

Sicherheits- und Notfallplanung bei Kontamination der Wasserversorgungsanlage

Wasserversorgung, örtliche Sensitivitätsanalyse, Risiko, Schwachstellenidentifizierung, Wassersicherheitsplan, Verunreinigung, Vulnerabilität

Michael Möderl, Robert Sitzenfrei und Wolfgang Rauch

Wasserversorgungsanlagen können durch vielerlei Ursachen kontaminiert werden. Beispielsweise kann durch Verkehrsunfälle, technische Gebrechen, Fehlanschlüsse von dezentralen Wassersystemen, absichtliche Vergiftungen etc. ein Kontaminationsereignis verursacht werden. Der vorgestellte Ansatz dient einerseits zur Minimierung des Kontaminationsrisikos durch Planung von Präventivmaßnahmen (Sicherheitsplanung) und andererseits zur Minimierung des Schadenspotenzials im Notfall (Notfallplanung). Um den Schaden zu minimieren, sollte nicht erst nach Bekanntwerden von Erkrankungen reagiert werden. Ein Frühwarnsystem, welches auf Messungen beruht, kann zwar keinen 100% Schutz bieten, kann jedoch die Auswirkungen (z.B. Anzahl von Krankheitsfällen) verringern. Mit dem neu entwickelten und in diesem Artikel vorgestellten Achilles-Ansatz zur Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse, können nicht nur Sensornetzwerke und Schutzzonen, sondern auch Spül- und Desinfektionsmaßnahmen geplant werden. Die Methodik beruht auf der Anwendung der örtlichen Sensitivitätsanalyse. Zusätzlich wird damit auch die Ortung von Kontaminationsquellen unterstützt. Ursachen können dadurch schneller erkannt und beseitigt werden.

1. Einleitung und Zielsetzung

Das zentrale Ziel der Wasserversorgung ist, das wichtigste Lebensmittel Wasser in ausreichender Quantität mit der benötigten Qualität im Hinblick auf hygienische Aspekte zur Verfügung zu stellen. Dabei spielt die Funktionstüchtigkeit der Wasserversorgungsanlagen eine besondere Rolle. Bei einer Kontamination des Trinkwassers in den Hochbehältern und Fassungsanlagen – aber auch in den Netzen – kann die Versorgung beeinträchtigt werden. Das Wasser muss dann entweder lokal behandelt werden (z.B. durch Abkochen) oder eine Ersatzwasserversorgung muss installiert werden. Die

Safety and Emergency Planning for Contamination of Water Supply Infrastructure

In this article a method for vulnerability and risk analysis is introduced which aims to minimize the potential damage of a contamination event. The planning of pro-active and emergency actions is supported with the results of the approach. On the one hand, sites for sensors in a network for an early warning system and protected areas can be identified in the frame of security planning. In an emergency case, sites for flushing and injection of disinfection substances can be identified to eliminate the contamination efficiently. Core of the Achilles-approach is the spatial sensitivity analysis using hydraulic and water quality simulations of the entire water distribution system. Further, this innovative method supports the detection of contamination sources.

Auswirkungen solcher Maßnahmen können durch einen Risikoansatz analysiert werden.

In der Literatur [1, 2] wird Risiko (risk) oftmals als Vulnerabilität (vulnerability) mal Gefährdung (hazard) definiert. Viele wissenschaftliche Artikel weisen jedoch voneinander abweichende Definitionen der Vulnerabilität auf [3]. Einige dieser Definitionen sind bereits aufgelistet und verglichen worden [4]. Im Rahmen des hier präsentierten Achilles-Ansatzes [5, 6] beschreibt die Vulnerabilität die Auswirkungen einer lokalen Veränderung auf das Gesamtsystem [7]. Sie ist eine Eigenschaft der Infrastruktur selbst. Gefährdung ist andererseits als ein

systeminterner oder – externer Prozess definiert, der eine lokale Veränderung verursacht. Beispiele für Gefährdungen gibt es viele, z.B. Lawinen [8], Erdbeben [9], Hangrutschungen [10], Landnutzungsänderung [11] etc. In diesem Artikel werden jedoch nur Gefährdungen behandelt, welche zu einem Kontaminationsereignis in der Wasserversorgung führen. Vergleicht man die oben angeführte Definition für Risiko mit der häufig verwendeten Definition – Schaden mal Wahrscheinlichkeit – kann Schaden mit Vulnerabilität und Wahrscheinlichkeit mit Gefährdung gleichgesetzt werden. In dieser Definition ist jedoch die Angreifbarkeit (exposure) unberücksichtigt. Zum Beispiel kann ein Unfall mit toxischen Substanzen sowohl Grundwasserbrunnen als auch Wasserspeicher kontaminieren. Ein direktes Eindringen in das Rohrleitungssystem, welches durch den Wasserdruck geschützt wird, ist bei so einem Unfall nicht bzw. nur bei Druckabfall möglich. Bei einem Rohrbruch können auch an den beschädigten Netzteilen Schadstoffe in das System eintreten. Andererseits ist bei einer mutwilligen Kontamination jedes Netzteil angreifbar. Aus diesen und ähnlichen Beispielen ist ersichtlich, dass die Einführung des Begriffs „Angreifbarkeit“ das Verständnis des Ablaufs erleichtert. Demnach ist die Angreifbarkeit ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass ein Prozess zu einer lokalen Veränderung bzw. Schaden führt [7]. Somit wird hier die erweiterte Definition nach dem Risikodreieck [12] angewandt. Eine vertiefte Diskussion der beiden Risikodefinitionen ist in der Literatur [13] zu finden.

Die vorgestellte Methodik zur Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse dient zur Minimierung des Kontaminationsrisikos durch Planung von Präventivmaßnahmen. So sollen mit Hilfe von vordefinierten Bewertungsfunktionen überregional Schwachstellen in den Netzwerksystemen identifiziert werden. Es wird auch gezeigt, wie die Gefährdung erhoben werden kann. Um das Risiko einer unzureichenden Funktionalität der Wasserversorgungsanlage zu minimieren, können auf Basis dieser Methodik Präventivmaßnahmen, wie einerseits die Durchführung von Baumaßnahmen bei Systemschwachstellen und andererseits die Errichtung von Schutzeinrichtungen für gefährdete Netzteile, getroffen werden. Außerdem unterstützt die Methodik die Einführung von Wassersicherheitsplänen [14–17].

Durch den Achilles-Ansatz wird nicht nur die Planung von pro-aktiven Maßnahmen verbessert, sondern die erzielten Ergebnisse sind auch im Notfall einsetzbar. Des Weiteren kann die vorgestellte Methodik bei der Spülung, Desinfektion und Kontaminationsortung eingesetzt werden.

2. Methodik

Im Folgenden werden die Methoden zur Schwachstellenidentifikation im Rahmen des „Achilles-Ansatzes“ vorgestellt. Dazu wird die Vorgehensweise zur Gefahren-

erhebung (Kapitel 2.1) sowie die Ermittlung der Angreifbarkeit (Kapitel 2.2) erläutert. Um im Rahmen einer Vulnerabilitätsanalyse die Auswirkungen auf die Systemleistung beurteilen zu können, bedarf es einer vordefinierten Bewertungsfunktionen, welche in Kapitel 2.3 erläutert wird. In Kapitel 2.4 werden die Methoden für die Erstellung der in den Resultaten diskutierten Vulnerabilitätskarten vorgestellt und in Kapitel 2.5 wird die untersuchte Fallstudie charakterisiert.

2.1 Gefahrenerhebung

Um eine Vulnerabilitätsanalyse durchführen zu können, müssen vorab diejenigen Prozesse und Gefahrenquellen identifiziert werden, welche Kontaminationen auslösen. Dafür können allgemeine Gefahrenkataloge, welche für den Katastrophenschutz erstellt wurden, herangezogen werden. Eine Auswahl von möglichen Gefährdungen ist in folgender Liste angeführt:

- Unfälle mit gefährlichen Gütern oder Treibstoffen
- Boden- und/oder Wasserkontamination
- Strahlenverseuchung oder allgemeine Seuchen
- Vergiftung
- Sabotage
- Hochwasser
- Rohrbrüche (durch Muren, Erdbeben etc.)
- Großbrand (durch Druckabfall)

Gefahrenzonenpläne, Hochwasserrisikozonierung sowie der Lawinenkataster können ebenso als Grundlage für die allgemeine Gefahrenlage der Wasserinfrastruktur herangezogen werden. Es können aber auch spezifische Gefahrenkataloge für Wasserversorgungsanlagen entwickelt werden, z.B. im Zusammenhang mit der Erstellung von Wassersicherheitsplänen [18].

Zu einer derartigen fallspezifischen Erhebung wird im Rahmen eines Seminars ein Gefahrenkatalog mit unterschiedlichen Experten (Bürgermeister, Feuerwehr, Gemeindeamtsleiter, Bauamt für Wasserversorgung, Lawinenkommission, Waldaufseher, etc.) entwickelt. Liegt ein gefährdender Prozess im Systemgebiet vor, wird der Ort als Punkt-, Linien- oder Flächengefahr dokumentiert. Zusätzliche Attribute, wie z.B. Häufigkeit des Auftretens und Beschreibung der Gefahr werden ebenfalls dokumentiert, sowie eine Gefahrennummer vergeben. Endresultat ist ein digitalisierter GIS Plan, der alle Gefahren mit den oben genannten Attributen enthält.

2.2 Matrix für die Angreifbarkeit

Im Rahmen dieser Arbeit ist aus den verschiedenen Gefahrenkatalogen und den weiterführenden Diskussionen in größeren Expertenrunden ein allgemeines Modell einer Matrix für die Angreifbarkeit erarbeitet worden. Diese Matrix verknüpft Gefährdungen mit möglichen Auswirkungen mit Elementen der Wasserversorgungsanlage. Zum Beispiel kann durch eine

Tabelle 1. Matrix für die Angreifbarkeit bezogen auf das Szenario Kontamination.

Element/Gefährdung	Brunnen	Quelle	Oberfläche Wasser	Behälter	Leitung	Ventil	Pumpe	Knoten
Baustelle					L			L
Dünger	L	E						
Pflanzenschutz	L							
Einzeleinleiter					L			L
Sabotage/Terror	E	E	L	E			E	E
Unfall	E	L	L					
Rohrbruch					L	E	E	
Ausfall der Reinigung	E	E	E					
Verbund	E	E	E	E	E	E	E	E
Überflutung	L	L						
Sturmfluten	L	L						
andere				L				

Baustelle möglicherweise eine Leitung beschädigt werden und/oder eine Bodenkontamination hervorgerufen werden. Andererseits ist durch Baustellenarbeiten eine Gefährdung von Brunnenanlagen eher unwahrscheinlich, solange mit der gebotenen besonderen Vorsicht gearbeitet wird. Das heißt, dass beispielsweise für eine Zeile (Gefährdung) „Baustelle“ in der Angreifbarkeitsmatrix (**Tabelle 1**), nur jene Elemente betroffen werden können, welche einen Wert in der Matrix aufweisen (d. h. für diese Gefährdung: Leitungen und Knoten). Solche und ähnliche Überlegungen für weitere Gefährdungen führen zu der in **Tabelle 1** dargestellten

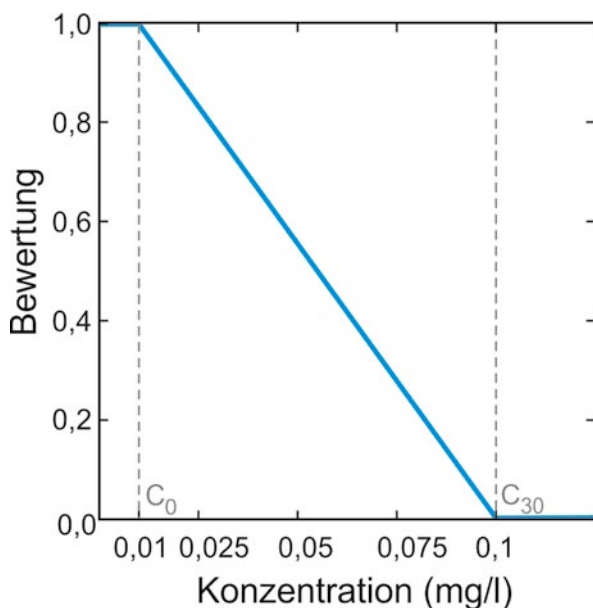


Bild 1. Bewertung nach Kontaminationsgrad für einen Knoten.

Matrix. Die Werte in der Matrix, die auf Expertenmeinungen beruhen, wurden mit E gekennzeichnet. Werte der Matrix, die auf Literaturangaben beruhen, wurden mit L eingetragen.

2.3 Bewertung der Wasserqualität für die Vulnerabilitätsanalyse

Um mögliche Auswirkungen durch ein Schadensereignis auf die Wasserqualität beurteilen und vergleichen zu können, wird eine Bewertung für den Kontaminationsgrad im System eingeführt. Mithilfe einer normierten Funktion wird beurteilt, ob eine unzureichende (mit 0 bewertet) oder eine ausreichende (mit 1 bewertet) Wasserqualität vorherrscht. In Regelwerken [19] wurde die Anforderungen an die Qualität von Trinkwasser in Not-situationen für einen Aufnahmezeitraum von maximal 30 Tagen definiert. Diese Konzentrationen (C_{30}) dienen daher als Schwellenwerte für die Bewertung der Kontamination einer Wasserversorgungsanlage. Eine Überschreitung dieser Konzentrationen wird mit 0 (unzureichend) bewertet. Die Unterschreitung der durch die Trinkwasserverordnung [20] vorgeschriebenen Konzentrationen (C_0) wird mit 1 (ausreichend) bewertet. Für dazwischenliegende Konzentrationen wird die Bewertung linear interpoliert. Diese Bewertung wird für jeden Knoten (n) durchgeführt, wobei der über die Zeit berechnete Maximalwert der Konzentration als maßgeblich für ein Kontaminationsereignis (siehe Kapitel 2.4.1 und 2.4.2) angesehen wird. Für die Analyse der Spülleistung (siehe Kapitel 2.4.3) wird andererseits das zeitliche Minimum zur Auswertung herangezogen. Anschließend wird der Mittelwert über alle Knoten (1 bis N) gebildet. Daraus ergeben sich folgende beiden Bewertungsfunktionen:

max. Konzentration =

$$\frac{\sum_{n=1}^N \begin{cases} \max(C_n) > C_{30} : 0 \\ C_0 < \max(C_n) < C_{30} : \frac{-\max(C_n) + C_{30}}{C_{30} - C_0} \\ \max(C_n) < C_0 : 1 \end{cases}}{N} \tag{1}$$

min. Konzentration =

$$\frac{\sum_{n=1}^N \begin{cases} \min(C_n) > C_{30} : 0 \\ C_0 < \min(C_n) < C_{30} : \frac{-\min(C_n) + C_{30}}{C_{30} - C_0} \\ \min(C_n) < C_0 : 1 \end{cases}}{N} \tag{2}$$

In dieser Studie wird exemplarisch die Auswertung für eine Kontamination mit Arsen aufgezeigt. Grundsätzlich kann diese Analyse aber mit jeglichen anderen stofflichen Kontaminationen durchgeführt werden. Für eine Arsenkontamination betragen die Schwellenwerte C_0

und C_{30} 0,01 bzw. 0,1 mg/L. **Bild 1** zeigt für Arsen den Verlauf für die Bewertung einer solchen Kontamination an einem Knoten.

2.4 Vulnerabilitätskarten

Die hier vorgestellte Methodik zur Sicherheits- und Notfallplanung bei Kontamination anhand von Vulnerabilitätskarten basiert auf der Anwendung der örtlichen Sensitivitätsanalyse für Wasserversorgungsanlagen [21]. Dabei wird sequentiell an jeder Komponente der Wasserinfrastruktur eine Veränderung (Parametervariation) vorgenommen, danach die Auswirkung auf das Gesamtsystem modelltechnisch bewertet und diese Bewertung anschließend am Ursprung der Parametervariation örtlich referenziert. Das Ergebnis sind Vulnerabilitätskarten, wobei je nach Parametervariation die erstellten Karten unterschiedlich interpretiert werden können. Nachfolgend sind Einwirkungen und die entsprechenden Parametervariationen für die örtliche Sensitivitätsanalyse in den Kapiteln 2.4.1 bis 2.4.4 beschrieben.

2.4.1 Vulnerabilitätskarte für die Errichtung eines Frühwarnsystems

Wasserversorgungsanlagen können durch vielerlei Ursachen kontaminiert werden. Beispielsweise können durch Verkehrsunfälle, technische Gebrechen, Fehlanlüsse von dezentralen Wassersystemen, absichtliche Vergiftungen etc. Kontaminationsereignisse verursacht werden. Um den resultierenden Schaden zu minimieren, sollte nicht erst nach Bekanntwerden von negativen Auswirkungen (z.B. Erkrankungen) reagiert werden. Durch die Errichtung eines Sensornetzes als Frühwarnsystem (z.B. durch ein Online-Warnsystem), kann zwar kein 100%iger Schutz geboten werden, kann jedoch die Auswirkung (hier z.B. Anzahl von erkrankten Personen) entscheidend verringert werden.

Eine der wichtigsten Herausforderungen, welche für ein derartiges Warnsystem gelöst werden muss, ist die Klärung, wie welche Stoffe überhaupt online nachgewiesen werden können. In der Fachliteratur wurde dieses Thema schon vielfach diskutiert. Ein möglicher Ansatz zur Lösung ist die indirekte Messung von Kontaminationen über chemische Indikatoren, welche im Gegensatz zur Kontamination online gemessen werden können. Eine Auflistung möglicher Erhöhungen und Verringerungen von Indikatorkonzentrationen für ausgewählte Kontaminationen liefert **Tabelle 2** [22]. Die darin angeführten Werte stellen eine Auswahl von Indikatorkonzentrationen dar. Nach wie vor sind auf diesem Gebiet jedoch noch etliche Fragestellungen offen.

Eine weitere Fragestellung ist die Platzierung der Messstellen. Die Auswahl von geeigneten Messstellen, welche eine Kontaminierung frühzeitig erkennen sollen, kann unter Berücksichtigung von Expertenmeinung,

Tabelle 2. Online-Messerkennung von Kontaminationen.

Kontamination	erhöhte Messwerte	Verringerte Messwerte
Abwasser	Chlorid, Leitfähigkeit, Trübung, TOC	Chlor Redoxpotenzial
rotes Blutlaugensalz	TOC, Chlorid, Nitrat, Ammonium, Redoxpotenzial	
Herbizid Glyphosate	TOC, Chlorid	Chlor Redoxpotenzial
Herbizid Malathion	TOC, Trübung	Chlor Redoxpotenzial
Herbizid Aldicarb	TOC, Trübung	Chlor Redoxpotenzial
E. coli in Terrific Broth	TOC, Trübung, Ammonium	Chlor
Terrific Broth (Bakterienzucht)	TOC, Trübung	Chlor Redoxpotenzial
Arsen(III)-oxid	Ammonium, Trübung	Chlor Redoxpotenzial Nitrat
Nikotin	TOC, Ammonium, Chlorid	Chlor Redoxpotenzial Nitrat

durch Reihung von Systembereiche, aber auch durch Optimierungsalgorithmen durchgeführt werden: Expertenmeinungen sind in diesem Zusammenhang immer hilfreich – auch als Zusatzinformation. Der Grund liegt in der örtlichen Kenntnis der kritischen Punkte im Netzwerk. Eine Reihung von Messstellen kann zusätzlich aufgrund von sensitiven Objekten (Krankenhaus, etc.) oder anderen logischen Überlegungen durchgeführt werden.

Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von hydraulischen Modellen. Mit letzteren können einerseits Sensitivitäten [23] analysiert werden oder andererseits auch eine Optimierung hinsichtlich minimalen Auswirkungen (z.B. eines Gifteintrages [24, 25]) durchgeführt werden: Auf dem „8th Annual Water Distribution Systems Analysis“ Symposium in Cincinnati wurde das „Battle of the Water Sensor Networks“ veranstaltet. 34 Forscher aus der ganzen Welt widmeten sich dem Thema der modellunterstützten Optimierung von Online-Messnetzen. Das Ergebnis war, dass die verwendeten Methoden schlecht auf komplexe Systeme anwendbar sind [24].

Im Rahmen des Achilles-Ansatzes wird deshalb dieser modelltechnische Weg nicht verfolgt, auch weil ein solcher Ansatz für kleine Bedarfsträger aufgrund eines hohen technischen Aufwandes und Fachwissens nicht anwendbar ist. Hingegen wird eine Vulnerabilitätskarte für die Errichtung von Frühwarnsystemen mit dem „Achilles-Ansatz“ produziert, welche eine GIS-basierte Priorisierung von Messstellen unterstützt. Diese Vulnerabilitätskarte symbolisiert Bereiche mit hoher

Priorität für Online-Messungen. Letztlich muss der Experte auf Basis der Kontaminationskarte und anderen Informationen (z. B. sensitive Objekte, Stadtteile etc.) die Entscheidung über die Auswahl von Online-Messstellen treffen.

Modelliert wird diese Vulnerabilitätskarte, indem an jedem Knoten die Ausbreitung eines Schadstoffes analysiert wird (örtliche Sensitivitätsanalyse). Dafür wird sequentiell an jedem Knoten eine gewisse Masse (z. B. ein kg) eines Schadstoffes über eine gewisse Dauer eingetragen. Zur Berechnung der Ausbreitung wird der Schadstoffeintrag in einem Wasserfluss von 1000 L/h verdünnt. Modelltechnisch wird dies als Variation in jedem Knoten berechnet. Nach der Einwirkungszeit wird der Schadstoffeintrag unterbrochen und der zeitliche Verlauf der Auswirkungen auf das Gesamtsystem analysiert. Farblich dargestellt wird die Sensitivität der Bewertungsfunktion für die maximale Kontamination (Gl. (1)). Orte, von denen sich eine Kontamination im Gesamtsystem rasch ausbreitet, eignen sich besonders für die Errichtung von Messstellen für ein Frühwarnsystem.

2.4.2 Vulnerabilitätskarte für die Errichtung von Schutzzonen

Bei der Vulnerabilitätskarte für die Errichtung von Schutzzonen wird die Schadensanfälligkeit durch Kontamination dargestellt. Dabei wird die mögliche Ausbreitung von eingetragenen Schadstoffen in der Wasserversorgungsanlage analysiert. Die Interpretationen und das erweiterte Systemverständnis unterstützen eine Wassersicherheitsplanung.

Schadstoffe können entweder mutwillig oder aufgrund eines technischen Gebrechens bzw. eines

Unfalles über eine gewisse Einwirkungszeit ins System gelangen. Mit derselben Analyse wie für die Errichtung für Frühwarnsysteme (Kapitel 2.4.1), wird die mögliche Ausbreitung von Kontaminationen analysiert. Die resultierende Vulnerabilitätskarte zeigt, welche Knoten bzw. welche Region im Netz im Falle einer Bedrohung besonders geschützt werden soll, da bei Einleitung in diesen Bereichen die Wahrscheinlichkeit für eine Erkrankung von vielen Menschen am größten ist. Im Vergleich zur Vulnerabilitätskarte für die Errichtung von Frühwarnsystemen wird diese Karte jedoch separat analysiert, weil Schutz nicht nur durch Sensoren sondern auch durch andere Maßnahmen erzielt werden kann. Für die Symbolisierung wird die Bewertung nach der maximalen Kontamination angewendet. Stellen mit hohem Ausbreitungspotenzial sind negativ (mit roter Farbe dargestellt) bewertet, da viele Menschen gefährdet sind. Einer solchermaßen identifizierten sensitiven Stelle mit hohem Ausbreitungspotenzial sollte also besondere Aufmerksamkeit, z. B. in Form einer Schutzzone, zukommen.

2.4.3 Vulnerabilitätskarte für die Spüleignung

Zur Eliminierung einer Kontamination kann z. B. ein Desinfektionsmittel eingetragen oder das Leitungsnetz gespült werden. Die Vulnerabilitätskarte für die Spüleignung unterstützt die Planung von Systemspülungen zur Elimination von aufgetretenen Kontaminationen (Notfallplanung). Aus dieser Vulnerabilitätskarte kann abgelesen werden, welche Regionen am effektivsten für die Beseitigung der Kontamination sind. Modelltechnisch geht man von einem komplett verunreinigten System mit einer gewissen Konzentration eines Stoffes aus. Ausgehend von diesem Kontaminationszustand wird an jedem Knoten sequentiell ein erhöhter Bedarf zur Spülung angesetzt. Dieser Wert wird als Spülmenge bezeichnet. Die Spülzeit sowie die Spülmenge sind Eingangsparameter für diese Analyse. In dieser Studie wurde eine Spülmenge von 1000 L/min über 6 Stunden angenommen. Mit der Bewertungsfunktion für minimale Kontamination (Gl. (2)) wird beurteilt, inwieweit das vollständig kontaminierte System durch eine Spülung an einem Knoten gereinigt werden kann.

2.4.4 Vulnerabilitätskarte für Desinfektion

Die Vulnerabilitätskarte für die Errichtung eines Frühwarnsystems kann auch für den Einsatz von Desinfektionsmitteln im Notfall eingesetzt werden. Bei der Vulnerabilitätskarte für die Desinfektion handelt es sich daher – methodisch gesehen – um die Karte für die Errichtung eines Frühwarnsystems. Sie zeigt aber in diesem Fall, welche Knoten bzw. welche Region im Netz im Falle einer Kontamination als Eintragsstelle für ein Desinfektionsmittel besonders gut geeignet sind. Für die Symbolisierung wird die Bewertung nach der maximalen Kontamination nach Gl. (1) angewendet.

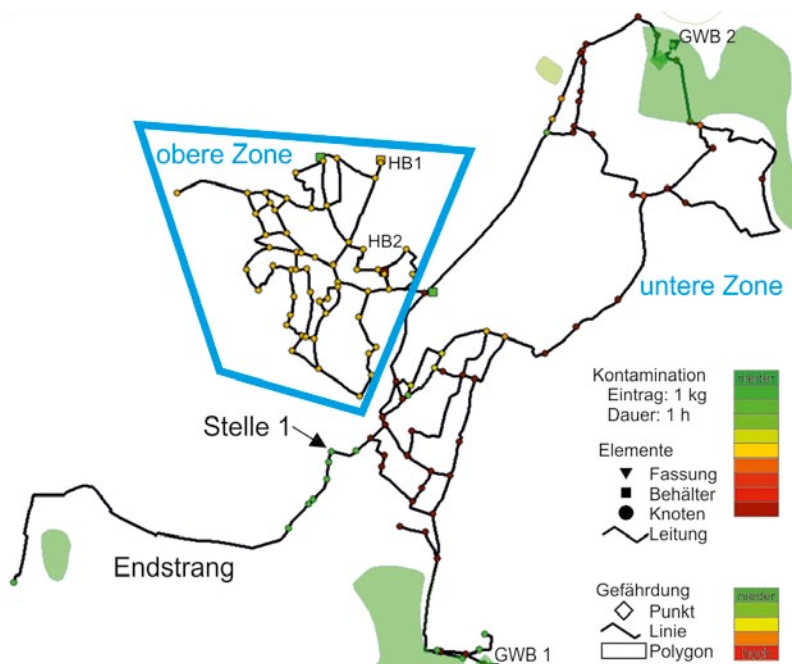


Bild 2. Vulnerabilitätskarte für die Errichtung von Schutzzonen.

2.5 Fallstudie

Für die nachfolgende Erläuterung der Methodik wurde eine einfach aufgebaute Wasserversorgungsanlage als Fallstudie verwendet. Dadurch können die Resultate leichter nachvollzogen und vermittelt werden. Es soll damit auch die Anwendbarkeit, insbesondere auch auf kleine Systeme, aufgezeigt werden. Die Methodik ist aber gleichermaßen auf komplexe Systeme mit vielen interagierenden Zonen anwendbar. Bei solchen Systemen trägt eine Analyse in dieser Form noch viel mehr zur Steigerung des Systemverständnisses bei und unterstützt dadurch die Sicherheits- und Notfallplanung.

Die Wasserversorgungsanlage der verwendeten alpinen Fallstudie versorgt etwa 3000 Personen in zwei Druckzonen (siehe **Bild 2**, obere und untere Zone). Die zwei Hochbehälter HB1 (300 m³) und HB2 (400 m³) dienen dem Tagesausgleich des durchschnittlichen Wasserverbrauchs von 450 m³ pro Tag und als Löschwasservorrat und werden mit den beiden Grundwasserbrunnen GWB1 und GWB2 befüllt (siehe **Bild 2**).

3. Resultate und Diskussion

Die im Kapitel Methoden beschriebenen Vulnerabilitätskarten werden innerhalb einer Fallstudie erstellt und ihre Anwendung getrennt für die Themenbereiche Sicherheits- und Notfallplanung (3.1 und 3.2) erläutert. Zusätzlich werden dabei die Vulnerabilitätskarten mit den GIS-basierten Gefährdungen verschnitten. Abschließend werden Risikokarten für a) Kontamination durch terroristische Akte und b) Unfällen mit gefährlichen Gütern unter dem Aspekt der Angreifbarkeit (3.3) erläutert.

3.1 Achilles-Ansatz und Wassersicherheitsplanung

Die Sicherheitsplanung wird mit der Vulnerabilitätskarte für Errichtung von Schutz-zonen und Frühwarnsysteme unterstützt. In **Bild 2** wird exemplarisch die Karte für die Errichtung von Schutz-zonen gezeigt. Für die Grundwasserbrunnen (GWB 1 und GWB 2) wurden mögliche Gefährdungen durch Kontaminationen als kritisch identifiziert (grüne Flächegefahr im Hintergrund dargestellt). Die vor Kontamination zu schützenden Elemente sind in dieser Karte jene Knoten, bei denen sich ein Stoffeintrag schnell und weit ausbreitet. Leitet man beispielsweise einen Stoff bei Stelle 1 ein, so kann er sich auf Grund der hydraulischen Verhältnisse nur in Richtung des Endstranges ausbreiten. Deshalb ist diese Stelle in Grün als verhältnismäßig unkritisch dargestellt. Der GWB 1 ist nicht nur potenziell gefährdet, sondern ist auch angreifbar, da von dort aus das gesamte System im Regelbetrieb versorgt wird. Diese Stelle birgt das höchste Risiko im Falle einer Kontamination. Eine Kontamination von der oberen Zone (blau umrandet), kann aufgrund der Systemanordnung nicht in die untere Zone gelangen.

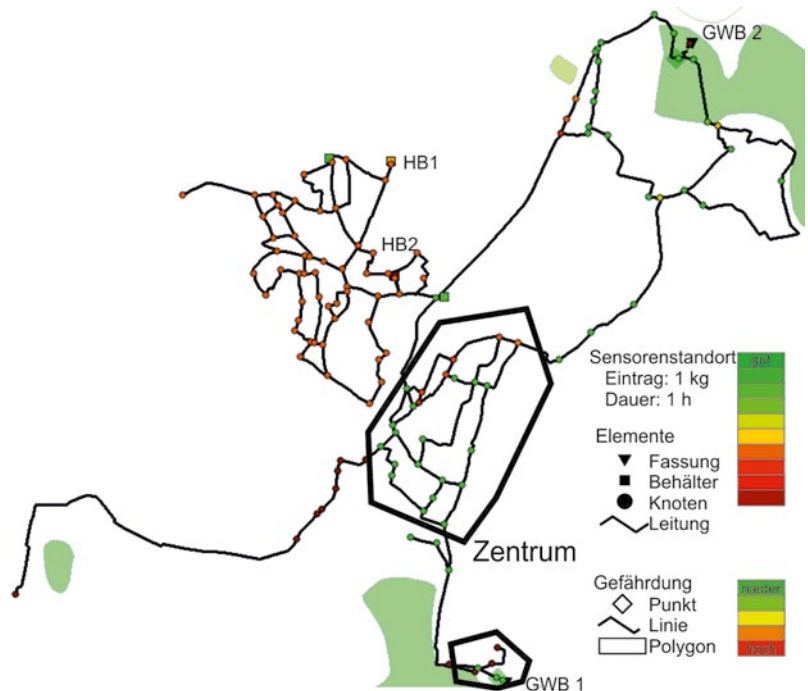


Bild 3. Vulnerabilitätskarte für die Errichtung eines Frühwarnsystems.

Eine Schutzzone für den GWB 1 ist daher besonders wichtig. Bei Rohrbrüchen im Zentrum (schwarz umrandet) der unteren Zone ist wegen des hohen Ausbreitungspotenzials besondere Vorsicht geboten. Baustellenbetreiber sollten dort besondere Auflagen einhalten müssen.

Im Folgenden wird die Hilfestellung, welche eine Karte für die Errichtung eines Frühwarnsystems bietet, dargestellt. Solch eine Karte unterstützt ebenso die Wassersicherheitsplanung. Sie zeigt Stellen, welche für die Platzierung eines Sensors besonders gut geeignet sind, da dort eine hohe Verbreitungswahrscheinlichkeit vorherrscht. Sensoren für ein Frühwarnsystem sollten im Zentrum (schwarz umrandet) in der unteren Zone und in der Nähe der Grundwasserbrunnen (GWB 1 und GWB 2) aufgestellt werden.

3.2 Achilles-Ansatz und Notfallplanung

Im Notfall ist eine Kontamination effizient zu beseitigen. Vulnerabilitätskarten zur Spüleignung und Desinfektion des Systems zeigen jene Knoten, welche für eine rasche und effiziente Spülung des Systems gut geeignet sind. Für das Netz der Fallstudie bietet sich der in **Bild 4** schwarz umrandete Bereich in der unteren Zone für eine erhöhte Entnahme zur Spülung des Systems an. Im Notfall sollen dort Hydranten für eine effiziente Beseitigung einer Kontamination geöffnet werden. Zusätzlich sollte aber auch, falls der Eintrittsort der Kontamination bekannt ist, dieser bei der Wahl der Knoten, für die Spülungen berücksichtigt werden.

Die Vulnerabilitätskarte für den Einsatz von Desinfektionsmittel zeigt mit grün symbolisierten Knoten, in

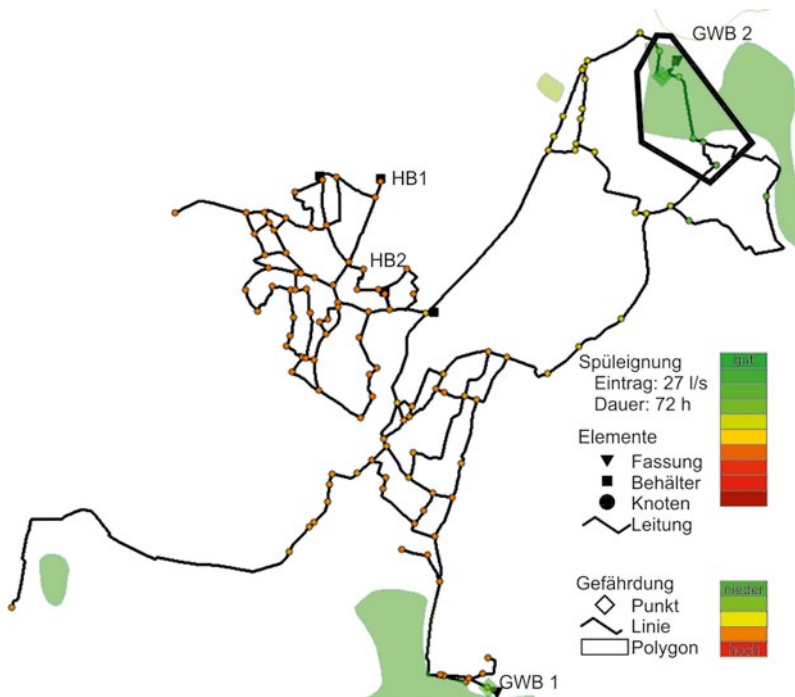


Bild 4. Vulnerabilitätskarte für die Spüleignung.

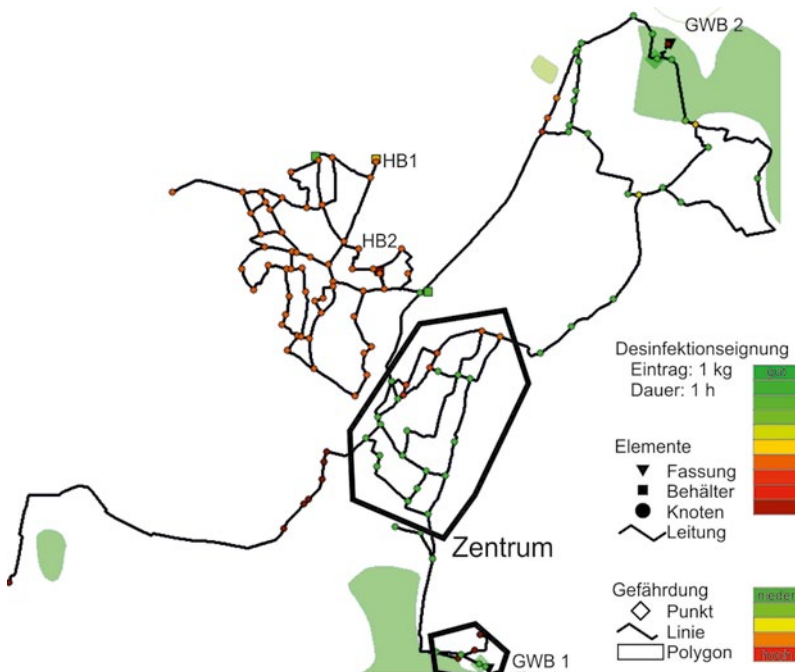


Bild 5. Vulnerabilitätskarte für die Desinfektion.

welchen Bereichen eine hohe Ausbreitung erreicht werden kann und welche sich daher für die Einleitung von Desinfektionsmitteln besonders gut eignen (**Bild 5**). Dabei handelt es sich um die Brunnenanlage GWB 1 und das Zentrum der unteren Zone. Beide Bereiche sind in **Bild 5** schwarz umrandet. Im Zentrum der unteren Zone ist auch der Verbrauch am höchsten. Durch richtige Wahl der Einleitstellen von Desinfektionsmittel könnte einem großen Teil der Bevölkerung rasch wieder Trinkwasser zur Verfügung gestellt werden.

Zusätzlich unterstützten die Interpretation der Vulnerabilitätskarte und die Ergebnisse von Einzelsimulationen die Ortung von Eintragungsstellen. Die Ursache, beziehungsweise der Eintragungsort, kann mittels Einschränkung der Optionen schneller erkannt und beseitigt werden.

3.3 Die Rolle der Angreifbarkeit von Elementen der Wasserversorgungsanlage

Die Angreifbarkeit spielt eine wichtige Rolle für das Risiko einer Kontamination. Für die Trinkwassergewinnung sind Schutzzonen seit Jahrzehnten gelebte Praxis, jedoch werden üblicherweise schützenswerte Systembereiche bei Leitungen außer Acht gelassen. Dieser Aspekt wird hier genauer analysiert. In **Bild 6** werden Risikokarten für Kontamination durch (1) Terror und (2) Unfall mit gefährlichen Gütern dargestellt. Durch eine solche Unterscheidung wird ersichtlich, dass die Größe der Risikobereiche stark von der Gefahrenquelle abhängt. Sind bei einem Unfall mit gefährlichen Gütern im Normalbetrieb nur Behälter und Quellen angreifbar, so ergeben sich für die Fallstudie nur zwei Behälter (HB1 und HB2) und der Grundwasserbrunnen GWB 1 als risikobehaftet. Hingegen besteht im gesamten System das Risiko für eine Kontamination durch einen terroristischen Akt, wobei aber die Auswirkungen (mögliche Ausbreitungen im System) unterschiedlich sind (siehe auch 3.1). Gegenmaßnahmen sollen deshalb unter Einbezug der Angreifbarkeit geplant werden.

4. Schlussfolgerungen

Obwohl die Trinkwasserversorgung von den Betreibern und der Behörde streng überwacht wird und der Stand der Technik ein sehr hohes Niveau erreicht hat, verringert eine optimierte Vorsorge- und Notfallplanung das Risiko für eine Kontamination. Im „Achilles-Ansatz“ wurden dafür Methoden entwickelt, welche die Planung von pro-aktiven Maßnahmen (Sicherheitsplanung), sowie die Planung von Vorgangsweisen im Notfall unterstützen. Diese Methoden wurden auch mit einer einfach nachvollziehbaren Fallstudie demonstriert.

Mit Vulnerabilitätskarten, welche die Ergebnisse der Methodik darstellen, können im Rahmen der Sicherheitsplanung Sensornetzwerke und Schutzmaßnahmen geplant werden. So wurde für die untersuchte Fallstudie das dicht besiedelte Gebiet im Zentrum sowie der Grundwasserbrunnen (GWB 1) als vulnerabel für Kontaminationen identifiziert. Bei komplexen Systemen können mit der Methodik zonenübergreifend Ausbreitungspotenziale festgestellt werden. Die Mischung unterschiedlicher Wässer wird dabei ebenso berücksichtigt. Die Vulnerabilitätskarten für die Notfallplanung können für die Planung von Spülungen und Desinfektion nach einer Kontamination herangezogen werden. Ideale Entnahmestellen für Spülungen und Einleitstellen für Desinfektionsmittel können damit identifiziert werden.

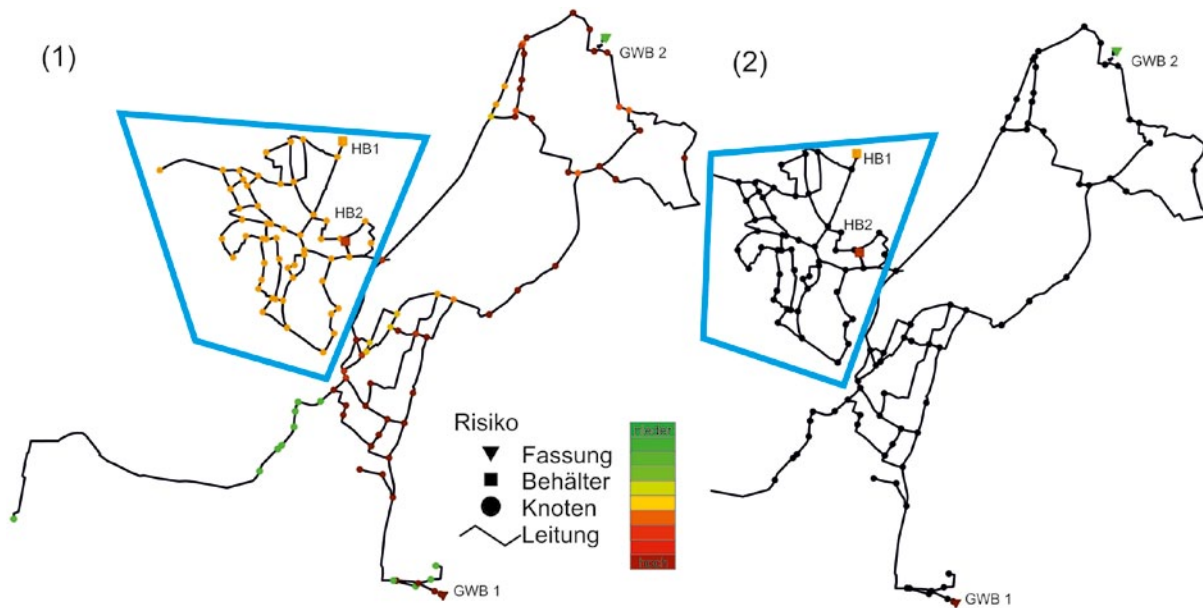


Bild 6. Risiko-karten für Kontamination durch (1) Terror und (2) Unfall mit gefährlichen Gütern.

Die hier vorgestellte Matrix für die Angreifbarkeit unterstützt eine Risikoanalyse für unterschiedliche Bedrohungsszenarien. Vergleiche zwischen unterschiedlichen Gefahrenquellen zeigten, dass risikoreiche Gebiete voneinander (zumindest teilweise) stark abweichen. Damit wurde gezeigt, dass die Vernachlässigung der Angreifbarkeit zu signifikanten Unsicherheiten führen kann.

Es wurde hier keine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt, sondern nur Wege aufgezeigt, wie in den überwiegenden Fällen der präsentierten Vorgehensweisen nur durch Vorsorge- und Störfallplanung das Risiko einer Kontamination verringert werden kann. Hingegen ist die Implementierung eines Frühwarnsystems mittels Online-Messungen sicherlich eine kostenintensive Maßnahme. Die Festlegung des Sicherheitsniveaus in der Wasserversorgung, wird nicht eine wirtschaftliche, sondern eine politische Entscheidung sein. In den Vereinigten Staaten zeigt sich schon seit mehreren Jahren eine sehr hohe mit öffentlichen Mitteln geförderte Forschungsaktivität für die Entwicklung von Frühwarnsystemen, woraus sich zumindest dort ein politischer Wille ableiten lässt.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) in der Programmlinie 3 des Themenprogramms „KIRAS Sicherheitsforschung“ finanziell geförderte Achilles-Projekt (FFG-Projektnummer: 824682) ermöglicht. Ein besonderer Dank gilt allen Projektpartnern, welche stets mit Rat, Daten und technischer Ausstattung zum Erfolg beigetragen haben.

Literatur

- [1] Kelman, I.: Defining Risk. In: FloodRiskNet Newsletter, 2, (2003).

- [2] UN DHA: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management. UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs), Geneva 1992.
- [3] Haines, Y.Y.: On the definition of vulnerabilities in measuring risks to infrastructures. In: Risk Analysis 26 (2006), No. 2.
- [4] Ezell, B.C.: Infrastructure vulnerability assessment model (I-VAM). In: Risk Analysis 27 (2007) No. 3.
- [5] Sitzenfrei, R., Mair, M., Kinzel, H., Möderl, M. und Rauch, W.: Kaskadenvulnerabilität kritischer Wasserinfrastruktur. In: energie|wasser-praxis, Lesam Spezial) (2011).
- [6] Möderl, M., Lammel, J., Apperl, M. und Rauch, W.: Entwässerungssicherheitspläne. In: energie|wasser-praxis, Lesam Spezial) (2011).
- [7] Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A. and Schiller, A.: A framework for vulnerability analysis in sustainability science. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100 (2003) No. 14.
- [8] Rheinberger, C.M., Brundl, M. and Rhyner, J.: Dealing with the White Death: Avalanche Risk Management for Traffic Routes. In: Risk Analysis 29 (2009) No. 1.
- [9] Goda, K. and Ren, J.D.: Assessment of Seismic Loss Dependence Using Copula. In: Risk Analysis 30 (2010) No. 7.
- [10] Bonachea, J., Remondo, J., de Teran, J.R.D., Gonzalez-Diez, A. and Cendrero, A.: Landslide Risk Models for Decision Making. In: Risk Analysis 29 (2009) No. 11.
- [11] Chen, Y., Xu, Y. and Yin, Y.: Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoqi basin, China. In: Quaternary International 208 (2009).
- [12] Crichton, D.: The Risk Triangle. In: Natural Disaster Management, J. ed.(1999).
- [13] Möderl, M., Sitzenfrei, R., Hellbach, C., Lammel, J. and Rauch, W.: The role of exposure in risk analysis for critical water infrastructure. In: World Environmental & Water Resources Congress, Palm Springs, California, 22.–26.May (2011).
- [14] Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., Deere, D. and Bartram, J.: Water safety plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer, WHO/SDE/WSH/05.06, Geneva, Switzerland 2005.

- [15] *Hein, A., Maelzer, A. and Borchers, U.*: Water safety plans: Prevention and management of technical and operative risks in the water industry. In: Special Publications of the Royal Society of Chemistry 302 (2006).
- [16] *Byleveld, P.M., Deere, D. and Davison, A.*: Water safety plans: planning for adverse events and communicating with consumers. In: Journal of Water and Health 6 (S1) (2008).
- [17] *Rauch, W.*: Anwendung des HACCP Konzepts zum Schutz eines Trinkwasserbrunnens. gwf-Wasser|Abwasser 150 (2009) Nr. 7/8, S. 556–563.
- [18] ÖVGW W 88: Anleitung zur Einführung eines einfachen Wassersicherheitsplanes. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Wien 2008.
- [19] ÖVGW W 74: Trinkwassernetzversorgung – Krisenvorsorgeplan in der Wasserversorgung. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Wien 2006.
- [20] BGBl 304: Trinkwasserverordnung – TWV (Fassung vom 13.07.2010), P. b. b. Verlagspostamt, Wien 2001.
- [21] *Möderl, M. and Rauch, W.*: Spatial risk assessment for critical network infrastructure using sensitivity analysis. In: Frontiers of Earth Science 5 (2011) No. 4.
- [22] *Hall, J., Zaffiro, A. D., Marx, R., Kefauver, P. C., Radha Krishnan, E., Hought, R. C. and Herrmann, J. G.*: Online water quality parameters : as indicators of distribution system contamination. In: American Water Works Association, Denver, CO, ETATS-UNIS 2007.
- [23] *Khanal, N., Buchberger, S. G. and McKenna, S. A.*: Distribution system contamination events: Exposure, influence, and sensitivity. In: Journal of Water Resources Planning and Management-Asce 132 (2006) No. 4.
- [24] *Ostfeld, A., Uber, J.G., Salomons, E., Berry, J. W., Hart, W. E., Phillips, C. A., Watson, J. P., Dorini, G., Jonkergouw, P., Kapelan, Z., di Pierro, F., Khu, S. T., Savic, D., Eliades, D., Polycarpou, M., Ghimire, S. R., Barkdoll, B. D., Gueli, R., Huang, J. J., McBean, E. A., James, W., Krause, A., Leskovec, J., Isovitsch, S., Xu, J. H., Guest-rin, C., VanBriesen, J., Small, M., Fischbeck, P., Preis, A., Propato, M., Piller, O., Trachtman, G. B., Wu, Z. Y. and Walski, T.*: The Battle of the Water Sensor Networks (BWSN): A Design Challenge for Engineers and Algorithms. In: Journal of Water Resources Planning and Management-Asce 134 (2008) No. 6.
- [25] *Hart, W.E. and Murray, R.*: Review of Sensor Placement Strategies for Contamination Warning Systems in Drinking Water Distribution Systems. In: Journal of Water Resources Planning and Management-Asce 136 (2010) No. 6.

Eingereicht: 06.03.2012
 Korrektur: 21.07.2012
 Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

Autoren

Dipl.-Ing. Dr. techn. **Michael Möderl**
 (Korrespondenz Autor) |
 E-Mail: moederl@hydro-IT.com |
 hydro-IT GmbH |
 Technikerstrasse 13 | A-6020 Innsbruck

Dipl.-Ing. Dr. techn. **Robert Sitzenfrei**
 Univ.-Prof. DI Dr. **Wolfgang Rauch**
 Institut für Infrastruktur |
 Universität Innsbruck |
 Technikerstrasse 13 | A-6020 Innsbruck