

# Risikoorientierte Erneuerung eines Wasser- netzes und Ersatzerneuerungsstrategie am Beispiel der Wasserversorgung Luzern

**Rehabilitierung** ■ Rohrleitungsschäden sind für jedes Wasserversorgungsunternehmen imagerrelevant. Je nach Lage des Schadens und Dimension der betroffenen Versorgungsleitungen kann das Schadenspotenzial sehr hoch sein. Zur Überprüfung und Absicherung der bisherigen Strategie hat die energie wasser luzern (ewl) beschlossen, unter Berücksichtigung der aktuellen Schadensentwicklung und der Altersstruktur des Netzes, eine Optimierung der Ersatzerneuerungsstrategie durch das Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH, Düsseldorf, durchführen zu lassen.

**E**in wesentliches Ziel der Ersatz-erneuerung des Wassernetzes ist die optimale Ausnutzung der Lebensdauer der Anlagen und Leitungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Schadens- und Versorgungsrisiken. Die allgemeine Definition des Risikos eines technischen Fehlers lautet:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit des Fehlers} \times \text{Ausmaß des Fehlers}$$

mit der Bezeichnung des Ausmaßes:

$$R = \lambda \cdot x \left\{ \begin{array}{l} \text{Kosten} \\ \text{Personengefährdung} \\ \text{Lieferunterbrechung} \end{array} \right\}$$

Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein Eintrittswahrscheinlichkeits-Schadensdiagramm. Der Schaden kann in unterschiedlichen Dimensionen gemessen werden (z. B. als abstrakte Zahl, Anzahl und Umfang von Versorgungsunterbrechungen, Reparaturkosten) und muss auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Für das Risiko eines Schadens in der Wasserverteilung werden die austretenden Wassermengen im Fehlerfall berücksichtigt und mit Kosten bewertet. Welche konkreten Einflussgrößen bestimmen nun die Eintrittswahrscheinlichkeit  $\lambda$  und das Schadensausmaß und damit die Kosten? Für die Eintrittswahrscheinlichkeit  $\lambda$  (= altersabhängige Ausfallrate) sind an Einflussgrößen anzuführen:

- Rohrwerkstoff,
- Verlegetalter,
- Bodenaggressivität,
- Verkehrsbelastung,
- Leitungslage (Uferzone, Hanglage),
- Verlegetart.

Für das Schadensausmaß und somit für die Kosten sind an Einflussgrößen anzuführen:

Die Größe und die Zeitdauer der austretenden Wassermengen am Fehlerort in Abhängigkeit von der

- Dimension der betroffenen Leitung, dem
- Wasserdruck am Schadensort, der
- Entfernung von der Einspeisestelle und der
- Lage in der Vermaschung.

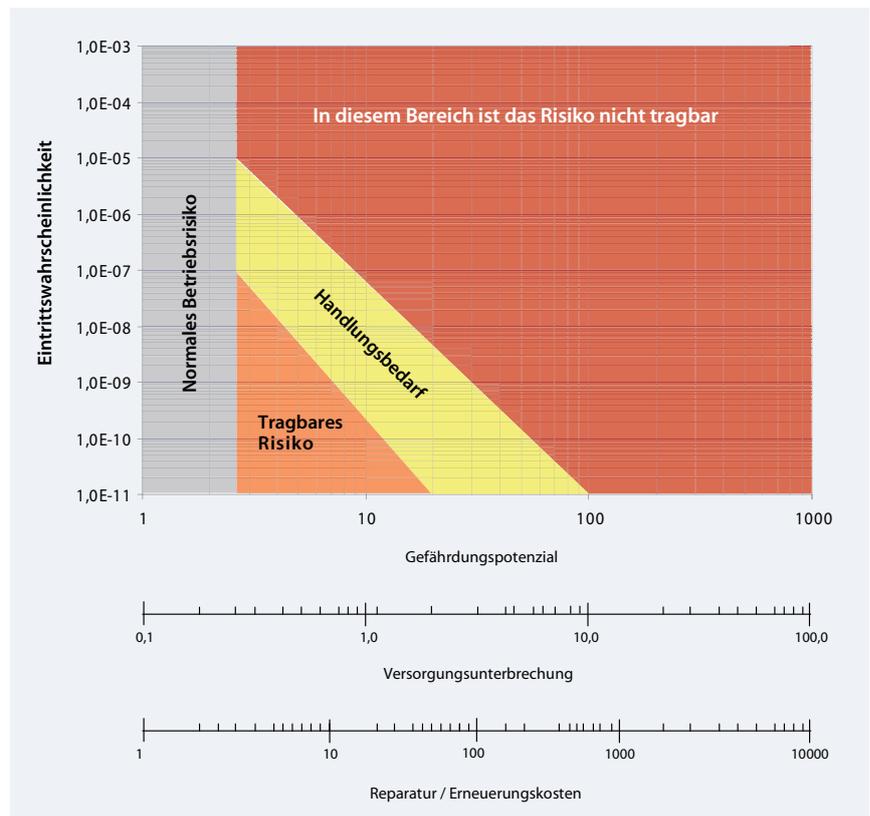


Abb. 1 Eintrittswahrscheinlichkeits-Schadensdiagramm

Die Lage des Schadens in der Topografie des Versorgungsgebietes in Abhängigkeit von der

- Straße und Verkehrsbelastung und der
- Steilheit des Geländes.

Das Schadenspotenzial in Abhängigkeit von der

- Bebauungsdichte entlang der Leitung und der
- Sensitivität der betroffenen Gebäude.

Die Folgen für die Versorgung (Versorgungsunterbrechung) in Abhängigkeit von der

- Anzahl der betroffenen Kunden (Unterversorgung), der
- Dauer der Versorgungsunterbrechung (im aktuellen Fehlerfall und im Falle der Reparaturdurchführung) und des
- Umfangs der Verkehrsbehinderung.

Die Teilrisiken der hygienischen Beeinträchtigung (→ Trübung, Stagnation) sind für die jeweiligen Wasserrohrnetze getrennt zu beurteilen und zu gewichten. Das Risiko bzw. die Risikokosten eines Leitungsstrangs sind dann vorrangig vom prognostizierten Zeitpunkt des Schadens, von der austretenden gewichteten Wassermenge und den Kosten der Versorgungsunterbrechung abhängig.

### Ausfallwahrscheinlichkeit eines Leitungsstrangs und Einflussfaktoren

Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Leitungsstrangs wurde mittels des Kaplan-Meier-Verfahrens ermittelt. Pro Werkstoff wurden die bestehenden Leitungen im Netz nach dem Alter sortiert und die aufgetretenen Schäden dem entsprechenden Leitungsalter zugeordnet. Voraussetzung für die Genauigkeit des Verfahrens ist eine genügend große Anzahl von Schäden mit genauer Schadens- und Ursachenbeschreibung.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Graugussleitungen ist in **Abbildung 2** aufgeführt (blaue Treppenkurve entspricht der Ausfallfunktion der ausgewerteten Schäden (empirische Ausfallfunktion), die übrigen Kurven sind Näherungen der

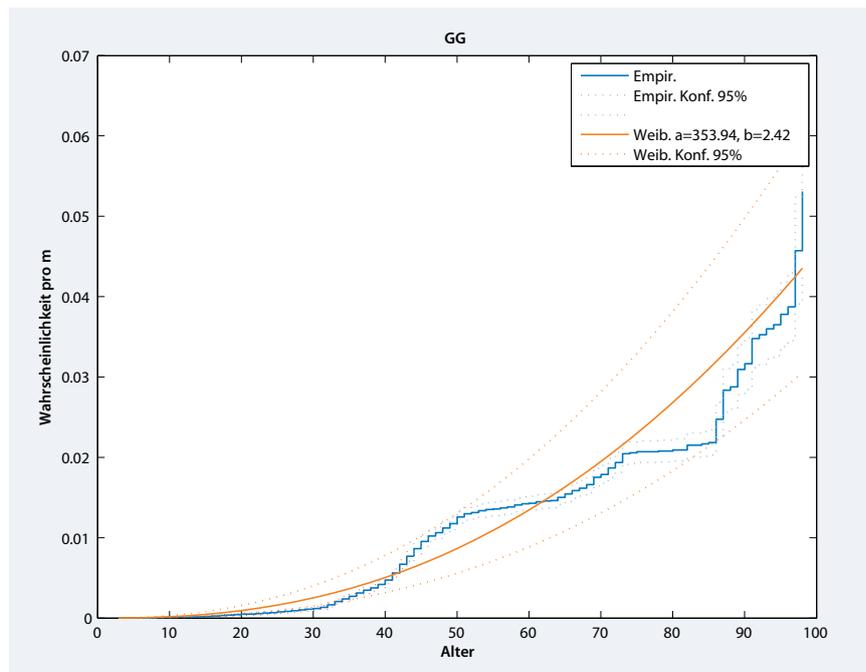


Abb. 2 Altersabhängige Ausfallwahrscheinlichkeit von Graugussleitungen

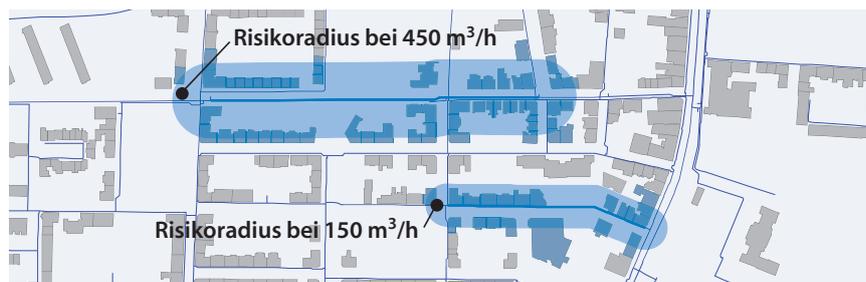


Abb. 3 Risikoradien von Wasserleitungen in Abhängigkeit von der austretenden Wassermenge im Fehlerfall

empirischen Funktion). Diese Ausfallfunktionen sind das Ergebnis aller alterungsbedingten Schäden.

Zur Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren, welche die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit erhöhen, z. B. Bodenaggressivität, Verkehrsbelastung und Anhäufung historischer Schäden wurden die Gebiete bzw. Bereiche gekennzeichnet, in denen diese Einflussgrößen bekannt sind und vorliegen.

Sofern Leitungen im Bereich aggressiver Böden, hoher Verkehrsbelastungen oder in der Nachbarschaft erhöhter Schadenshäufigkeit liegen, wird diese Situation in der Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens besonders bewertet. Die individuelle Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens auf einem Leitungsstrang wird verdoppelt bzw. verdreifacht.

### Schadensausmaß und dessen Bewertung

Die Höhe des Schadensausmaßes im Wassernetz ist in erster Linie anhängig von dem

- Druck und der Höhe der austretenden Wassermenge, der
- Bebauungsdichte entlang der Leitung und der
- Sensitivität der betroffenen Gebäude.

Als weiteres Schadensausmaß sind die Folgen für die Versorgung (Versorgungsunterbrechung) zu nennen in Abhängigkeit von der

- Anzahl der betroffenen Kunden (Unterversorgung), der
- Dauer der Versorgungsunterbrechung (im aktuellen Fehlerfall und im Falle der Reparaturdurchführung) und des
- Umfangs der Verkehrsbehinderung.

Letztere Punkte sind eher imagerelevant und sind von jedem Unternehmen individuell zu beurteilen. Die austretenden Wassermengen im Fehlerfall und der Umfang der Versorgungsbeeinträchtigung (Anzahl der betroffenen Kunden) kann durch geeignete Rohrnetzberechnung ermittelt werden. In Abhängigkeit von der austretenden Wassermenge werden Risikoradien gebildet und Gebäude identifiziert, die im Einflussbereich eines Schadens liegen (Abb. 3).

Die Reparaturkosten eines Leitungsschadens werden in Abhängigkeit von der austretenden Wassermenge angenähert. Tangiert ein Gebäude den Gefahrenradius, so wird unterstellt, dass ein Schaden für einen Dritten eintreten kann. Die Kosten hierfür werden in gleicher Höhe angesetzt wie die Reparaturkosten der Leitung. Tangiert der Gefahrenradius mehrere Gebäude, so werden die Reparaturkosten einer Leitung pro Gebäude berücksichtigt.

### Grafische Darstellung der Risikoberechnung

Mit der oben beschriebenen Systematik ist es möglich, jedem Leitungstrang eine Schadenseintrittswahrscheinlichkeit, die Kosten im Schadensfall und das leitungsbezogene Risiko zuzuordnen. In Abbildung 4 ist das spezifische Risiko jedes Leitungstrangs (Risiko pro Meter) als Funktion der längenbezogenen spezifischen Schadensrate aufgetragen. Jeder Punkt entspricht einem Leitungstrang im Netz. Als grüne Fläche ist hierin der Bereich gekennzeichnet, in dem die maximal zulässige spezifische Schadensrate (in Anzahl pro Schäden pro km) und das maximal zulässige spezifische Risiko (Kosten in € bzw. SFr. pro km) nicht überschritten wird.

### Simulation und Ergebnisse der Erneuerungsstrategie

Mit dem beschriebenen Verfahren der Risikobewertung werden mit dem Programm „Risk-Analysis“ (RIKA) von RZVN Simulationsberechnungen für einen zukünftigen Betrachtungszeitraum, z. B. für die kommenden 50 Jahre (im Regelfall) durchgeführt. Das Simulationsprogramm führt in Abhängigkeit von vorgegebenen Grenzwerten des Risikos und für eine zugelassene Schadensrate Ersatzerneuerungen des Netzes

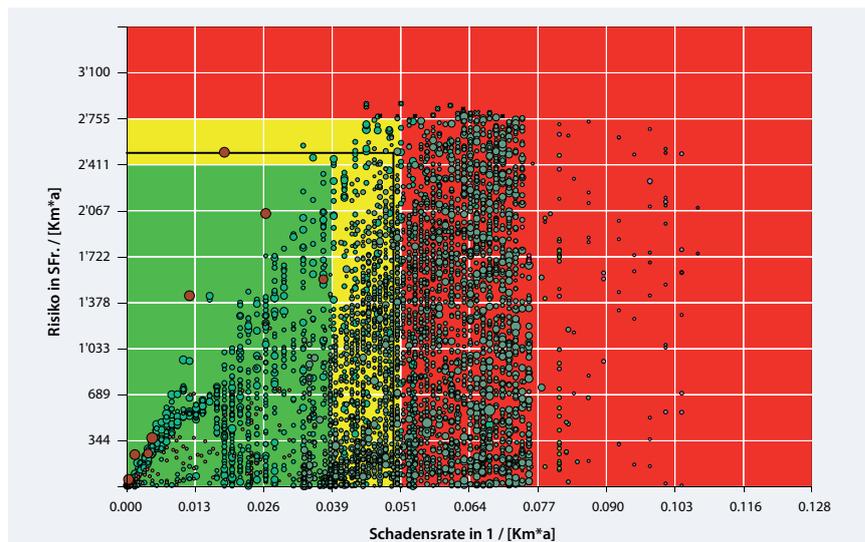


Abb. 4 Risiko-Schadensratendiagramm eines Wassernetzes

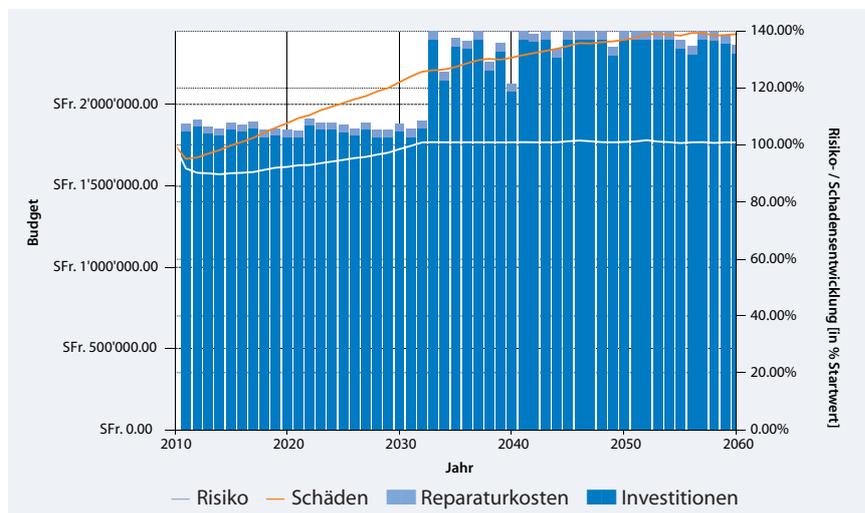


Abb. 5 Szenario 1: Risiko- und Schadensentwicklung bei einer Begrenzung des Budgets von 1,8 Mio. CHF/a

durch. Das Simulationsziel lautet: Minimiere die Kosten der Ersatzerneuerung unter den Randbedingungen, dass die zulässigen Grenzwerte für Schadensrate, Risikorate, Anzahl der Schäden und die Summe des Gesamtrisikos im Netz nicht überschritten werden! Wenn das verfügbare Budget zur Einhaltung dieses Optimierungsziels nicht ausreicht, wähle diejenigen Maßnahmen, welche möglichst effizient die Grenzwertverletzungen reduzieren!

Die Abbildungen 5 und 6 veranschaulichen ein Szenario der Ergebnisse der Erneuerungsstrategie in einem Wassernetz. In diesem Szenario ist zur Ersatzerneuerung ein Budget für Ersatzinvestitionen zwischen 1,8 Mio. SFr./a und 2.2 Mio. SFr./a bereitgestellt. Die

Risikoberechnung startet im Jahre 2010 und erneuert die Leitungen entsprechend ihrer Risiko- und Schadensbewertung (Abb. 5).

Neben den jährlichen Investitions- und Reparaturkosten (Säulen) ist auch der Verlauf des relativen Risikos und der Anzahl der Schäden im Netz in Prozent dargestellt, wobei die Situation im Jahr 2009 (vor dem Startjahr) als Bezugsgröße mit 100 Prozent angenommen ist. Mit dem bereitgestellten Budget von max. 1,8 Mio. bis 2.2 Mio. SFr./a kann langfristig das heutige Niveau der Schadensrate nicht eingehalten werden. Das Risiko kann zwar in etwa gleich gehalten werden, die Anzahl der Schäden im Netz werden aber gegenüber 2008 um 40 Prozent steigen.



**Abb. 6** Reihenfolge der zu erneuernden Leitungsabschnitte in einem Wassernetz

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt der entsprechend diesem Szenario zu erneuernden Wasserleitungen. Die auszutauschenden Leitungen sind farbig markiert.

- rot = kurzfristig zu erneuern (innerhalb der nächsten fünf Jahre)
- gelb = mittelfristig zu erneuern (innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre)
- blau = langfristig zu erneuern (innerhalb der nächsten zehn bis 20 Jahre)

Durch eine weitere Steigerung des Budgets ist es möglich, sowohl kurz- als auch langfristig das Risiko und die Anzahl der Schäden im Netz allmählich

zu senken. Hierbei ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass Baumaßnahmen im Bereich des Wassernetzes häufig fremdinitiiert sind. Die ursprünglich zur Reduzierung der Schadensrate und des Risikos vorgesehenen Mittel werden nicht ausschließlich hierfür genutzt, sondern teilweise für Leitungsabschnitte,

die in der Priorität nicht an höchster Stelle stehen. Daher wird das tatsächlich benötigte Budget zur Erreichung des oben beschriebenen Effekts höher sein.

### Zusammenfassung

Das beschriebene Verfahren der Risikobewertung eines Leitungsstranges und systematischen Simulation des Alterungsprozesses eines Wassernetzes erlaubt die Optimierung der zukünftigen Ersatzerneuerungsstrategie. Das gewählte Verfahren ermöglicht die Quantifizierung des Risikos und dessen Entwicklung in Abhängigkeit von dem verfügbaren Budget. Es ist somit geeignet, die Notwendigkeit des Handelns und die Effekte der Qualitätsverbesserung gegenüber den genehmigenden Gremien aufzuzeigen. Die Simulationssoftware ist mit dem zugehörigen Datenmodell in Luzern eingeführt. Ziel ist es, die statistische Datengrundlage zu verbessern und die Aussageschärfe weiter zu erhöhen und mit Hilfe des Programms den zukünftigen Baumaßnahmenkatalog zu steuern.

Abbildungen: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

### Autoren:

Dr. Kurt Rüegg, Dipl.-Phys. ETH  
 ewl energie wasser luzern  
 Industriestr. 6  
 6002 Luzern  
 Schweiz  
 Tel.: +41 (0)41 36942-45  
 Fax: +41 (0)41 36942-46

E-Mail: [info@ewl-luzern.ch](mailto:info@ewl-luzern.ch)  
 Internet: [www.ewl-luzern.ch](http://www.ewl-luzern.ch)

Dr.-Ing. Dirk Th. König  
 Rechenzentrum für Versorgungsnetze  
 Wehr GmbH  
 Oberbilker Allee 203  
 40227 Düsseldorf  
 Tel.: 0211 601273-00  
 Fax: 0211 7275-37

E-Mail: [rv@rzvn.de](mailto:rv@rzvn.de)  
 Internet: [www.rzvn.de](http://www.rzvn.de)



1/4 Seite  
unbekannt