

Vernetztes Denken.
Verantwortliches Handeln.

Softwaregestützte
Rehabilitationsplanung
für Ihre Versorgungssysteme.



Inhaltsverzeichnis

1	Ganzheitliche Rehabilitationsplanung	2
1.1	Datengrundlage	2
1.2	Ergänzende Informationen.....	4
2	Umsetzung einer ganzheitliche Rehabilitationsplanung auf Basis der Software PIREM	5
2.1	Datenimport	5
2.2	Leitungsgruppebildung.....	6
2.3	Langfristige Rehabilitationsplanung	7
2.4	Langfristiger Rehabilitationsbedarf – Definieren von Szenarien	8
2.5	Mittelfristige Rehabilitationsplanung Definieren von Erneuerungsprioritäten	9
2.6	Ergebnis der mittelfristige Rehabilitationsplanung	10
3	Zusammenfassung.....	11
4	Literaturangaben	12

1 Ganzheitliche Rehabilitationsplanung

Ziel eines Wasserversorgungsunternehmens sollte es sein, das Versorgungsnetz in einem einwandfreien Zustand zu erhalten, um nachfolgenden Generationen keinen Investitionsrückstau zu übergeben.

Eine Möglichkeit den Zustand eines Versorgungsnetzes zu beschreiben besteht in der Auswertung aufgezeichneter Schadensereignisse. In der Literatur gibt es zahlreiche Publikationen über die Auswertung von Schadensaufzeichnungen und dazu angepasste mathematische Modelle, um die bisherige Schadensentwicklung zu beschreiben, beziehungsweise die zukünftigen Entwicklungen im Netz zu prognostizieren (siehe Gangl, 2008).

Vorausschauende Erneuerungsplanung mit Rücksicht auf die finanziellen Mittel sollte jedoch nicht nur aufgrund von Schäden im Netz abgeleitet werden. Anhand einer Schadensanalyse kann der Alterungsprozess der verlegten Leitungen abgebildet werden, die Entscheidung, ob ein Schaden repariert oder die Leitung erneuert werden soll, lässt sich daraus aber nur indirekt ableiten. In der Regel werden Reparaturkosten den Investitionskosten für den Neubau gegenübergestellt und aufgrund der prognostizierten Schadensentwicklung versucht, den optimalen Rehabilitationszeitpunkt zu berechnen.

Erst wenn das System „Leitung – umgebende Infrastruktur“ ganzheitlich betrachtet wird, lässt sich eine wirklich effiziente und vorausschauende Rehabilitationsplanung und somit eine langfristige Werterhaltung der Infrastruktur umsetzen.

1.1 Datengrundlage

Als Stand der Technik kann angenommen werden, dass zumindest das Versorgungsnetz lagemäßig digital vorliegt. Da Gasnetzbetreiber und Stromnetzbetreiber verpflichtet sind, jährlich Strukturmerkmale wie Länge und Durchmesser im Internet zu veröffentlichen (GasNEV, StromNEV), können diese Informationen als vorhanden angenommen werden. Für Wasserversorgungsbetriebe gelten diese Voraussetzungen zwar nicht, im Sinne einer effizienten Betriebs-

führung können jedoch auch hier diese Informationen als vorhanden angenommen werden. In der Regel liegen diese Daten in einem Geografischen Informationssystem (GIS) vor. Als Mindestumfang an zu erhebenden Daten welche als Attributdaten der Leitung zugeordnet sein sollen kann folgende Auflistung angesehen werden:

Tabelle 1: Mindestanforderungen an Daten

Identifikationsnummer der Leitung	Identifikationsnummer des Schadens
Material der Leitung	Identifikationsnummer der zugehörigen Leitung
Durchmesser der Leitung	Schadensdatum
Länge der Leitung	Reparaturkosten des Schadens
Einbaujahr der Leitung	Betriebszustand des Schadens
Ausbaujahr der Leitung	
Rehabilitationskosten pro Meter	
Betriebszustand der Leitung	

Ergänzend zu den angeführten leitungsbezogenen Daten sind im Strombereich auch Betriebsmittel wie Transformatoren, Lastschalter, Leistungsschalter, Trennschalter, Gebäude oder Maste mit zu berücksichtigen. Da es sich hier in der Regel um genormte Bauteile handelt, lassen sich statistische Ausfallfunktionen an die aufgezeichneten Störungen anpassen. Bei Einzelbauwerken wie Hochbehälter im Trinkwasserbereich ist diese Methodik nur schwer anwendbar.

Für die Modellierung der Alterungsprozesse ist es wichtig auch historische Daten zu verwenden. Dazu zählen historische Schäden an bereits erneuerten Leitungen. Anhand der Informationen über Baujahr und Ausbaujahr kann die tatsächliche Lebensdauer eines Leitungsabschnitts rekonstruiert werden. Außerdem können diesen bereits stillgelegten Leitungen auch Schäden zugeordnet werden die ansonsten aus der Statistik fallen, da sie keinen Leitungsbezug mehr haben. Historische Daten sollen ebenfalls im GIS verwaltet werden und können beispielsweise über ein Feld mit der Bezeichnung Status („in Betrieb“, „ausser Betrieb“) geführt werden.

1.2 Ergänzende Informationen

Zusätzlich zu den angeführten Daten können weitere Informationen eine bessere Erklärung möglicher Zusammenhänge zwischen Schadenshäufigkeit und Schadensursache geben. Bei metallischen Leitungen kann die Information über einen vorhandenen Korrosionsschutz einen deutlichen Einfluss auf das Ausfallverhalten haben, auch die oberflächennahe Lage einer Leitung im Verkehrsraum, oder der vorliegende Boden sollten berücksichtigt werden. Sofern vorhanden können bei zugänglichen Betriebsmitteln (Schaltanlagen, Trafos,...) Inspektionsergebnisse den aktuellen Zustand oder das mögliche Ausfallverhalten besser beschreiben. Beispiele für zusätzliche Kriterien sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Beispiel für ergänzende Anforderungen an Daten

Korrosionsschutz innen	Schadensart
Korrosionsschutz außen	Schadensursache
Verbindungsart	
Bodenart	
Rohrrauhigkeit	
Wasserverluste	
Öffentlicher Verkehr (Bus, Bahn)	
Verkehrsbelastung	
Spülpläne	
Baustellenkoordinationen	
Bebauungsdichte	
Lage im Verkehrsweg	

Wichtig bei der beispielhaften Auflistung in Tabelle 2 ist jedoch, dass nicht alle der angeführten Kriterien standardmäßig bei einem Versorgungsunternehmen vorliegen. Hier obliegt es der Erfahrung des Fachingenieurs, ob sich der zeitliche und finanzielle Aufwand lohnt, weitere Einflussmerkmale zu erheben um dadurch einen entsprechend relevanten Mehrwert an Informationen zu bekommen.

Das Schadensverhalten alleine ist in der Regel nicht unbedingt ausschlaggebend, ob eine Leitung oder ein Betriebsmittel rehabilitiert wird oder nicht. Eine Vielzahl an Kriterien kann hier eine Rolle spielen, und wird sich je nach Unternehmensstrategie stärker oder schwächer auf den Entscheidungsprozess auswirken. Als Beispiel kann eine hydraulisch unterdimensionierte aber nicht sehr schadensanfällige Trinkwasserleitung rehabilitiert werden, da im Löschwasserfall nicht genug Wasser bereitgestellt werden kann. Auch werden Betriebsmittel, für die keine Ersatzteile mehr angeboten werden aber noch intakt sind, in einem Maßnahmenplan dennoch eine stärkere Gewichtung bekommen.

2 Umsetzung einer ganzheitliche Rehabilitationsplanung auf Basis der Software PIREM

Unterirdische Infrastrukturnetze wie sie in den Bereichen Gas, Wasser oder Strom üblich sind, entziehen sich einer direkten Begutachtung des aktuellen Zustands. Zusätzlich sind diese Leitungssysteme in der Regel einige 100 Kilometer lang, weshalb eine direkte Begutachtung auch zeit- und daher kostenintensiv ist. Liegt jedoch eine größere Stückzahl an ähnlichen Leitungssegmenten und zugehörigen Störungen oder Schäden vor, dann können diese statistisch ausgewertet und deren Ausfallverhalten mathematisch beschrieben werden. Wie diese Auswertung effizient und nachvollziehbar durchgeführt werden kann wird anhand eines Beispiels unter Verwendung der Software PIREM gezeigt.

2.1 Datenimport

Wie bereits im Kapitel 1.1 erwähnt, liegen Daten von Versorgungsnetzen in der Regel in einem Geografischen Informationssystem vor. PIREM bietet daher als Importschnittstelle die gängigen Datenformate .dbf und .csv an. Um einen direkten Import in PIREM der exportierten GIS-Daten zu ermöglichen, wird einmalig eine Datenbank nach dem Schema des Versorgungsunternehmens erstellt. Dadurch kann der zukünftige Datentransfer reibungslos durchgeführt werden.

Zu Beginn erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der importierten Daten, um mögliche Fehler (z.B. PVC-Leitungen mit Baujahr 1920) aufzuzeigen und dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, diese Information in seinem GIS zu ändern.

2.2 Leitungsgruppenbildung

Durch die Unterteilung in Leitungsgruppen kann der Alterungsprozess des Leitungsnetzes detaillierter betrachtet werden und Leitungen mit ähnlichem Alterungs- bzw. Schadensverhalten zu Gruppen zusammengefasst werden. Dadurch kann die komplexe Netzstruktur einfacher dargestellt und das Alterungsverhalten gruppenbezogen berechnet werden.

PIREM schlägt hierfür Standardleitungsgruppen vor, die auf Empfehlungen des DVGW Hinweis W 401 (1997) und eigenen Untersuchungen (FUCHS, 2001) der Leitungs- und Schadensdaten basieren. Bezogen auf die spezifischen Eigenschaften des betrachteten Netzes werden diese in der Regel adaptiert. Liegen über das betrachtete Versorgungsnetz keine Schadensaufzeichnungen vor, wie es bei Betriebsführungen kleinerer Netz der Fall sein kann, können mit den hinterlegten Standardleitungsgruppen dennoch Aussagen über einen möglichen Investitionsbedarf getätigt werden.

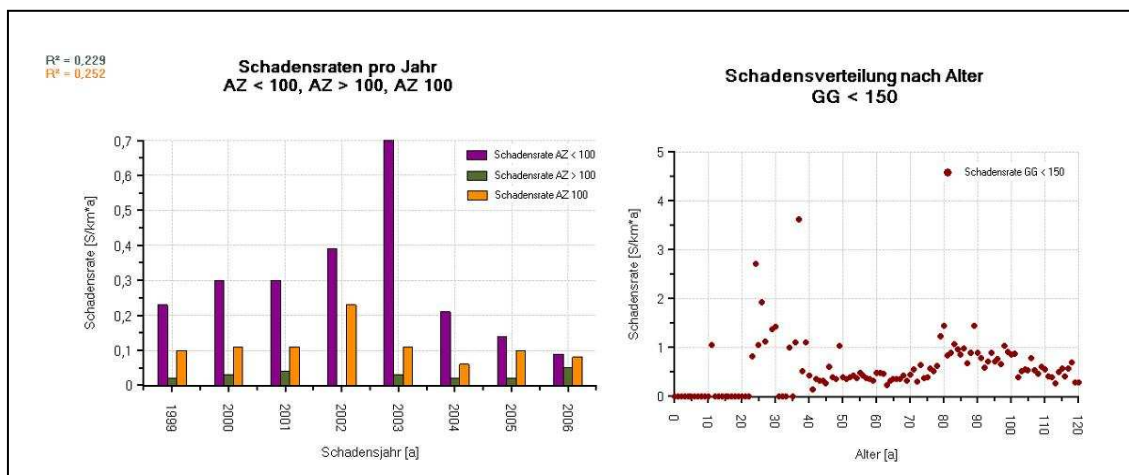


Bild 1: Unterscheidungsmerkmale bei der Leitungsgruppenbildung

Die Bildung von Leitungsgruppen ist ein iterativer Prozess. Ausgehend von den Standardleitungsgruppen werden durch die Auswertung der jährlichen Schadensrate, der altersbezogenen Schadensrate, der Baujahre und der Leitungs-

länge die an die eigenen Verhältnisse angepasste Leitungsgruppierung durchgeführt (Bild 1).

2.3 Langfristige Rehabilitationsplanung

Die DVGW Richtlinie W 400-3 fordert von einem Wasserversorgungsunternehmen, möglichst eine vorbeugende und zustandsorientierte Instandhaltung oder Inspektionsstrategie zu verfolgen. Um vorbeugend Instandhaltungen durchzuführen, ist es neben den vorhandenen Aufzeichnungen über das Rohrnetz (Leitungen, Schäden, Wasserverluste) wichtig, welche Schlüsse aus den gewonnenen Daten gezogen werden. In der Literatur gibt es mehrere Ansätze, wie der Alterungsprozess der Rohrleitungen mathematisch abgebildet werden kann, um daraus eine entsprechende Rehabilitationsstrategie ableiten zu können. Als Grundlage für die Anwendung von statistischen Modellen sind entsprechend qualitativ hochwertige Schadensaufzeichnungen notwendig, anhand derer mathematische Ausfalls-, Überlebens- oder Lebensdauerverteilungen angepasst werden können.

Alterungsprozesse lassen sich mathematisch als alterungsabhängige Wahrscheinlichkeiten des Übergangs in schlechtere Zustände beschreiben. Diese Übergangsraten oder Ausfallraten verändern sich im Laufe des Alters je nach Material und Beanspruchung und sind funktional verknüpft mit Überlebenswahrscheinlichkeiten und Lebenserwartungen. Herz (1987) hat diesen Prozess mathematisch beschrieben und als Grundlage des Alterungsprozesses, abweichend von den gängigen Alterungsfunktionen (Weibull-, Lognormal-, Logistik-Verteilung), eine eigene speziell auf das Alterungsverhalten von Infrastrukturelementen abgestimmte Funktion definiert. In PIREM ist die Herz-Funktion implementiert und kann manuell über die drei Funktionsparameter an die aufgezeichneten Schäden angepasst werden.

Zusätzlich sind in PIREM mathematisch eindeutig definierte Funktionen wie die Weibull-, Lognormal- oder Logistik-Verteilung implementiert, deren Verlauf über ein statistisches Schätzverfahren an die Daten angepasst wird. Die Methodik der Berechnung nach Kaplan-Meier und das Schätzverfahren über „kleinste Abweichungs-Quadrate“ sind in der Statistik anerkannte Verfahren. Um eine benutzerfreundliche Auswahl der geeignetsten der drei angepassten Funktionen zu ermöglichen, wurde auf die Darstellung von Quantile-Quantile-Pots zu-

rückgegriffen. Dadurch ist es dem Benutzer auch ohne umfangreichem statistischem Vorwissen möglich, über einen grafischen Vergleich die optimale Funktion auszuwählen. In einem direkten Vergleich kann der Verlauf der manuell angepassten Herz-Funktion und der Verlauf aus den geschätzten Funktion überprüft werden (Bild 2).

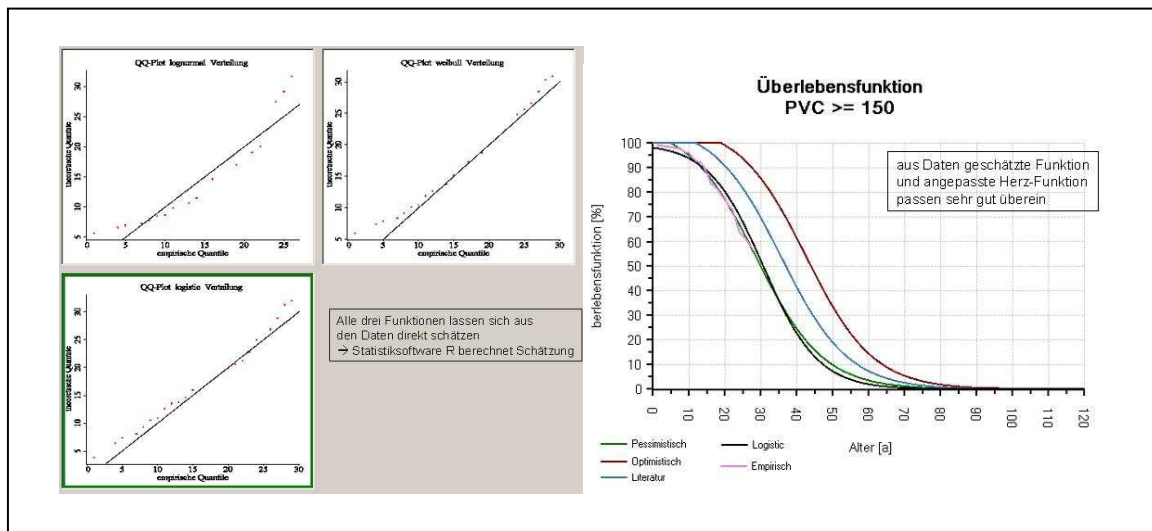


Bild 2: Auswahl im QQ-Plot und Vergleich der Überlebensfunktionen

Die Rechenschritte die zur Bestimmung des Rehabilitationsbedarfs führen sind in der Softwarehilfe ausführlich erklärt. Dadurch ist die notwendige Transparenz geschaffen, um das Ergebnis auch entsprechend interpretieren zu können.

2.4 Langfristiger Rehabilitationsbedarf – Definieren von Szenarien

Auf Basis der angepassten Ausfallfunktionen kann der jährliche Prozentsatz an Ausfällen je Alter berechnet werden. Damit kann ein jährlicher Rehabilitationsbedarf je Leitungsgruppe und für das Gesamtnetz berechnet werden. Sind Informationen über ausgebaute Leitungen der vergangenen Jahre importiert, kann die Erneuerungsleistung der letzten Jahre und die zukünftig notwendige Erneuerungslänge gegenübergestellt werden. Durch den Vergleich der bisherigen Rehabilitationsleistung und des zukünftigen Rehabilitationsbedarfs kann gezeigt werden, ob in der Vergangenheit zu wenig oder zu viel investiert wurde.

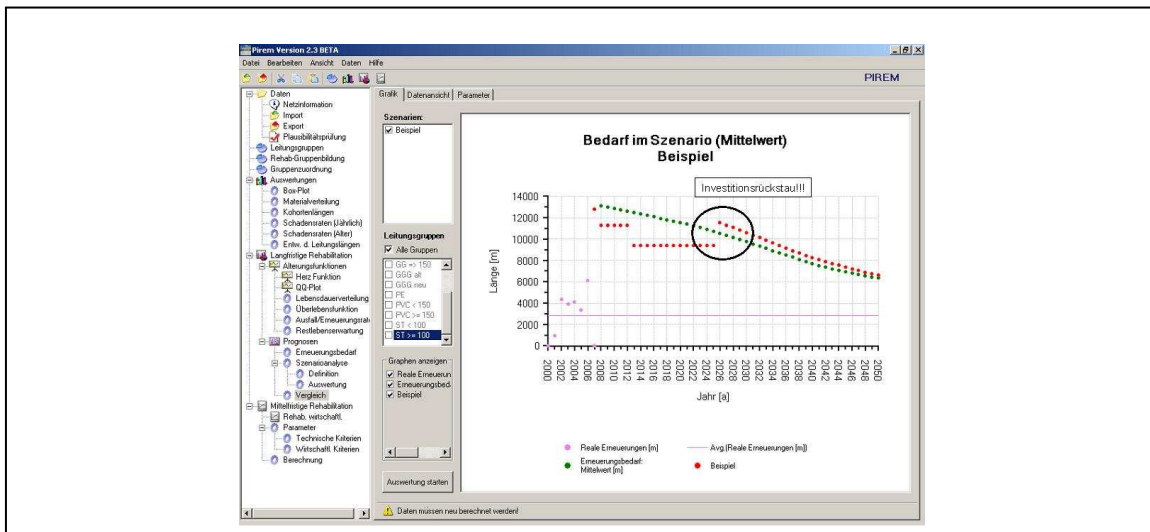


Bild 3: Szenariodefinition und Überprüfung mit optimaler Strategie

Je nach budgetären Vorgaben kann nun in einem Szenario die Auswirkung von vermehrten oder verminderten Rehabilitationsmaßnahmen dargestellt werden.

2.5 Mittelfristige Rehabilitationsplanung – Definieren von Erneuerungsprioritäten

Das Ziel der mittelfristigen Rehabilitationsplanung ist es, Leitungsabschnitte zu definieren welche eine erhöhte Erneuerungspriorität aufweisen. In PIREM kann zum einen der wirtschaftlich optimale Erneuerungszeitpunkt auf Basis einer Kostenvergleichsrechnung zwischen zukünftigen Reparaturkosten und Rehabilitationskosten berechnet werden, andererseits orientiert sich PIREM auch an einem Kriterienschema aus dem DVGW Hinweis W 401 (1997). Für verschiedene technische und ökonomische Rehabilitationskriterien wurden Richtwerte und Bewertungspunkte definiert.

Da der wirtschaftlich optimale Rehabilitationszeitpunkt alleine nicht ausreicht, sondern auch weitere Überlegungen in die Entscheidung einer Erneuerung mit einfließen sollen, gibt es auch weitere technische und wirtschaftliche Kriterien, die berücksichtigt werden können. Die Richtwerte können an die aktuellen Gegebenheiten des Wasserversorgers angepasst werden. Die Höhe der Bewertungspunkte hängt von der Signifikanz des Kriteriums und Abweichung vom

jeweiligen Richtwert ab. In Tabelle 3 sind beispielhaft Kriterien angeführt, welche in der Software beinhaltet sind.

Bei metallischen Gasversorgungsleitungen ab einem Versorgungsdruck von 4bar ist ein kathodischer Korrosionsschutz vorgeschrieben. Durch den kathodischen Korrosionsschutz wird die Abtragsgeschwindigkeit aufgrund Korrosion auf ein technisches Mindestmaß herabgesetzt. Daher ist eine reine Schadensauswertung in diesem Fall nur bedingt zielführend.

Tabelle 3: Beispiele betrachteter Kriterien für die Prioritätenreihung

Technische Kriterien	Wirtschaftliche Kriterien
Inkrustierung	Wirtschaftlicher Rehabilitationszeitpunkt
Alter	Ungebräuchliche Nennweite
Außenkorrosion	Ungebräuchliches Material
Bruchgefährdung	Öffentlicher Verkehr
Wasserverluste	Stagnationszone
Streustromgefährdung	
Verbindungsart	

Sowohl im Gas- als auch im Strombereich sind daher Risikobewertungen durchzuführen um abzuschätzen, welche Auswirkungen ein Ausfall einer Leitung oder eines Betriebsmittels haben kann. Über die Beurteilung des Zustands und der Wichtigkeit kann diese Risikobewertungen erfolgen. Für die Beurteilung von Gasleitungen werden dabei die Vorgaben des schweizer Regelwerks G1001d (2004) umgesetzt und entsprechend ergänzt. Für die Beurteilung von Betriebsmitteln der Niederspannungs- und Mittelspannungsebene wurde im Rahmen eines internen Forschungsprojekts ein entsprechender Bewertungskatalog erstellt, wo auch direkt Ergebnisse aus Wartungszyklen mit einfließen.

2.6 Ergebnis der mittelfristige Rehabilitationsplanung

Das Ziel der mittelfristigen Rehabilitationsplanung ist die Reihung von zu erneuernden Leitungsabschnitten nach ihrer Priorität. Über eine Punktevergabe erfolgt eine Einteilung in Prioritätsklassen. Das Ergebnis der Berechnung kann über das Exportmodul als .dbf File ausgespielt werden und direkt ins GIS ein-

gelesen werden. Der in PIREM importierte GIS-File wird um die Prioritätenbewertung ergänzt, und kann nach erfolgtem Import im GIS entsprechend farblich dargestellt werden (Bild 4).

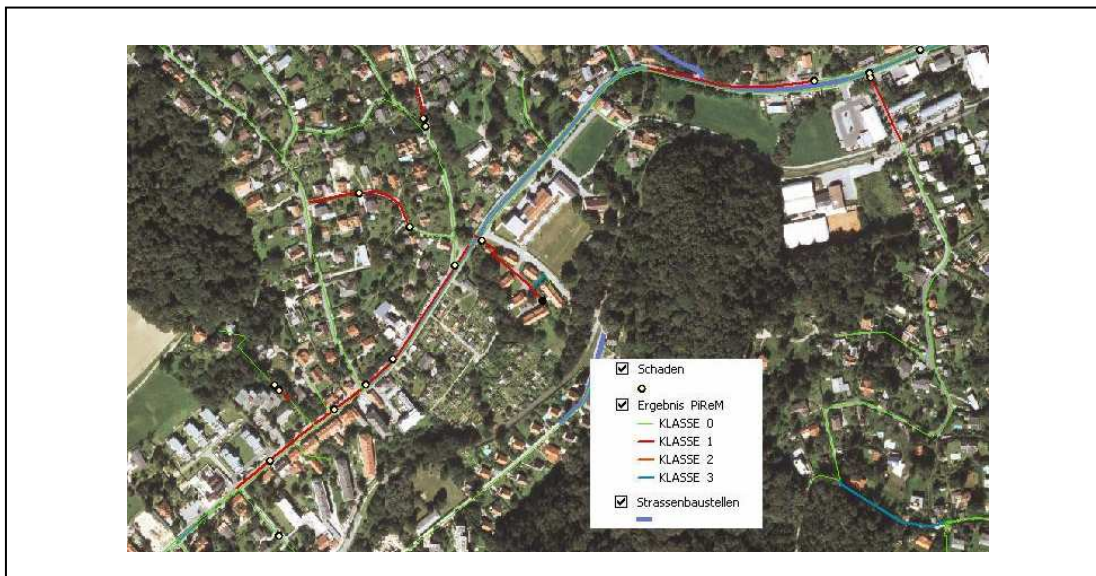


Bild 4: Darstellung der Prioritätenklassen im GIS

3 Zusammenfassung

Für ein effizientes Asset Management ist eine ganzheitliche Betrachtung der zum Großteil sehr komplexen Anlagenstruktur eines Versorgungsunternehmens notwendig. Mit Hilfe softwaregestützter Auswertungen ist eine ganzheitliche Rehabilitationsplanung möglich. Anhand der Software PIREM wurde gezeigt, wie ein Projekt durchgeführt und auf Basis nachvollziehbarer Auswertungsschritte ein langfristiger und mittelfristiger Rehabilitationsbedarf für ein Versorgungsnetz berechnet werden kann. Durch einen einfachen Import und Export von GIS-Daten können die Ergebnisse übersichtlich ohne viel Mehraufwand im eigenen GIS dargestellt werden.

Die Software PIREM wurde durch das Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH von der TU Graz und großen österreichischen Versorgungsunternehmen entwickelt. Das System wird bereits in großen Versorgungsunternehmen in Deutschland erfolgreich angewendet. Die Weiterentwicklung wird gemeinsam mit der RBS wave GmbH, als Tochter der EnBW, durchgeführt. Die Software

deckt die Sparten Gas, Strom und Wasser ab und ist daher ein ideales Werkzeug für Stadtwerke und Versorgungsunternehmen.

4 Literaturangaben

DVGW Arbeitsblatt W 400-3 (2006) Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung

DVGW Hinweis W 401 (1997) Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen

Fuchs, D. (2001) Decision Support Systeme für die Rehabilitationsplanung von Wasserrohrnetzen; Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 35, ISBN 3-85444-030-8 Graz



Gangl, G. (2008) Rehabilitation von Trinkwassernetzen; Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 53, ISBN 978-3-85125-007-7 Graz

GasNEV (2005) Gasnetzentgeltverordnung, BGBl. I S. 2197

Herz, R. (1987) Erneuerungsstrategien für städtische Infrastrukturnetze; Jahrbuch für Regionalwissenschaft, 8. Jahrgang, S. 67-105, Gesellschaft für Regionalforschung, Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen

StromNEV (2005) Stromnetzentgeltverordnung, BGBl. I S. 2225

SVGW W 1001d (2004) Empfehlungen für die Sicherheitsbeurteilung von Erdgasleitungen mit Betriebsdruck 1 bis 5 bar

<p>DI Dr.techn. Gerald Gangl</p> <p>RBS wave GmbH</p> <p>Kronenstraße 24</p> <p>70173 Stuttgart</p> <p>g.gangl@rbs-wave.de</p>	<p> RBS wave Wasser. Wissen. Neue Wege.</p> <p></p>
---	---