

# STRATEGISCHE AUSRICHTUNG VON WASSERVERTEILNETZEN

## ANALYSE, PLANUNG UND OPTIMIERUNG AM BEISPIEL DES ENERGIE SERVICE BIEL

Um ein Rohrleitungsnetz in einem funktionellen und sicheren Zustand zu erhalten und zugleich wirtschaftlich zu betreiben, sollte man die «Stärken und Schwächen» des Netzes kennen. Mit einem realen Rechenetzmodell lässt sich die Hydraulik des Netzes in Normal- und Grenzfällen sowie für Optimierungsfragen einem breiteren Nutzerkreis anschaulich darstellen. So müssen Entscheidungen weniger aus dem Bauch heraus getroffen werden, sondern können auf einer fundierten und nachvollziehbaren Basis erfolgen. Für das Wasserverteilnetz des Energie Service Biel (ESB) wurde eine Rohrnetzanalyse mittels Rechenetzmodell erstellt. Sie diente als Ausgangspunkt für eine bedarfs- und kostenorientierte Optimierung der bestehenden Netzstrukturen, die zukünftig als Planungsgrundlage in der Erneuerungsplanung Verwendung finden soll.

*Christian Hambalek\*; Dirk König, Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH; Roland Käser, Energie Service Biel/Bienne*

### RÉSUMÉ

#### ORIENTATION STRATÉGIQUE DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU – D'APRÈS L'EXEMPLE DE L'ENERGIE SERVICE BIENNE

Les exploitants de réseaux de canalisations de gaz, d'eau et de chauffage à distance sont toujours confrontés à la tâche de maintenir le réseau de canalisations dont ils ont la charge dans un état fonctionnel et fiable tout en l'exploitant de façon rentable. On peut indiquer ici les activités classiques d'un exploitant de réseau comme la surveillance système, la maintenance, la modernisation, les transformations, le nettoyage de réseau et la recherche de fuites, dans le respect des nombreuses exigences normatives. Il est ici indispensable de connaître «les forces et les faiblesses» de son propre réseau. Un maître expérimenté connaît les faiblesses de «son réseau» car il a une expérience quotidienne de l'exploitation de celui-ci. Il est cependant nécessaire de disposer d'un modèle de réseau en réseau réel, afin de pouvoir présenter de façon claire à un cercle élargi d'utilisateurs le système hydraulique du réseau, dans les cas normaux et limites ainsi que pour des questions d'optimisations. Ce modèle doit être une reproduction aussi fidèle que possible de tous les moyens d'exploitation, structures et résistances hydrauliques (y compris les goullets) présents dans le réseau de conduites. Tout comme beaucoup d'autres compagnies de dis-

### ZIELSETZUNG UND INHALT DER NETZUNTERSUCHUNG

Betreiber von Rohrnetzen mit den Medien Gas, Wasser und Fernwärme stehen vor der ständigen Aufgabe, das ihnen anvertraute Rohrleitungsnetz in einem funktionellen und sicheren Zustand zu erhalten und zugleich wirtschaftlich zu betreiben. Hierbei sind unter Einhaltung zahlreicher normativer Vorgaben die klassischen Aufgabenbereiche eines Netzbetreibers wie Systemüberwachung, Zustandserhaltung, Erneuerung, Umbau, Netzspülung und Lecksuche zu nennen. Dabei ist es unumgänglich, die «Stärken und Schwächen» des eigenen Netzes zu kennen. Ein erfahrener Meister kennt die Schwachstellen «seines Netzes» aus dem täglichen Betrieb. Um jedoch die Hydraulik des Netzes in Normal- und Grenzfällen sowie für Optimierungsfragen einem breiteren Nutzerkreis anschaulich darzustellen, bedarf es eines realen Rechenetzmodells. Dieses Modell muss eine möglichst identische Abbildung aller sich im Rohrnetz befindlichen Betriebsmittel, Strukturen und hydraulischen Widerstände sein.

Die Rohrnetzrechnung anhand eines realen Rechenetzmodells zeigt die bestehenden Versorgungs- und Druck-/Strö-

\* Kontakt: rv@rzvn.de

mungsverhältnisse (Netzhydraulik) auf und lässt die erwarteten Auswirkungen geplanter Massnahmen erkennen. Eine solche mittels Rechenetzmodell erstellte Rohrnetzanalyse wurde für das Wasserverteilnetz des Energie Service Biel (ESB) durchgeführt. Sie diente als Basis für eine bedarfs- und kostenorientierte Optimierung der bestehenden Netzstrukturen sowohl im Anlagenbestand als auch in der Erneuerungsplanung. Die vom ESB angestrebte schrittweise Umsetzung des Realnetzes in ein aufzuzeigendes optimiertes Zielnetz soll zukünftig durch selbstständige Rohrnetzberechnungen des ESB begleitet werden. Hierzu wurde die angewandte Software (*Roka® GS* und *Rika®*) mit dem Rechenetzmodell und den Ergebnissen von Rohrnetzanalyse, Zielnetzermittlung und Erneuerungsplanung im Anschluss an die Netzuntersuchung implementiert.

### BAUSTEINE DER NETZUNTERSUCHUNG

Die generelle Zielsetzung des ESB für seine Verteilnetze besteht in einer angestrebten Verschlinkung des Netzes mit Anlagen- und Netzkosteneinsparungen durch effiziente Anpassung an die heutige und zukünftige Versorgungsaufgabe. Die angewandten Verfahren und Programme hierzu umfassen (zunächst für die Versorgungssparte Wasser):

- Rohrnetzanalyse mit Darstellung von Netzhydraulik und Versorgungsverhältnissen des Ist-Zustandes
- Erstellung eines umfassenden Spülkonzeptes bei Verunreinigung des Netzes
- Schwachstellen- und Schadensprognose mit Bestimmung des werkstoff- und leitungsspezifischen Alterungsverhaltens im Unternehmensvergleich
- Zielnetzermittlung durch Optimierung der Netzstrukturen und Netzkosten

- risikoorientierte Netzerneuerung durch Risikobeurteilung von Anlagen und Leitungen mit Bestimmung der Erneuerungsmassnahmen

Alle diese Bausteine gehen für das Wasserrohrnetz Biel von einer strangbezogenen und gebäudescharfen Betrachtung aus, um das jeweilige Zusammenwirken von Netz und Verbraucher genau simulieren zu können.

Auf die einzelnen Bausteine wird nachfolgend eingegangen.

### ANALYSE WASSERROHRNETZ BIEL

#### CHARAKTERISTIK DER VERTEILUNG

Die Netzeinspeisung in das Wasserversorgungsnetz des ESB erfolgt über das betriebseigene, am südöstlichen Ufer des Bielersees gelegene Seewasserwerk, durch Quellwasserförderung sowie durch den Grundwasserbezug vom Wasserverbund Seeland (WVS).

Das Verteilnetz besteht aus sechs Druckzonen und weist ohne Hausanschlussleitungen eine Länge von ca. 215 km auf. Der mittlere Leitungsdurchmesser des Verteilnetzes beträgt ca. 230 mm. Der Höhenbereich des Versorgungsgebiets beträgt ca. 430 m NN vom Bieler See bis ca. 660 m NN in den Höhenlagen des Jura. Die sechs Druckzonen werden über neun Behälter und sechs Zonenpumpwerke versorgt. Der ESB versorgt ausserdem drei weitere Nachbargemeinden mit Wasser. Die Jahreswasserabgabe beträgt derzeit ca. 4,5 Mio. m<sup>3</sup> und die höchste Stundenabgabe ca. 1800 m<sup>3</sup>/h. Es wird von einer in der Zukunft steigenden Bevölkerungszahl (ca. 0,3%/Jahr) und somit auch von einem steigenden Wasserbedarf ausgegangen.

Häufigster Rohrwerkstoff ist duktiler Gusseisen mit einem Anteil von ca. 78% der Rohrleitungslänge. Der Werkstoff weist in

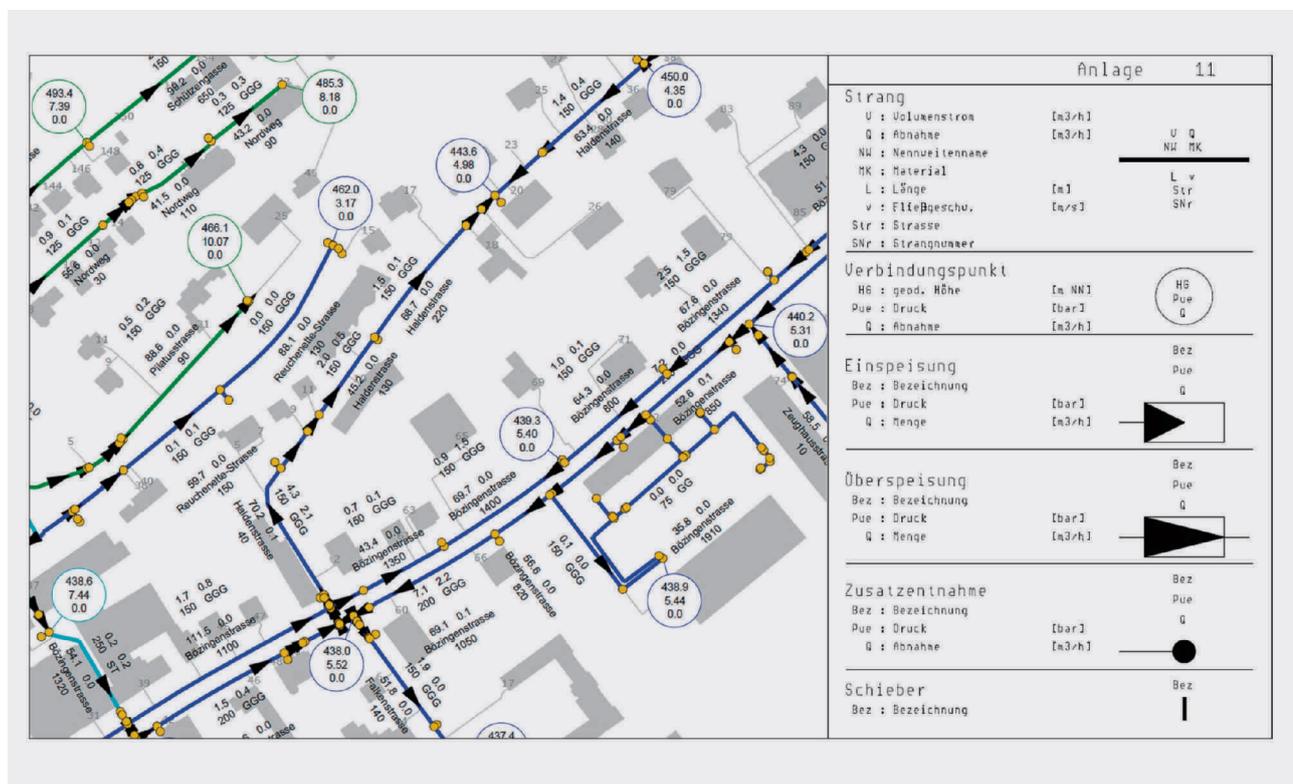


Fig. 1 Ergebnisplan-Darstellung im Rechenetzprogramm Roka® GS 2  
 Représentation des résultats dans le programme de réseau en râteau ROKA® GS 2

erster Generation in Biel eine besonders hohe Schadensanfälligkeit auf und wird bei Erneuerungen zunehmend durch PE-Werkstoffe ersetzt.

#### ABLAUF DER ROHRNETZANALYSE

Zunächst wird aus dem aktuellen GIS-Datenbestand des Leitungsnetzes mittels automatisierter Abläufe ein massstäblicher Rechenetzplan erstellt. Dieser stellt den Verlauf der Leitungen 1:1 dar und berücksichtigt charakteristische Kennwerte zu jeder Leitung wie Nennweite, Material, Länge, Leitungsart, Druckzonenzuordnung, Rauheit und Baujahr. Um eine Netzberechnung durchführen zu können, muss das Rechenetz topologisch verknüpft sein. Hierbei wird jedes Leitungsstück (Strang) über einen Verbindungspunkt mit seinem Nachbarstrang verbunden. Auch müssen fehlende Nennweiten ergänzt werden. Nur über topologisch korrekt angebundene Stränge mit einer gültigen Nennweite kann bei der späteren Berechnung ein hydraulischer Fluss stattfinden. An jedem Strang und jedem Verbindungspunkt kann ein Rechenergebnis ausgegeben werden (Fig. 1). Sinnvollerweise erfolgen die Arbeitsschritte der Topologieprüfung schon im GIS, um die Rechenetzmodellerstellung effizienter zu gestalten.

Liegt ein topologisch geprüftes Netzmodell vor, werden diesem reale Verbrauchswerte aus der Jahresverbrauchsabrechnung zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt grösstenteils automatisiert mittels einer angepassten, digitalen Schnittstelle. Es wird jedem Strang bzw. Verbindungspunkt, der mittels einer Anschlussleitung mit einem Verbraucher verbunden ist, der entsprechende Jahresverbrauchswert zugeordnet. Voraussetzung hierfür ist eine eindeutige Adressangabe bei den Jahresverbrauchsdaten. Idealerweise besteht bereits eine Verknüpfung zwischen GIS- und Verbrauchsdaten zum Beispiel über eine Zählpunkt-ID. Verbräuche, die nicht automatisiert zugeordnet werden können, werden anschliessend manuell zugeordnet.

Nachdem das Netzmodell topologisch geprüft und mit Verbrauchsdaten gefüllt ist, werden die Anlagendaten ergänzt. Dabei werden alle Wasserwerke, Pumpwerke, Behälter, Druckerhöhungs- und Druckminderungsanlagen, Schieber und Hydranten als Elemente im Netzmodell lagegenau und mit deren technischen Daten angelegt.

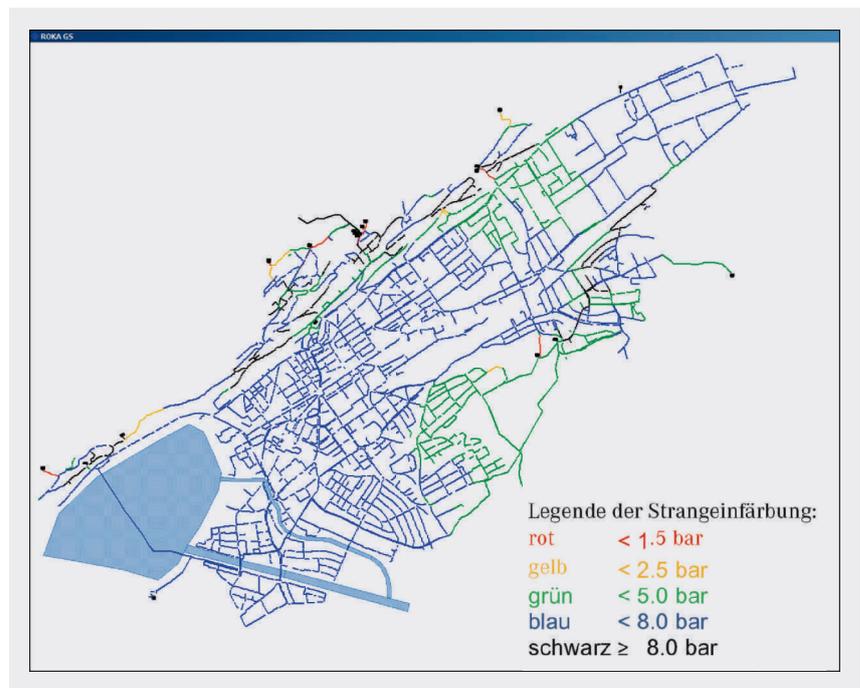


Fig. 2 Netzansicht aus Roka® GS. Strangefärbung nach Netzdruck für das Bieler Wasserrohrnetz bei Spitzenbedarf

Affichage du réseau dans ROKA® GS. Lignes colorées en fonction de la pression du réseau pour le réseau d'eau de Bienne aux heures de pointe: rouge < 1,5 bar; jaune < 2,5 bar; vert < 5,0 bar; bleu < 8,0 bar; noir ≥ 8,0 bar

Anschliessend ist das Rechenetzmodell zu kalibrieren, was bedeutet, Berechnungen und durchgeführte Messungen von Betriebszuständen sind weitgehend in Übereinstimmung zu bringen.

Hierzu ist ein Abgleich zwischen vor Ort gemessenen Daten und Rechenergebnissen erforderlich. Der Abgleich erfolgt durch Abbildung der realen Belastungssituation an einem verbrauchsreichen Tag (oder an mehreren Tagen) mittels flächendeckender Druckmessungen und Erfassung der Einspeise- und Ausspeisemengen je Druckzone. Am Messtag wird an verschiedenen Punkten im Netz der Druck mittels Datenloggern erfasst und aufgezeichnet. Des Weiteren werden alle Einspeisemengen aus Behältern, Pump- oder Wasserwerken sowie ggf. Ausspeisemengen an Nachbarversorger erfasst und dokumentiert. Auch sollten die momentanen Abnahmewerte grosser Verbraucher erfasst werden, um eine möglichst exakte Verbrauchsbelastung nachbilden zu können.

Mit diesen Daten kann rechnerisch der mittels Messdaten erfasste Zustand für eine oder mehrere charakteristische Betriebsstunden nachgebildet werden. Hierbei werden Bilanzen der eingespeisten, verbrauchten und eventuell weitergeleiteten Wassermengen für jede erfasste

Druckzone erstellt. Die hinterlegten Jahresverbrauchswerte werden dabei in eine exakte momentane Stundenabgabe umgerechnet. Durch eine bewusste Verteilung der Messstellen können die material-, abschnitts- und druckzonenspezifischen Widerstände im Rohrleitungsnetz abgebildet und für Nachforschungen eingegrenzt sowie die exakten Einspeisedrucke von Behältern, Pumpwerken und Druckregelanlagen erfasst werden. Schliesslich ist die Rauheit<sup>1</sup> der Leitungen so lange anzupassen, bis Rechen- und Messwert möglichst exakt übereinstimmen. Anhand der so ermittelten Rauheitswerte kann eine Aussage über den Zustand des Rohrleitungsnetzes und Zusatzwiderstände, wie geschlossene oder teilgeschlossene Schieber, Bauteile in Leitungen und fehlerhafte Nennweitenangaben, abgeleitet werden. Befinden sich Rechen- und Messwerte innerhalb eines vorgegebenen Toleranzwertes ( $\pm 0,2$  bar), gilt das Netzmodell als kalibriert. Auf Basis des kalibrierten Netzmodells können charakteristische Rechenfälle

<sup>1</sup> Es kann sowohl die Rauheit einzelner Leitungen eingestellt werden als auch die Rauheit einer gesamten Druckzone (die betriebliche Rauheit berücksichtigt sämtliche widerstandsverursachende Ablagerungen und Einbauten).

erstellt werden. Als Beispiele sind anzuführen:

- Spitzenbedarfsfall, mit dem die maximale theoretische Netzbelastung dargestellt wird
- Normalbedarfsfall, der die höchste Belastung am statistischen Durchschnittstag darstellt
- Durchschnittsbedarfsfall, mit der über 8760 Stunden gemittelten Jahresabgabe
- Nachtbetriebsfall mit niedriger Netzabgabe aber hoher Belastung der Transportleitungen aufgrund von Behälterfüllungen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Rechenergebnisse anschaulich darzustellen: zum einen detailliert über das Einblenden von Zahlenangaben an jedem Strang oder Verbindungspunkt in einem Plan, zum anderen flächendeckend über das Einfärben von Leitungen oder Verbindungspunkten nach charakteristischen Ergebnisspannen (Fig. 2).

Die Rohrnetzanalyse zeigt dem Netzbetreiber vor allem, wo hohe Fließgeschwindigkeiten, hohe Druckverluste und niedrige Netzdrücke auftreten. Sie bildet zugleich die Basis für

- die konkrete Planung von Leitungen und Anlagen
- die Untersuchung von Störfällen
- die Erstellung von flächendeckenden Löschwassermengenplänen
- die Erstellung von Spülplänen für Hygienespülungen und Dekontaminationspülungen
- die Anwendung der nachfolgend beschriebenen Planungs- und Optimierungsverfahren

Da sämtlichen Fallberechnungen und Rechenverfahren das reale (kalibrierte) Rechnetzmodell zugrunde liegt, haben ihre Ergebnisse eine hohe Aussage-sicherheit.

## ERSTELLUNG VON SPÜLPLÄNEN

Spülungen in Wasserrohrnetzen werden vom Netzbetreiber bei Bedarf auf zwei Arten durchgeführt:

- als lokale Hygienespülungen
- als flächendeckende Dekontaminationspülungen

Erstere beseitigen momentane hygienische Mängel wie Braunfärbungen, Geschmacksbeeinträchtigungen oder Verkeimungsgefährdung infolge Stagna-

tion. Die zweitgenannten Spülungen sind selten, aber denkbar und betreffen eine eventuelle generelle Verunreinigung oder Kontamination im Netz. In einem solchen Fall muss das Rohrleitungsnetz schnellstmöglich mit sauberem Wasser freigespült werden. Die Freispülung erfolgt, wie bei der Hygienespülung auch, über das Öffnen von Hydranten. Das kontaminierte Wasser wird in die Kanalisation abgeleitet. Der für die Versorgung erforderliche Mindestdruck muss während der Spülungen weitestgehend aufrechterhalten werden. Auch muss eine Überlastung des Rohrleitungsnetzes und der Anlagen aufgrund zu intensiver Spülungen vermieden werden. Mittels quasidynamischer Simulation kann eine mögliche Spülabfolge unter Einhaltung von Grenzwerten erstellt werden. Auf den daraus gewonnen Erkenntnissen können individuelle Spülpläne entworfen werden.

Ein solches flächendeckendes Spülkonzept wird momentan von ESB erstellt, um im Falle einer Kontamination des Bieler Wasserversorgungssystems sofort und flächenwirksam reagieren zu können. Als Grundlagen wurden mittels quasidynamischer Netzberechnungen Spülpläne entwickelt.

Hierbei wurden ermittelt:

- optimale Spülzonen und deren temporäre Abschieberung
- Lage der Spülhydranten
- Zonenspülungen: Reihenfolge/Dauer
- Reservoirspülungen: Reihenfolge/Dauer
- Betriebsweise der Pumpwerke

Die zeitbezogene Strömungsverteilung während der Netzspülung und der zeitbezogene Kontaminationsrückgang wurden simuliert und dargestellt. Hierzu zeigt Fig. 3 einen momentanen Zustand der Kontaminationsverteilung innerhalb des Spülverlaufes. Dabei wurde dem Netz bereits über die beiden Haupteinspeisungen wieder sauberes Wasser zugeführt (weisse Leitungen). Das Ende des Spülvorgangs ist erreicht, wenn das Netz weitestgehend von Kontamination befreit ist, und die Behälter wieder mit sauberem Wasser gefüllt sind.

Netzbetreiber und Wasserversorger können einen solchen Spülplan als einen Bestandteil für die Erstellung eines akuten Handlungsplanes im Katastrophenfall verwenden (s. auch SVGW-Empfehlung W1012 «Trinkwasser in Notlagen» sowie Fachartikel «Spülpläne für den Notfall» aus Aqua & Gas 9/14 [1]).



Fig. 3 Farbliche Darstellung der Kontaminationsverteilung in einem teilgespülten Netz des ESB (rote Leitungen sind in der Simulation momentan noch stark verunreinigt und werden mit fortschreitenden Spülungen wieder gereinigt)

Représentation à l'aide de couleurs de la répartition de la contamination d'un réseau partiellement nettoyé de l'ESB (selon la simulation les conduites rouges sont toujours fortement contaminées, les contaminations sont éliminées par rinçage prolongée)

## ERMITTLUNG DES ZIELNETZES

Aufgabe einer Zielnetzuntersuchung ist es, das netzkostengünstigste Wassernetz zu entwerfen, das alle technischen Versorgungsanforderungen im Normal- und Störfall erfüllt. Die vom Rechenzentrum für Versorgungsnetze (RZVN) durchgeführten Zielnetzuntersuchungen basieren auf dem realen Netz als Grundlage. Es findet keine Planung mit Grünem-Wiese-Ansatz statt, sondern es werden bestehende Leitungsverläufe und aktuelle Netzbelastungen als Grundlage verwendet. Die Optimierung konzentriert sich auf die Anpassung der Dimensionen von Leitungen und der Stilllegung einzelner Leitungsabschnitte – sofern dies technisch und betrieblich möglich ist. Des Weiteren werden bestehende Anlagen hinsichtlich deren Kosten/Nutzen bewertet und ggf. einzelne Anlagen zur Stilllegung vorgeschlagen. Optimierungsgrösse sind die Netzkosten.

Je nach erwarteter Bedarfsentwicklung des untersuchten Netzes kann eine Anhebung oder Absenkung der heutigen Belastungsverteilung vor Durchführung der Netzoptimierung erfolgen.

Die flächendeckende, hydraulische Betrachtung eines gesamten Netzes bei der Optimierung der Netzstrukturen

berücksichtigt gegenüber der Teiloptimierung einer Einzelmassnahme die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Netzbereichen. Dadurch können meist kleinere Nennweiten ermittelt werden als bei einer Einzelfallbetrachtung. Ausserdem kann das gesamte Einsparpotenzial eines Netzes durch Nennweitenverkleinerungen und Stilllegungen ermittelt und für jeden Strang dargestellt werden. Eventuelle Vergrösserungen einzelner Leitungsabschnitte zur Verbesserung des Netzdrucks oder der Kapazität werden im Rahmen einer Zielnetzuntersuchung ebenfalls ausgewiesen.

Die Berechnung des Zielnetzes ist lösbar durch die kombinierte Anwendung der Netzberechnung mit genetischen Optimierungsverfahren. Hydraulische Grenzwerte (für Drücke und Fliessgeschwindigkeiten), normative Vorgaben (meist durch das Regelwerk) und betriebliche Randbedingungen (u. a. Störfallkompensierung und Löschwasserversorgung) müssen dabei eingehalten werden. Bei der planerischen Leitungserneuerung in der Zielnetzermittlung werden neuere Rohrleitungstypen und reduzierte Rauheiten berücksichtigt. Des Weiteren wurde in Biel die zukünftige Netzbelastung auf Grundlage einer ESB-internen

Verbrauchsprognose für die nächsten 20 bis 30 Jahre errechnet und zugrunde gelegt. Dabei kann auch nach Gebieten mit erwartetem Netzausbau und Gebieten mit erwartetem Verbrauchsrückgang differenziert werden.

Der Vergleich der Netzkosten von Ziel- und Ist-Netz stellt das langfristig mögliche Einsparpotenzial dar. Dieses beträgt trotz teilweiser Vergrösserungen einzelner Leitungsabschnitte meist zwischen 5 und 15% der heutigen Netzkosten und erreicht damit einige Millionen Franken über einen Planungszeitraum von 20–30 Jahren. Die Länge des Verteilnetzes kann dabei um rund 5 km verkürzt werden und der mittlere Druckmesser auf ca. 195 mm reduziert werden, ohne eine erhebliche hydraulische Verschlechterung.

Für Kostenvergleiche ist auch die Untersuchung unterschiedlicher Zielnetzvarianten, wie zum Beispiel mit und ohne zusätzliche Löschwasserreserven, mit geänderter Einspeisekonfiguration oder der Aufhebung von Parallelleitungen möglich. Durch Vergleich mit einer Basiszielnetzvariante auf Grundlage des Ist-Netzes können die monetären und funktionalen Unterschiede (wie Netzdruck, Versorgungssicherheit, Stagnationsverhalten usw.) bewertet und dargestellt werden.

Der Planer erhält schliesslich einen detaillierten Plan, aus dem die berechneten Nennweiten des Zielnetzes hervorgehen, wie auszugsweise aus *Figur 4* ersichtlich. Es wurden unterschiedliche Zielnetzvarianten für das Bieler Wassernetz untersucht und anschliessend aus hydraulischen und monetären Gesichtspunkten bewertet.

Als Umsetzungslösung wurde eine Zielnetzvariante mit Berücksichtigung von Löschwasserreserven und der Aufhebung von parallelen Leitungstrassen gewählt. Die Ergebnisse der Zielnetzuntersuchung u. a. in Form eines Planes mit Nennweitenangaben des Zielnetzes werden bei ESB seitdem bei der Planung von Bau-massnahmen als Referenz berücksichtigt.

## DURCHFÜHRUNG RISIKOBASIERTER ERNEUERUNGSBETRACHTUNG

Grundlage einer risikobasierten Erneuerungsbetrachtung sind fundierte Angaben über das Alterungsverhalten und die Ausfallermwartung von Rohrleitungsmaterialien. RZVN verfügt aufgrund unterschiedlicher Forschungsprojekte (u. a.



Fig. 4 Grafische Darstellung der Optimierungsergebnisse einer Zielnetzuntersuchung  
 Représentation graphique des résultats d'optimisation d'un examen du réseau cible

das SVGW-FOWA-Projekt «Zustandsuntersuchung und Alterungsverhalten von Rohrleitungen») über eine umfangreiche Datenbank mit Schadensdaten zu verschiedenen Rohrleitungsmaterialien unterschiedlicher Gas- und Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland und der Schweiz. Daraus lassen sich analytische Ausfallfunktionen ableiten, um den Ausfall von Leitungsmaterialgruppen zu prognostizieren. Die Ausfallrate wird mit dem *Kaplan-Meier-Verfahren* berechnet. Es gibt Rohrmaterialien unterschiedlicher Generationen. Zum Beispiel werden Stahlleitungen in drei verschiedene Generationen eingeteilt. Aufgrund von Merkmalen können die einzelnen Generationen unterschieden werden. Die Abgrenzung erfolgt anhand der Herstellungsjahre. Als Merkmale werden berücksichtigt: Herstelltechnik, Herstellzeitraum und Ort (Materialwahl), Art und Qualität des Korrosionsschutzes, Nennweite, Werkstofffestigkeit und Verbindungsart. Die Merkmale führen zu unterschiedlichem Alterungsverhalten laut den Funktionskurven der *Figur 5* (aus gemittelten Werten charakteristischer Wasserrohrnetze, die an die Bieler Rohrleitungsmaterialspezifika angepasst wurden).

Das Alterungsverhalten einzelner Rohrleitungsabschnitte wird sehr stark von örtlichen Gegebenheiten, wie Bodenart, Verlegetechnik, oberirdische Belastung, Ablagerungen, Vorbelastung, Schutzart und Materialherkunft der Leitung, beeinflusst. Deswegen werden die für die einzelnen Materialgruppen zugrunde gelegten Alterungsfunktionen mit dem spezifischen Ausfallverhalten der entsprechenden Materialgruppe des zu untersuchenden Unternehmens abgeglichen. Hierzu wird eine Dokumentation der Schäden über mindestens fünf zurückliegende Jahre benötigt. Es sollten der Ort des Schadens, die Schadensart, das Leitungsmaterial, das Datum des Schadens und das Baujahr der Leitung dokumentiert sein. Hilfreich sind darüber hinaus Kosten für die Schadensbeseitigung und eventuelle durch den Schaden verursachte Kosten bei Dritten.

Ferner ist die genaue Kenntnis der Altersverteilung der bestehenden Leitungen im Netz notwendig, um anhand der Schadensauswertung eine Prognose des zukünftigen Ausfalls bestehender Leitungen durchführen zu können. Im Rahmen der risikoorientierten Erneuerungsbe-

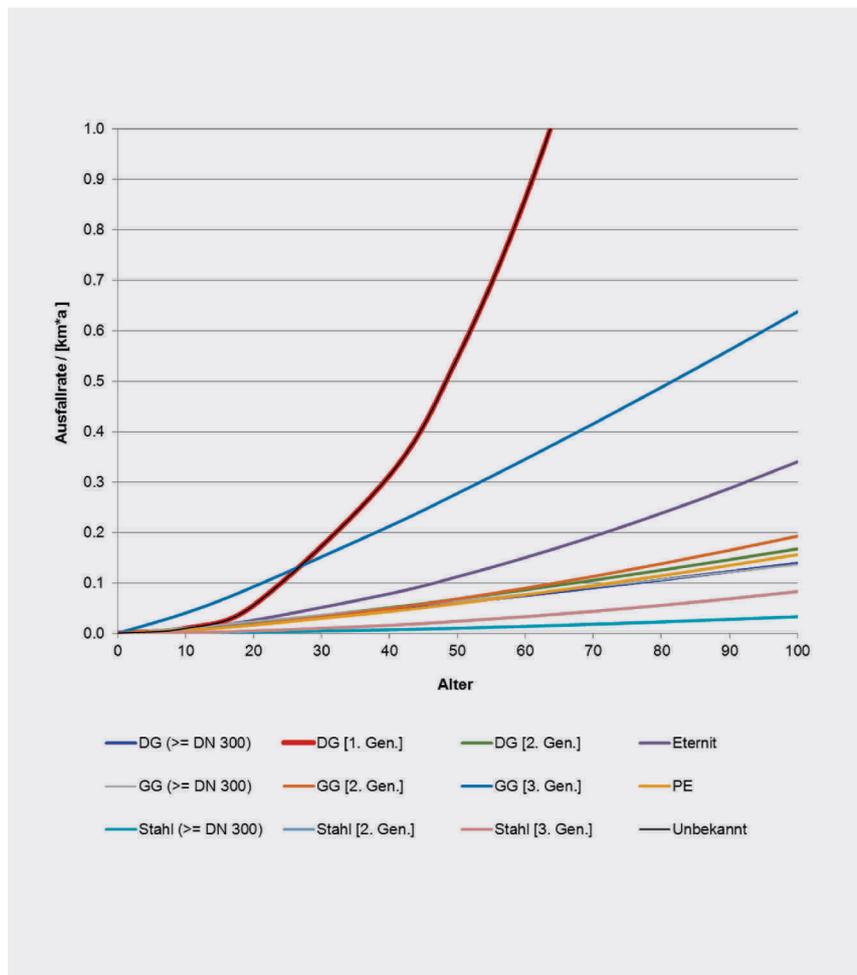


Fig. 5 Darstellung der Alterungsfunktionen von unterschiedlichen Rohrleitungsmaterialien in Biel  
 Représentation des fonctions de vieillissement de différents matériaux de conduites à Bienne

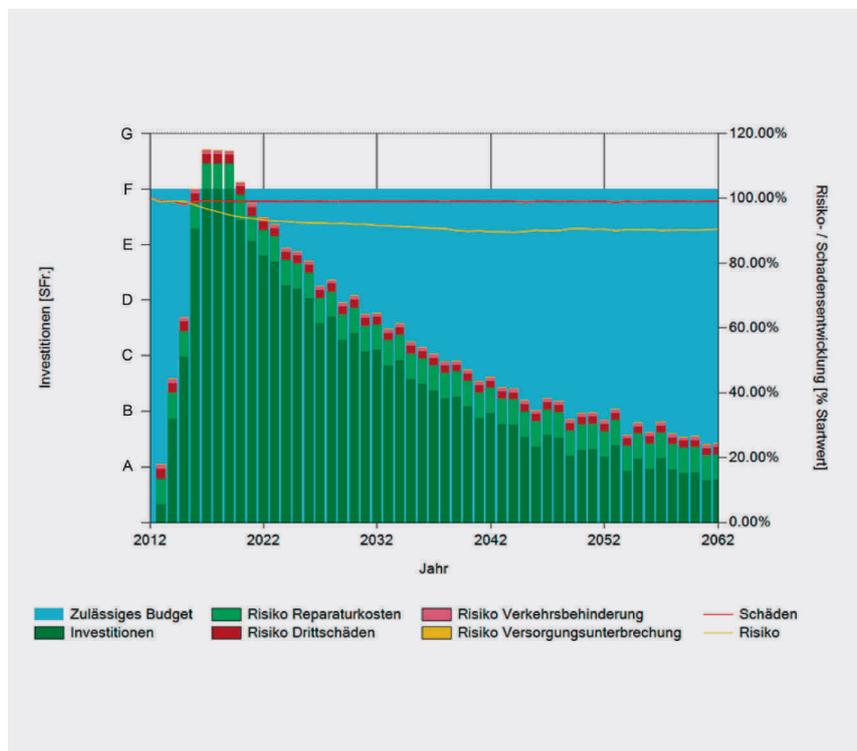


Fig. 6 Beispielhafte Darstellung von Investitionsbedarf, Risiko- und Schadensentwicklung  
 Exemple d'un besoin d'investissement, de l'évolution des risques et des dommages

trachtung wird für jeden Leitungsstrang eine spezifische Ausfallrate berechnet, die Grundlage der Risikobeurteilung ist. Dies unter Berücksichtigung

- der mittleren Ausfallrate des zugehörigen Rohrwerkstoffs,
- der individuellen Historie dieses Abschnitts (Anzahl der Schäden auf der Leitung oder in deren Nähe) und
- der lokalen Umgebungseinflüsse wie dynamische, oberirdische Belastungen durch Verkehr, Baumassnahmen und die Bodenbeschaffenheit.

Das Risiko ist definiert als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens (=Ausfallrate) und Ausmass des Schadens.

Die Quantifizierung des Ausmasses eines Schadens erfolgt auf Basis des kalibrierten Netzmodells. In Abhängigkeit des Materials, des Netzdrucks sowie der Nennweite werden pro Strang die austretende Wassermenge und die Anzahl der deshalb nicht ausreichend versorgten Kunden im Gesamtnetz berechnet. Die austretende Wassermenge kann neben Versorgungsbeeinträchtigungen zu einer Gefährdung der Umgebung führen und verursacht Reparaturkosten und Schäden an Dritten. Die hieraus resultierenden Kosten werden entsprechend der Höhe der austretenden Menge berechnet. Je höher die austretende Menge ist, desto grösser sind der Gefährdungsradius, die Aufwendungen für Reparaturmassnahmen und die Schäden bei Dritten. Durch

Multiplikation des (monetär bewerteten) Schadensausmasses mit der errechneten Ausfallrate ergibt sich das Risiko für jeden Strang. Die so ermittelten Einzelrisiken werden zu einem Gesamtrisiko summiert.

Je nach Höhe des Risikos eines Leitungsstranges und eines festzulegenden Grenzkrisikos sowie einer zulässigen Grenzschaadensrate erfolgt die Priorisierung der einzelnen Strangabschnitte. Über das zur Verfügung stehende Budget wird die Erneuerungsgeschwindigkeit bestimmt. Alternativ kann im Rahmen der Untersuchung auch das erforderliche Budget zur Erreichung eines Zielzustandes berechnet werden. Ziele können zum Beispiel die Reduzierung der Schadensanzahl oder das Erreichen einer Mindesterneuerungsrate sein. Die Addition der so ermittelten Risiko-, Reparatur- und Erneuerungskosten pro Strang ergeben das jährlich notwendige Budget für den substanziellen Erhalt oder die Verbesserung eines Rohrnetzes.

Figur 6 zeigt die jährlichen Erneuerungsrespektive Investitionskosten eines Wasserrohrnetzes unter den Vorgaben für die Simulation, dass das Gesamtrisiko (*gelbe Linie*) und die jährlichen Netzschäden (*rote Linie*) etwa gleich bleiben sollen.

Für das Gesamtröhrennetz Biel wurde auch das notwendige Budget für eine Verbesserung des heutigen Netzzustands und die langfristigen Auswirkungen bei reduziertem Budget berechnet und dargestellt. Nach den daraus gewonnenen

Erkenntnissen wurde das Budget für die kommenden Jahre abgeleitet. Auch kann die Entwicklung des Risikos und der Schäden bedingt durch fremdverursachte Baumassnahmen (z.B. durch andere Sparten oder die Kanalisation, Strassenbau u.a.) gegenüber einer spartenspezifischen Erneuerung dargestellt werden.

Die Ergebnisse der Zielnetzuntersuchung (benötigte Dimensionierung) können mit den Ergebnissen der Risikoanalyse (optimierte Erneuerung) verknüpft werden. Dargestellt in einem massstäblichen Plan (Fig. 7) erhält man damit ein optimiertes und anschauliches Werkzeug für die konkrete Planung von Erneuerungsmassnahmen.

Zusammenfassend werden mit der risikoorientierten Erneuerungsplanung erreicht:

- Ermittlung des technisch-wirtschaftlichen Erneuerungszeitpunktes auf Basis von unternehmensinternen Daten
- Budgetplanung und Begründung
- Beurteilungsmöglichkeit der Auswirkung verschiedener Erneuerungsstrategien auf den Netzzustand

#### AUS SICHT DES ESB

Die optische Darstellungsmöglichkeit der konkret zu erneuernden Leitungen in einem Plan bzw. in dem von ESB erworbenen Programm *Rika* sowie die Darstellung der Auswirkungen einer Erneuerungsstrategie als Balkendiagramm sind hilfreich für die Festlegung der jährlichen Erneuerungsmassnahmen und für die Besprechung mit anderen Mitentscheidern (Stadt usw.)

Die Ergebnisse werden von Jahr zu Jahr mit der realen Entwicklung (tatsächlich umgesetzte Erneuerungsmassnahmen, Schadensentwicklung usw.) abgeglichen und die Berechnung wird periodisch aktualisiert.

Bei gewissenhafter Erstellung und fachlicher Bedienung der Software (z. B. durch Hinterlegung aktueller und historischer Parameter aus dem Unternehmen und der Berücksichtigung von Parametern zur örtlichen Boden, Strassen und Gebäudestruktur) erhält man ein solides Werkzeug zur Unterstützung bei Planungsaufgaben und der Budgetabschätzung. Die Bedienung ist dabei nach erfolgter Schulung und regelmässiger Anwendung weitestgehend intuitiv. Bei Fragen besteht die Support-Möglichkeit durch RZVN.

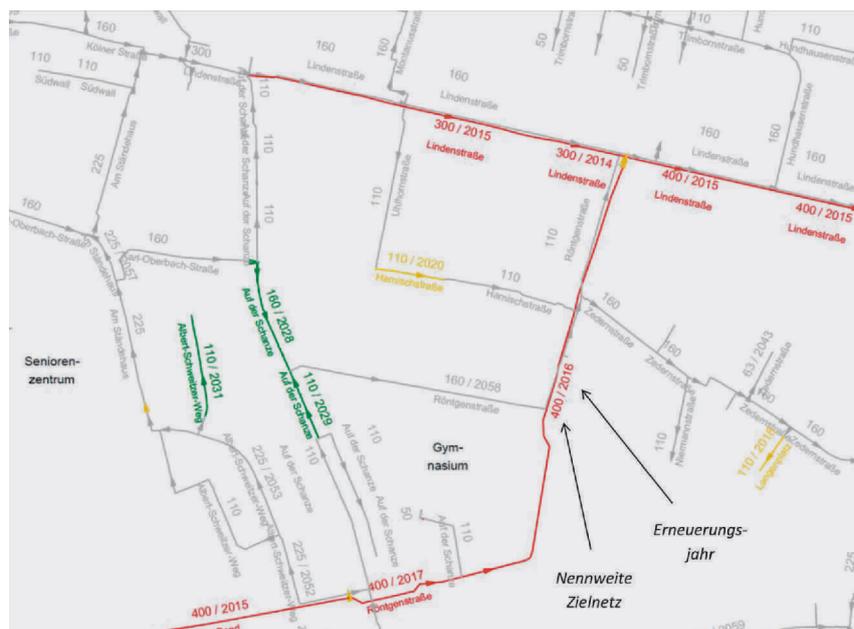


Fig. 7 Beispiel für die Verknüpfung von Zielnetznennweiten und Erneuerungsjahren in einem Plan  
Ex. de lien entre diamètres de réseau cible et années de modernisation dans un plan

## ZUKÜNFTIGE MASSNAHMENPLANUNG UND -UMSETZUNG

Wie viele andere Wasserversorgungsunternehmen hat sich auch der ESB mit den Folgen einer gewissen Überdimensionierung (für die Netzhygiene und die Netzkosten) in der historisch gewachsenen Wasserverteilung auseinanderzusetzen. Eine Anpassung der bestehenden Netzstrukturen an die heutige und zukünftige Versorgungsaufgabe bedingt eine strategische Netzausrichtung mithilfe von Analyse- und Optimierungsverfahren. Dazu wurden von RZVN in Zusammenarbeit mit dem ESB die beschriebenen Untersuchungen (Rohrnetzanalyse, Spülkonzept, Zielnetzermittlung, Erneuerungsplanung) durchgeführt.

Weiterhin wurden das erstellte Rechnernetzmodell und die genutzte Software beim ESB implementiert. Die Zielsetzung ist, dass betriebliche oder planerische Netzmassnahmen gezielt und sofort vor Ort auf ihre technischen und kostenmässigen Auswirkungen untersucht werden können. Eine entsprechende Programmschulung wurde durchgeführt.

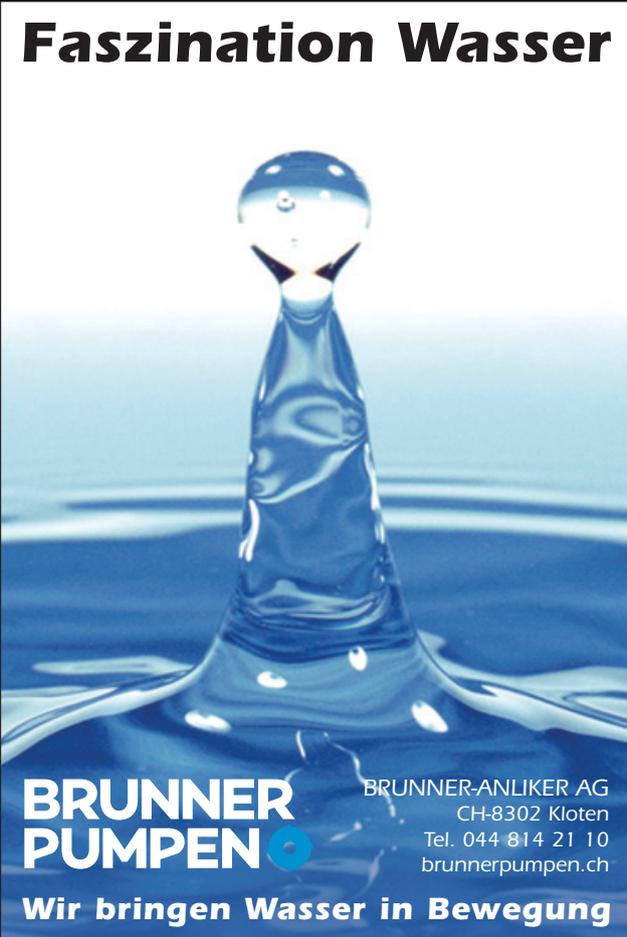
Insgesamt sollen mit der strategischen Ausrichtung eine Verschlinkung der Wasserverteilung und eine Reduzierung der Netzkosten ohne Einbusse der Versorgungssicherheit erreicht werden.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Layec, V. et al. (2014): «Spülpläne für den Notfall – Rechnergestützte Spülplanentwicklung am Beispiel der Stadt Zürich», Aqua & Gas 9/14, S. 33

### > SUITE DU RÉSUMÉ

tribution d'eau, Energie Service Bienne (ESB) est confrontée aux conséquences d'un certain surdimensionnement (pour l'hygiène et les coûts de réseau) liée à la croissance de la distribution d'eau au fil des ans. Une adaptation des structures de réseau existantes à la tâche actuelle et future de distribution nécessite une orientation stratégique du réseau à l'aide de procédés d'analyse et d'optimisation. Dans ce but, une analyse du réseau de conduites, un concept de nettoyage ainsi qu'une détermination du réseau cible ont été réalisés à l'aide d'un réseau en râteau. Les analyses servent de bases pour une optimisation axée sur les coûts des structures de réseau existantes, aussi bien pour les installations existantes que pour la planification de modernisation.



# Faszination Wasser

**BRUNNER PUMPEN**

BRUNNER-ANLIKER AG  
CH-8302 Kloten  
Tel. 044 814 21 10  
brunnerpumpen.ch

**Wir bringen Wasser in Bewegung**



**iflo® SPRINT**

Norwegisches Qualitätsprodukt  
mit Schweizer Material 

**STARK**  
• Stark wie Messing, Gewinde „unzerstörbar“, Lebensdauer mehr als 50 Jahre

**SCHNELL**  
• Rohr 90° abschneiden, anzeichnen, einstecken, Fitting mit blauer Kappe (Wasser) lösbar

**SICHER**  
• Hält wie Iflo Messing, korrosionsbeständig, auch bei geringem Druck dicht

Labels: Kappe, Klemmring, O-ring, Pushbackring, Einstecktiefe, Körper, Einstecktiefe

Import für die Schweiz Hess Metalle AG  
Katalog unter [www.hessmetalle.ch](http://www.hessmetalle.ch)

