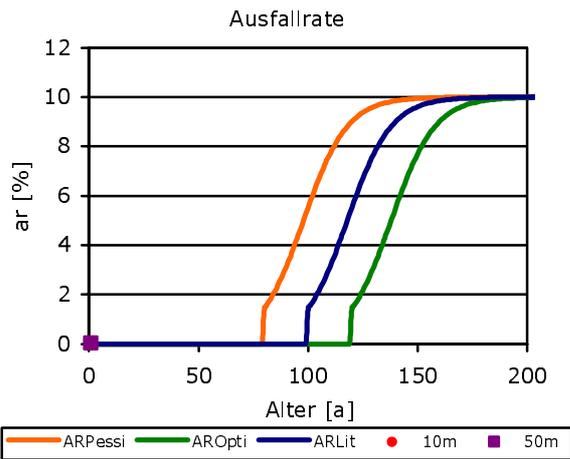


Bisher ist ein Schaden aufgetreten!



GGGzzm (ab 1986):

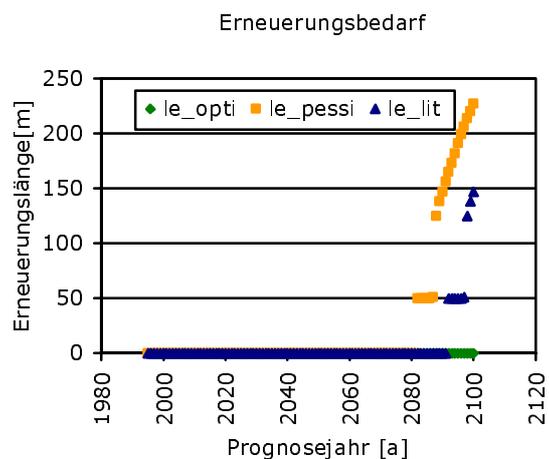
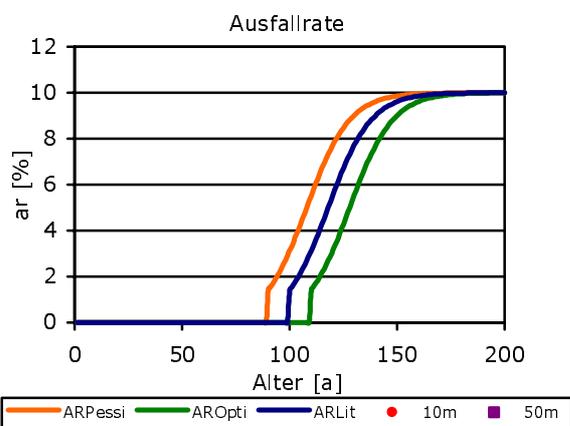
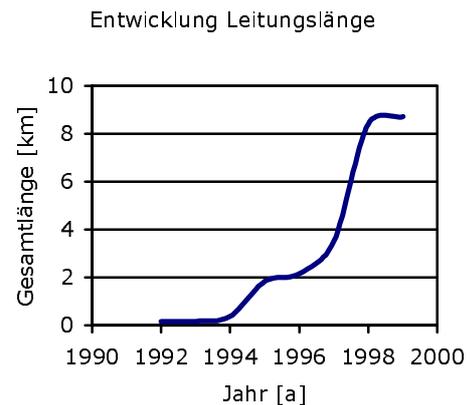
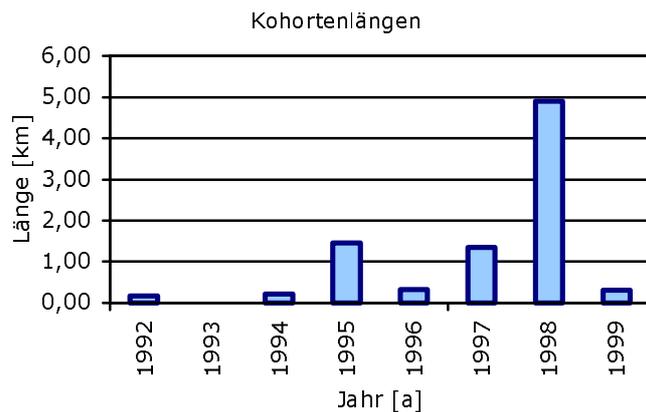




Die hohen Erneuerungslängen ergeben sich da angenommen wurde, dass sämtliche Erneuerungen mit GGGzzm durchgeführt werden.

GGGzzmpe :

Bisher sind keine Schäden aufgetreten



Anhang B gibt einen Überblick über das Datenbankschema von PiReP. Tabellen, Beziehungen und Formulare, die für die Modellierung des Erneuerungsbedarfes erforderlich sind, werden im folgenden aufgelistet und kurz beschrieben.

TABELLEN

Die in der PiReP Datenbank enthaltenen Tabellen sind für verschiedene Aufgabebereiche konzipiert worden und werden im folgenden erläutert.

BASISTABELLEN (ERSTE NORMALFORM):

Die Basistabellen enthalten grundlegende Informationen zur Beschreibung von Rohrnetzdaten. Dazu zählen unter anderem die Kategorien der unterschiedlichen Rohrmaterialien oder der Straßenschlüssel der betrachteten Gemeinde.

Tab_Material:



Tab_Durchmesser

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_DN	AutoWert	ID
SC	Zahl	Shortcut für Nenndurchmesser
Name	Text	genaue Bezeichnung

Tab_Strasse

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Strasse	Zahl	Straßenschlüssel
Name	Text	genaue Bezeichnung

Tab_Zone

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
Id_Zone	AutoWert	Schlüssel fuer Zone
SC	Text	Kuerzel fuer Zone
Name	Text	Zonenbezeichnung

Tab_Firma

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Firma	AutoWert	Schlüssel
SC	Text	Kürzel der Verlegefirma
Name	Text	vollständige Firmenbezeichnung

Tab_Ursache

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Ursache	Zahl	Ursachenschlüssel
Name	Text	Schadensursache

Tab_Boden

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Boden	AutoWert	Schlüssel
SC	Text	Kürzel Bodenklasse (sL)
Name	Text	Bezeichnung Bodenklasse

Tab_Fitting

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Fitting	AutoWert	ID der Verbindungsart
SC	Text	Kuerzel fuer den Verbindungstyp
Name	Text	Bezeichnung der Rohrverbindung

Tab_Bau

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Bau	AutoWert	Schlüssel
SC	Text	Kürzel für das Verlegeverfahren
Name	Text	Art der Verlegung (Neu, Umlegung,...)
Anmerkung	Text	zusätzliche Beschreibung, Merkmale

Tab_Leitungsgruppen_Standard

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_LGS	AutoWert	Schlüssel
Name	Text	Name der Leitungsgruppe
IDX_Mat	Zahl	Link auf Tab_Mat
IDX_DN_von	Zahl	Link auf Tab_DN (Durchmesser >= dieser DN)
IDX_DN_bis	Zahl	Link auf Tab_DN (Durchmesser <= dieser DN)
Jahr_von	Zahl	Verlegebeginn
Jahr_bis	Zahl	Ende der Verlegeperiode
IDX_Fitting	Zahl	Art der Rohrverbindung
IDX_Boden	Zahl	Untergrundbeschaffenheit
Uebertragen	Ja/Nein	"ja" bedeutet, Leitungsgruppe wird fuer Netz übernommen
100_Lit	Zahl	Alter das von 100% der Leitungen erreicht wird (Literatur)
x1_Lit	Zahl	mittlere Lebenserwartung eines Rohrtyps (Literatur)
x2_Lit	Zahl	Alter das von 10% der Leitungen erreicht wird (Literatur)
c_Lit	Zahl	Resistenzzeit bei optimistischer Betrachtung
a_Lit	Zahl	Geschwindigkeit der Alterung bei optimistischer Betrachtung
b_Lit	Zahl	Maximale Ausfallsrate bei optimistischer Betrachtung

AUSGANGSDATENTABELLEN (DRITTE NORMALFORM)

Die Datensätze dieser Tabellen werden durch Eingabe in die jeweils zugehörigen Formulare erzeugt. Die Tabellen können auch durch Datenimport gefüllt werden. Dies ist vor allem für den Import von Daten aus GIS oder anderen Datenbanken wichtig.

In der Datenbank gibt es zwei „Haupttabellen“, die auch die Datengrundlage für das Modell bilden. Eine enthält die zu den Schäden erfassten Informationen, die andere beinhaltet sämtlich Teillängen und Eigenschaften der verlegten und ausgebauten Leitungen.

Tab_Leitungslaenge:

Die Datenfelder ergaben sich aufgrund der Informationen in den Karteien/Dateien der Grazer Wasserwerke und wurden lediglich um das Feld ID_Leitung ergänzt.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Leitung	AutoWert	ID
Jahr	Zahl	Jahresangabe
Laenge	Zahl	Leitungslänge in m
IDX_ZUAB	Zahl	Link auf Tab_ZuAb
IDX_Mat	Zahl	Link auf Tab_Material
IDX_DN	Zahl	Link auf Tab_Durchmesser
Bemerkung	Text	Information ueber Verlege/Ausbauort
AANr	Text	Auftragsnummer
IDX_Strasse	Zahl	Link auf Tab_Strasse
IDX_Zone	Zahl	Link auf Tab_Zone
IDX_Bau	Zahl	Link auf Tab_Bau
IDX_Firma	Zahl	Link auf Tab_Firma
Datum	Datum/Uhrzeit	Fertigstellung

Tab_Schaeden:

Die Datenfelder wurden hauptsächlich aus der dBase Datenbank (Schadensstatistik) von Herrn DI Weinbauer übernommen.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
ID_Schaden	AutoWert	laufende Schadensnummer
IDX_Leitung	Zahl	Link auf Tab_Leitungslänge
IDX_Strasse	Zahl	Link auf Strassenschluessel
HNr	Text	naechstgelegene Hausnummer
Adresse	Text	Schadensort (Strassenname und Hausnummer)
Sonstiges	Text	sonstige Anmerkung hinsichtlich Schadensstelle (z.B. bei Schiebernr. 20)
Bezirk	Zahl	Politischer Bezirk
IDX_DN	Zahl	Link auf Tab_Durchmesser
IDX_Mat	Zahl	Link auf Tab_Material
Verlegejahr	Zahl	Verlegejahr des schadhaften Elements
Schadenszeitpunkt	Datum/Uhrzeit	Datum des Schadensauftretens/auffindens
IDX_Schadensart	Zahl	Link auf Tab_Schadensart
IDX_Ursache	Zahl	Link auf Tab_Ursache
KOSTEN	Zahl	Reparaturkosten
Schadensjahr	Zahl	Schadensjahr

Die schwarz unterlegten Felder erübrigen sich, wenn ein direkter Link auf die betroffene Leitung existiert. Beim zukünftigen Import der Daten aus dem GIS wird dies der Fall sein.

TABELLEN FÜR TEMPORÄRE DATEN

Diese Tabellen werden nur vorübergehend mit Daten gefüllt. Dies ist für manche Berechnungs- und Abfragezwischenschritte erforderlich.

Auswertung der Schadensraten

Die Tabellen *Tab_Laenge*, *Tab_Schadensjahr* und *Tab_Schadensalter* werden für die Auswertung der Schäden mit dem Alter bzw. mit dem mittleren Alter (gleichbedeutend mit Schadensjahr) benötigt.

Tab_Laenge:

Für die zu betrachtende Leitungsgruppe wird die verlegte Länge der einzelnen Verlegekohorten, die laufende Summe der Leitungslänge und das mittlere Alter in den verschiedenen Schadensjahren berechnet und eingetragen.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
Id	AutoWert	Laufende Nummer der Kohortenlaenge
Kohorte	Zahl	Kohorte (z.B. 1932)
Länge	Zahl	Kohortenlaenge
Abgang	Zahl	Erneuerte Leitungen der Leitungsgruppe
lfdSum	Zahl	Laufende Summe der Leitungslänge
mittleres_Alter	Zahl	mittleres Alter zum Zeitpunkt i
Beschriftung	Text	beschriftung für das Diagramm Kohortenlaenge
Al_Temp	Zahl	Wird zur Berechnung des Mittleren Alters aufgefüllt
Al_j_Temp	Zahl	Wird zur Berechnung des Mittleren Alters aufgefüllt
Al_j_Sum_temp	Zahl	Wird zur Berechnung des Mittleren Alters aufgefüllt

Die Tabelle wird durch aufrufen der VB Prozedur *Public Sub Laenge (LG, Mat, Mat_b, DN_v, DN_b, Jahr_v, Jahr_b, Weite, Stand)* gefüllt.

Tab_Schadensalter:

Sie wird benötigt, um die Schäden speziellen Altersgruppen und den zugehörigen Verlegejahrgängen (Kohorten) zuordnen zu können.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
Alter	Zahl	Alter bei Schadenseintritt
Verlegejahr	Zahl	Verlegejahr der schadhafte Leitung
Gruppe	Zahl	Altersgruppe (z.B.5-Jahresschritte) zu der die schadhafte Leitung zugeordnet werden kann
Kohorte	Zahl	Verlegekohorte (z.B.5-Jahresschritte) der die Leitung zugeordnet werden kann
Länge	Zahl	Länge der betrachteten Kohorte
min_Schadensjahr	Zahl	Schadensjahr in dem bei dieser Altersgruppe das erste mal ein Schaden aufgetreten sein kann

Die Tabelle wird durch aufrufen der VB Prozedur *Public Sub Schadensalter (Mat As Byte, Jahr_v As Integer, Jahr_b As Integer, _ Stat_v As Integer, Stat_b As Integer, Weite As Byte)* gefüllt.

Tab_Schadensjahr:

Die Tabelle ist erforderlich, um bei der Auswertung der Schadensraten in Abhängigkeit vom Schadensjahr bzw. mittleren Alter einer Leitungsgruppe, auch Jahre ohne Schäden berücksichtigen zu können.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
Schadensjahr	Zahl	Schadensjahr
Anzahl	Zahl	Anzahl Schaeden

Sie wird über eine Anfügeabfrage gefüllt und um Schadensjahre ohne Schäden ergänzt. Die Prozeduren werden beim Anklicken eines Buttons im Formular für die Auswertung der Schadenstatistik aktiviert. (*Private Sub Statistik_Com_Click ()* in *Frm_Abfrage*)

Berechnung der Alterungsfunktionen

Tab_Alterungsfunktionen:

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
Alter	Zahl	Alter der Leitung
LDPessi	Zahl	Lebensdauervertellung einer Leitungsgruppe bei pessimistischer Betrachtung
UEPessi	Zahl	Überlebensfunktion einer Leitung bei pessimistischer Betrachtung
ARPessi	Zahl	Ausfallsrate einer Leitung bei pessimistischer Betrachtung
LDOpti	Zahl	Lebensdauervertellung einer Leitungsgruppe bei optimistischer Betrachtung
UEOpti	Zahl	Überlebensfunktion einer Leitung bei optimistischer Betrachtung
AROpti	Zahl	Ausfallsrate einer Leitung bei optimistischer Betrachtung
LDLit	Zahl	Lebensdauervertellung einer Leitungsgruppe aus der Literatur
UELit	Zahl	Überlebensfunktion einer Leitung aus der Literatur
ARLit	Zahl	Ausfallsrate einer Leitung aus der Literatur

Die Tabelle wird mit Hilfe der Funktionen *Public Function Lebensdauervertellung (a,b,c,n)*, *Public Function Überlebensfunktion (a,b,c,n)*, *Public Function Ausfallsrate (a,b,c,n)* gefüllt.

ERGEBNISDATENTABELLEN

Tab_Leistungsgruppen:

Diese Tabelle stellt eine Übergangsform, aus den mit Hilfe von Formularen gefüllten Tabellen und den bei der Modellierung erzeugten Tabellen dar. Sie wird aus der Tabelle *Tab_Leistungsgruppen_Standard* generiert, indem vom Bearbeiter entschieden wird, welche, der in Literatur vorgeschlagenen, Leistungsgruppen für das betrachtete Netz entscheidend sind (siehe auch *Frm_Leistungsgruppen*). Danach werden sie mit Hilfe der, bei den schadensstatistischen Auswertungen gewonnenen, Erkenntnisse verifiziert, geändert oder ergänzt.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
IDX_LG	AutoWert	Laufende Nummer der Leistungsgruppe
Name	Text	Name der Leistungsgruppe
IDX_Mat	Zahl	Link auf Tab_Mat
IDX_DN_von	Zahl	Link auf Tab_DN (Durchmesser >= dieser DN)
IDX_DN_bis	Zahl	Link auf Tab_DN (Durchmesser <= dieser DN)
Jahr_von	Zahl	Verlegebeginn der betrachteten Gruppe
Jahr_bis	Zahl	Verlegende der betrachteten Gruppe
IDX_Fitting	Zahl	Art der Rohrverbindung
IDX_Bau	Zahl	Art des Verlegeverfahrens
IDX_Firma	Zahl	Baufirma
IDX_Boden	Zahl	Untergrundbeschaffenheit
100_pessi	Zahl	Alter das von 100% der Leitungen erreicht wird (pessimistisch)
x1_pessi	Zahl	X (z.B. 50) % wert (pessimistisch)
Y1_pessi	Zahl	Prozentsatz des erreichten Alters
x2_pessi	Zahl	X (z.B. 10) % wert (pessimistisch)
c_pessi	Zahl	Resistenzzeit bei pessimistischer Betrachtung
a_pessi	Zahl	Geschwindigkeit der Alterung bei pessimistischer Betrachtung
b_pessi	Zahl	Maximale Ausfallrate bei pessimistischer Betrachtung
100_opti	Zahl	Alter das von 100% der Leitungen erreicht wird (optimistisch)
x1_opti	Zahl	X (z.B. 50) % wert (optimistisch)
Y1_opti	Zahl	Prozentsatz des erreichten Alters
x2_opti	Zahl	X (z.B. 10) % wert (optimistisch)
c_opti	Zahl	Resistenzzeit bei optimistischer Betrachtung
a_opti	Zahl	Geschwindigkeit der Alterung bei optimistischer Betrachtung
b_opti	Zahl	Maximale Ausfallrate bei optimistischer Betrachtung
100_lit	Zahl	Alter das von 100% der Leitungen erreicht wird (Literatur)
x1_lit	Zahl	X (z.B. 50) % wert (Literatur/Mittel)
x2_lit	Zahl	X (z.B. 10) % wert (Literatur)
c_lit	Zahl	Resistenzzeit bei optimistischer Betrachtung
a_lit	Zahl	Geschwindigkeit der Alterung bei optimistischer Betrachtung
b_lit	Zahl	Maximale Ausfallrate bei optimistischer Betrachtung

Die Alterswerte (z.B. 100_pessi) werden über das Formular *Frm_Alterungsparameter* eingegeben. Die für die Gruppen charakteristischen Alterungsparameter (a, b, c) werden ebenfalls in dieser Tabelle geführt. Sie werden mit der VB - Prozedur *Public Sub Altersfunktionen (Alter_Max)*, welches über das Formular *Frm_Alterungsparameter* aufgerufen wird, berechnet.

Tab_Erneuerungslänge:

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
IDX_LG	Zahl	Link auf Tab_Leistungsgruppe
Jahr	Zahl	Prognosejahr
le_pessi	Zahl	Erneuerungsbedarf je Leistungsgruppe und Jahr bei pessimistischer Betrachtung
le_opti	Zahl	Erneuerungsbedarf je Leistungsgruppe und Jahr bei pessimistischer Betrachtung
le_lit	Zahl	Erneuerungsbedarf je Leistungsgruppe und Jahr bei pessimistischer Betrachtung
lt_pessi	Zahl	Gesamtlänge der Leistungsgruppe im Betrachtungsjahr (pessimistisch)
lt_opti	Zahl	Gesamtlänge der Leistungsgruppe im Betrachtungsjahr (optimistisch)
lt_lit	Zahl	Gesamtlänge der Leistungsgruppe im Betrachtungsjahr (Literatur)

Die Erneuerungslängen werden bei pessimistischer, optimistischer und aus der Literatur gemittelter Altersfunktion für alle Leistungsgruppen mit der dem Formular

