Schlussbericht

Vorhabensbeschreibung:

Onlinefähige Trinkwasserüberwachung auf Grundlage eines biologischen Breitbandsensors mit automatischer Bilderkennung (AQUABIOTOX)

Teilvorhabensthema:

Grundlegende Untersuchungen zum Einsatz eines automatischen Online-Sensorsystems zur Überwachung der Trinkwasserqualität

Förderkennzeichen: 13N9537
Laufzeit des Vorhabens:
01.12.2007 – 31.11.2010

für:
Projektträger VDI
Herrn Dr. Heugen
Düsseldorf

bearbeitet von:
Dipl. Ing. Jens Feddern
Dipl. Ing. Fereshte Sedehizade
Berliner Wasserbetriebe
Cicerostr. 24
10709 Berlin

Mai 2011

Schlussbericht

ZE: Berliner Wasserbetriebe Förderkennzeichen: **13N9537**

Vorhabensbezeichnung: AQUABIOTOX

Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2007 bis 31.11.2010

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung 3

1. Aufgabenstellung 3

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 3

3. Planung und Ablauf des Vorhabens 4

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere 5
- Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Verfahrens benutzt wurden,
- Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie die benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6

II. Eingehende Darstellung 7

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele, 8

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 37

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 38

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 39

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen, 40

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 40

Anlage: Ergebnisse eines der praktischen Versuche

Schlussbericht

ZE: Berliner Wasserbetriebe Förderkennzeichen: **13N9537**

Vorhabensbezeichnung: AQUABIOTOX

Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2007 bis 31.11.2010

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Erarbeitung der Grundlagen für einen Breitbandsensors zur Online-Überwachung der Trinkwasserqualität und zeitnahen Erkennung von Gesundheitsbedrohenden Kontaminationen im Trinkwasser.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bislang wird die Trinkwasserqualität mittels klassischer Probenahmen und Labormethoden untersucht, die bis zu 48 Stunden dauern. Diese Methoden untersuchen zwar ein breites aber auch nur ein bestimmtes Spektrum an Inhaltstoffen. Die Trinkwasserversorgungsnetze gelten als nicht vollständig überwachbar.

In Berlin werden am Ausgang jedes Wasserwerkes einige Leitparameter (pH, Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur und Redoxpotential sowie die Trübung) des Trinkwassers durch Online-Messung überwacht. Bei Änderung dieser Parameter (Überschreitung der zulässigen Grenzwerte) wird ein Alarm ausgelöst. Es gibt jedoch Substanzen und gesundheitsgefährdende Stoffe, die keine Auswirkung auf diese Leitparameter haben und somit nicht erkannt werden.

Zusätzlich gibt es 255.000 Hausanschlüsse sowie jährlich über 700 Baumaßnahmen, bei denen die Möglichkeit einer beabsichtigten und unbeabsichtigten Kontamination des Trinkwassers besteht.
Diese Ausgangslage macht eine „zeitnahe“ Überwachung der Trinkwasserqualität erforderlich.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundvorhaben startete im Dezember 2007 mit folgenden Projektpartnern:

- **Berliner Wasserbetriebe;**
  Organisationseinheit Wasserversorgung
- **Fraunhofer Gesellschaft;**
  Institute für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik
- **Fraunhofer Gesellschaft;**
  Institute für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung
- **Firma bbe- Moldaenke GmbH;**
  biological biophysical engineering (bbe)

Die Arbeitspakete des Vorhabens lauteten:

AP1: Erarbeitung eines Anforderungsprofils für den biologischen Breitbandsensor (Koordination: IGB, Mitarbeit: IOSB, bbe, BWB)

AP2: Bioverfahrenstechnische Auslegung und Erprobung unter Laborbedingungen (Koordination: IGB, Mitarbeit: IOSB, bbe)

AP3: Erarbeitung eines Automatisierungskonzeptes für das biologische Verfahren (Koordination: IOSB, Mitarbeit: IGB, bbe)

AP4: Online-Prozessdiagnose mit automatischer Bildauswertung (Koordination: IOSB, Mitarbeit: IGB, bbe)

AP5: Erweiterte Online-Prozessdiagnose durch Fusion von Prozesssensorik und bildgebender Sensorik (Koordination: IOSB, Mitarbeit: IGB, bbe)

AP6: Aufbau einer Versuchsanlage für den AquaBioTox-Sensors (Koordination: BWB, Mitarbeit: IOSB, IGB, bbe)

AP7: Erprobung des AquaBioTox-Sensors im Anwenderumfeld (Koordination: BWB, Mitarbeit: IOSB, IGB, bbe)

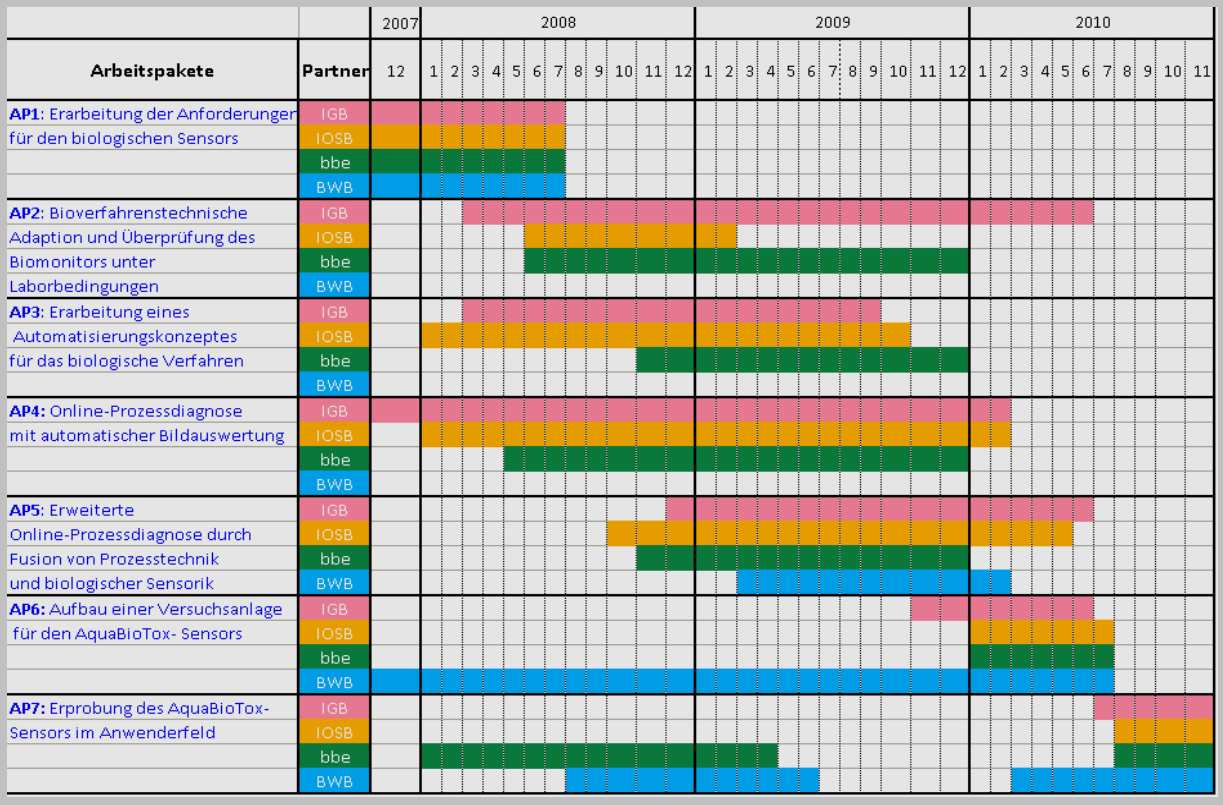

Bild 1: zeitlicher Ablauf während der Projektlaufzeit

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den geknüpft wurde insbesondere:

- **Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Verfahrens benutzt wurden.**

Zur „zeitnahen“ Überwachung der Unbedenklichkeit der Trinkwasserqualität werden heute zum einen die physikalisch/chemischen Leitparametern des Trinkwassers wie z. B. die Temperatur, der pH- Wert, die Leitfähigkeit, der Sauerstoffgehalt, das Redoxpotential und die Trübung gemessen und zum anderen Bio-Sensoren wie z. B. Fische, Wasserflöhe oder Muscheln als „Vorkoster“ eingesetzt. Die Bio-Sensoren werden allerdings vorwiegend in Seen und Flüssen eingesetzt, die als Ressourcen für die Trinkwassergewinnung genutzt werden und nicht direkt im Medium Trinkwasser. Dort finden diese Organismen die lebenserhaltenden Voraussetzungen wie die Temperatur und Nährstoffvorrat. Für deren Einsatz in Trinkwassernetzen

müssen sie an die Bedingungen (niedrige Temperaturen und keine Nährstoffe) angepasst werden. Weitere Parameter wie freies Chlor und total organic carbon (TOC) werden ebenfalls zur Online-Überwachung des Trinkwassers gemessen.

- **Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie die benutzte Informations- und Dokumentationsdienste**

EPA: Environmental Protection Agency (USA); Homeland Security Resaerch

TechnEAU: Technology Enabled Universal access to Safe Water

IFAT: International FAir Trade; Messe für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zusätzlich zu den o. g. Projektpartnern wurde mit dem Labor der Berliner Wasserbetriebe zusammengearbeitet. Diese waren für die Untersuchung der Probenahmen, die Überprüfung der Eignung der Teststrecke sowie für die Bestätigung der Ergebnisse der praktischen Tests zuständig.

Weitere Bereiche der Berliner Wasserbetriebe wie Mess- und Regelungstechnik, die Werkstatt sowie die Abteilung Bau und Betrieb des Trinkwassernetzes waren am Umbau, der Wartung und der Instandhaltung der Versuchsstrecke und den dort eingebauten Geräten, Sensoren und weiteren Anlagen beteiligt.

II. Eingehende Darstellung

Das Gesamtsystem von AquaBioTox ist im unteren Bild als Überblick dargestellt. Die Bestandteile des Systems wurden von den beteiligten Projektpartnern erarbeitet.

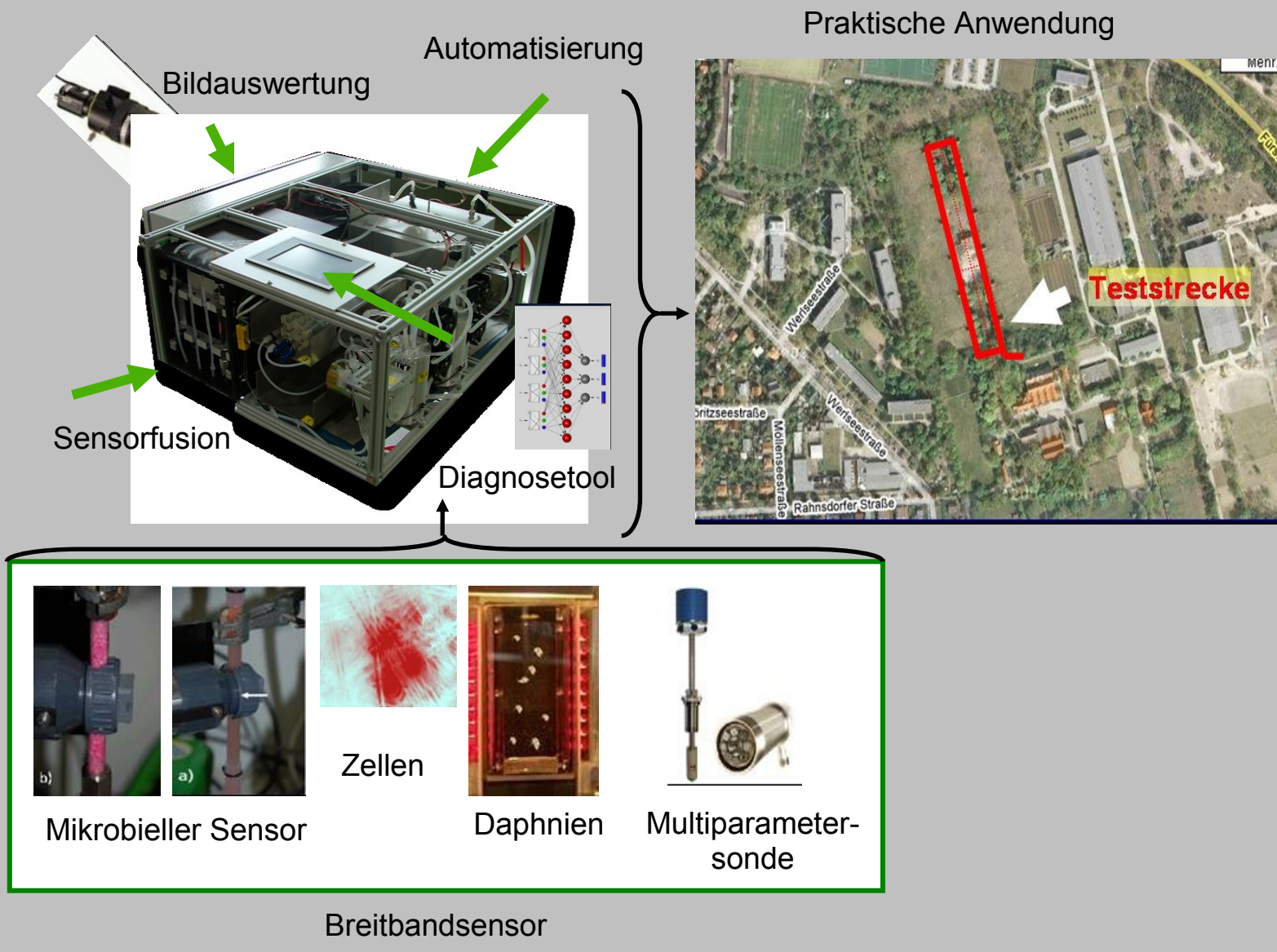

Bild 2: Gesamtsystem AquaBioTox

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,

Die Berliner Wasserbetriebe waren als Anwender und Koordinator des Projektes an die Bearbeitung von allen Arbeitspaketen jedoch hauptsächlich AP1, AP3, AP5, AP6 und AP7 beteiligt. Die Ergebnisse und die Arbeiten der einzelnen Arbeitspakete und das Gesamtvorhaben werden im Folgenden erläutert:

AP1: Erarbeitung eines Anforderungsprofils für den biologischen Breitbandsensor

Das Ziel des Arbeitspaketes war, ein Anforderungsprofil für den Breitbandsensor zu erarbeiten. Das umfasste die Gesichtspunkte der praktischen Anwendung des Breitbandsensors ebenso wie die technisch/ wissenschaftlicher Sicht.

Danach wurden folgende Anforderungen festgelegt:

Anforderungen an den Breitbandsensor aus wissenschaftlich/technischer Sicht :

- hohe Sensibilität gegenüber einem breitem Spektrum an gesundheitsgefährdenden Substanzen
- Kombinationsfähigkeit mit weiteren Sensoren
- zeitnahe Reaktion auf eine Schädigung
- Stabilität der Funktionsfähigkeit des Biosensors für Langzeitanwendung

Anforderungen aus Sicht des Anwenders:

- **Diagnosesicherheit:** Robust gegen Fehlalarm
- **Zuverlässigkeit:** technische Störungen im System oder Ablaufprobleme dürfen keine Alarme auslösen, sondern nur Meldungen an das betreuende Personal
- **Wartungsaufwand:** durch Automatisierung der Prozesse ist der Wartungsaufwand auf ein Minimum zu reduzieren

Zur Überprüfung dieser Anforderungen wurden die Kriterien für die Messungen und für die zu testenden Stoffgruppen festgelegt.

Die Kriterien z. B. für die Diagnosesicherheit lauten:

- Kein Alarm im Normalfall
- Kein Alarm bei technischen Störungen

Jedes Trinkwasser hat abhängig von seiner Herkunft (Grund- oder Oberflächenwasser) eine bestimmte physikalische, chemische oder biologische Zusammensetzung. In der Trinkwasserverordnung TVO (gesetzliche Regelung der Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch) sind alle entscheidenden Parameter durch Vorgabe von Grenzwerten geregelt.
Die Sensoren dürfen bei Werten unterhalb dieser Grenzen keinen Alarm melden. Der Normalbereich der Parameter ist daher zu berücksichtigen, um eine Alarmmeldung zu vermeiden.

Auswahl der potentiellen Stoffgruppen als Testsubstanzen

Für die Auswahl der Stoffgruppen zum Testen der Sensibilität der Sensoren wurde sowohl internationale Literaturrecherche als auch die Liste der gefährlichen Stoffe herangezogen, die von BWB mit dem Senat für das Krisenmanagement erarbeitet war.
Die Stoffgruppen sind in Schwermetalle, organische Substanzen, Pestizide, biologische Toxine, mikrobieller Toxine, Antibiotika, endokrin wirksame Stoffe und chemischen Kampfstoffen unterteilt.
Aus diesen Stoffen sind ebenfalls mit Hilfe einer Bewertungsmatrix folgende Stoffe zum Testen des Biosensors repräsentativ ausgewählt.
Als Kriterien wurden in der Matrix die Löslichkeit der Stoffe, deren Konzentrationen, die erforderlichen Mengen für eine Gesundheitsgefährdung (letale Dosis) sowie die Verfügbarkeit berücksichtigt.

- Organische Gifte: Aldehyde, Alkohole
- Schwermetalle: Eisen, Kupfer
- Toxische Naturstoffe: Ricin, Botulinum und Curcin

AP2: Bioverfahrenstechnische Auslegung und Erprobung unter Laborbedingungen (Koordination: IGB, Mitarbeit: IOSB, bbe)

Für den Nachweis der Funktionsfähigkeit und der Sensibilität der mikrobiellen Sensoren sollten nicht nur deren Reaktion auf die ausgewählten Substanzen gemessen werden, viel mehr sollte auf Anforderung des Anwenders der Nachweis erbracht werden, dass sie keine Reaktion auf die normalen Parameter des Trinkwassers sowie deren Schwankung innerhalb der erlaubten Grenzwerte zeigen und dabei zu Fehlalarmen führen.
Dafür wurden Stoffe und Substanzen und ihre jeweiligen Grenzwerte aus der Trinkwasserverordnung abgestimmt, die am IGB untersucht werden sollten.

Vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Substanzen, die in der Trinkwasserverordnung relevant sind, wurden zunächst im Screeningsystem (Mikrotiterplattensystem) durchgeführt. An einigen Beispielen konnte bereits die Überprüfung im Reaktionssystem erfolgen. So wurde z. B. nachgewiesen, dass $NiCl_2$ die Fluoreszenzintensität des mikrobiellen Sensors nicht beeinflusste.

AP3: Erarbeitung eines Automatisierungskonzeptes für das biologische Verfahren (Koordination: IOSB, Mitarbeit: IGB, bbe)

Für die Konzeption des Demonstrators wurden seitens des Anwenders die Randbedingungen und Vorgaben formuliert, welche hinsichtlich der Sicherung der Trinkwasseranlagen zu berücksichtigen und einzuhalten sind. Dies betrifft z. B. den Anschluss des Trinkwassers zum Zulauf zu den Behältern mit den mikrobiellen Sensoren. Dort ist ein eventuelles Rückwachsen der Bakterien in die Trinkwasserleitung auszuschließen. Technisch wurde diese Auflage durch Einhalten eines Luftpolsters (Abstand von 5-10 cm zwischen dem Trinkwasseranschluss und dem Einlauf in den Reaktor) umgesetzt.

Bild 3: Vorrichtung zur Vermeidung des direkten Kontaktes der Mikroorganismen zum Trinkwasser

AP5: Erweiterte Online-Prozessdiagnose durch Fusion von Prozess- und bildgebender Sensorik

Jedes Trinkwasser hat abhängig von seiner Herkunft (Grundwasser oder Oberflächenwasser) unterschiedliche Eigenschaften und Inhaltstoffe. Grenzwerte und zulässige Abweichungen dieser Inhaltsstoffe und Parameter sind im Rahmen der Trinkwasserverordnung geregelt.
Für die zuverlässige Diagnose einer Alarmsituation müssen die Signale beim Eintritt einer Gefahrensituation eindeutig sein. Dies bedeutet im Rückkehrschluss, dass alle Abweichungen der Parameter und der Messergebnisse in normalen bzw. unbedenklichen Situationen bekannt sind.

Ein Teil des Arbeitspaketes AP5 beschäftigte sich deshalb mit der Auswertung von Langzeitdaten der chemisch/physikalische Parameter des Berliner Trinkwassers. Das Ziel der Datenauswertung ist die Erkennung der Normalsituation (Gutdaten) bzw. der Gefahrensituation.
Das bei IOSB erarbeitete neuronale Modell soll für die Festlegung des Alarmbereichs die Normalwerte sowie die Streuung der Parameter erkennen bzw. von bedenklichen Wertebereichen unterscheiden. Zuvor musste das Modell auf die Daten und die Streuung der Parameter angepasst werden.

Hierfür wurden historisch erfasste physikalisch/chemische Parameter des Trinkwassers (Temperatur, Trübung, Farbe, pH-Wert, gelöster Sauerstoff, Leitfähigkeit, Redoxpotential) aus allen Wasserwerken in Berlin gesammelt und mit dem Modell ausgewertet.

Zusätzlich wurde geprüft, ob zwischen den ausgewählten Parameter eine Korrelation besteht. Diese Überprüfung war für die Auswahl der Parameter von Bedeutung. Korrelieren zwei oder mehr Parameter sehr stark, ist die Auswertung von nur einem der Parameter für die Erkennung der Gefahrensituation ausreichend.
Im Anschluss erfolgte eine Feinabstimmung für die Erkennung der Ausreißer. Diese wurden dann herausgelöst und im Einzelfall geprüft, ob sie beim Eintreten eine Gefahrensituation dargestellt haben.
Nach der Überprüfung musste festgestellt werden, dass sämtliche ausgewiesene Fälle mit der Kalibrierung oder dem Austausch der Sonden im Zusammenhang standen.

AP6: Aufbau einer Versuchsanlage für den AquaBioTox-Sensor

Ziel des Arbeitpaktes war, eine Versuchsanlage für die Durchführung der praktischen Tests aufzubauen. An dieser sollte die Funktionsfähigkeit, Stabilität und Praxistauglichkeit sowie auch die Bedienung des Breitbandsensors unter Praxisbedingungen getestet werden.

Anforderungen an die Versuchsanlage:

Für die Auswahl der Versuchsanlage wurden die Anforderungen und Randbedingungen in Abstimmung mit den Projektpartnern, mit den beteiligten Bereichen der Berliner Wasserbetriebe für die Trinkwassersicherheit sowie mit dem Landesgesundheitsamt Berlin (LAGeSo) festgelegt.

Die allgemeine Anforderung lautet: die Versuchsanlage muss den Bedingungen eines üblichen und realen Trinkwasserversorgungsnetzes entsprechen. Sie muss außerdem alle Randbedingungen für die Durchführung der Testabläufe erfüllen.

Es soll also sichergestellt sein, dass der Breitbandsensor unter gleichen Rahmenbedingungen getestet wird, wie bei dem späteren praktischen Einsatz.

Einige Kenndaten für die in Berlin und Deutschland üblichen Trinkwasserverteilungsnetze hinsichtlich Material und Alter sind:

- **Materialien:** Duktiler Grauguss (GGG); Grauguss (GG) oder Stahl (St)
- **Alter:** zwischen 50 bis 60 Jahre

Einige Randbedingungen für die Durchführung der Testabläufe bezüglich der Länge, Lage sowie der umwelttechnischen Auflagen:

- Die Länge der Leitungsstrecke soll die Möglichkeit bieten, die Funktionsfähigkeit des Breitbandsensors unter verschiedenen Bedingungen zu testen. Z. B. die Konzentrationsänderung der eingebrachten Stoffe in die Rohrleitung, deren Vermischung mit Trinkwasser oder Beeinflussung der Stoffe durch den Biofilm nach einer bestimmten Einwirkzeit.

- Die Teststrecke darf nicht öffentlich zugänglich sein.

- Sie muss vom bestehenden Trinkwassernetz abgetrennt sein, damit bei einem eventuellen Rohrbruch oder eines Druckabfalls das Rückfließen des Wassers aus der Teststrecke in das Trinkwassernetz und ggf. Kontamination desselben verhindert wird.

- Die Möglichkeit für das Anschließen von einzelnen Sensoren, einer Kombination der Sensoren sowie für eine Dosierpumpe muss vorhanden sein.

- Aufgrund umwelttechnischer Auflagen muss der Ablauf der Teststrecke in einen Schmutzwasserkanal erfolgen.

Die Versuchsanlage:

Auf dem Gelände des Wasserwerkes Friedrichshagen im Südosten von Berlin wurde eine solche Leitungsstrecke ausgewählt, die diese Vorraussetzungen erfüllt.
Die Leitungsstrecke ist ca. 600 m lang und wurde um das Jahr 1900 gebaut. Die Dimension der Leitung beträgt 150 mm (DN 150) und das Rohrmaterial besteht aus Grauguss (GG). Sie wurde zur Reinigung der damaligen Sandfilter und zur Befüllung von Filteranlagen genutzt. Die Leitungsstrecke wurde im Jahr 1999 nach der Errichtung der neuen Filteranlagen stillgelegt.
Alle Merkmale (Material, Alter, Nutzung und Fließverhältnisse wie Druck und Durchfluss) der Versuchsstrecke entsprechen einer normalen Trinkwasserleitung und sind demnach repräsentativ für Trinkwasserversorgungsnetze in Berlin und in Deutschland.
Die Länge von 600 m erlaubt zudem die Durchführung von verschiedenen Szenarien.

Vorbereitung und Umbau der Versuchsanlage:

Zunächst wurde die stillgelegte Leitungsstrecke an das Trinkwasserversorgungsnetz angeschlossen und mit dem üblichen Druck beaufschlagt. Dies war erforderlich, um die Funktionsfähigkeit und die Dichtheit der stillgelegten Leitung zu überprüfen und ggf. wiederherzustellen. Anschließend wurde die Leitungsstrecke gespült und es wurden Proben aus dem Wasser in der Rohrleitung entnommen. Die Proben wurden nach biologischen, chemischen und physikalischen Parametern, die in der Trinkwasserverordnung vorgeschrieben sind, untersucht. Damit konnte die Eignung der Leitungsstrecke aus der Sicht der Trinkwasserverordnung für die Durchführung der Versuche geprüft und nachgewiesen werden.
Das Programm für die Probeentnahmen wurde vom Labor der Berliner Wasserbetriebe aufgestellt und die Untersuchung der Parameter durchgeführt.
Gleichzeitig wurde ein Rohrstück aus der Leitungsstrecke ausgeschnitten, um den Biofilm und die Zusammensetzung der vorhandenen Inkrustation zu untersuchen. Diese Untersuchungen waren für die Festlegung der Anfangsbedingungen für die späteren Praxistests erforderlich.

Bild 4: Rohrausschnitt aus der Teststrecke

Zusätzlich wurden folgende Daten ermittelt:

- die Dicke der Inkrustation an der Rohrinnenwand; die verbleibende Dimension ist die Grundlage für die Berechnung der Fließgeschwindigkeit im Rohr

- chemische und biologische Zusammensetzung der Inkrustation (Ablagerungen und Biofilm), um den Einfluss der Bestandteile auf den Ablauf den Versuchen einschätzen zu können.

Der biologische Anteil der gesamten Inkrustation beträgt laut Untersuchungsergebnisse max. 13%.

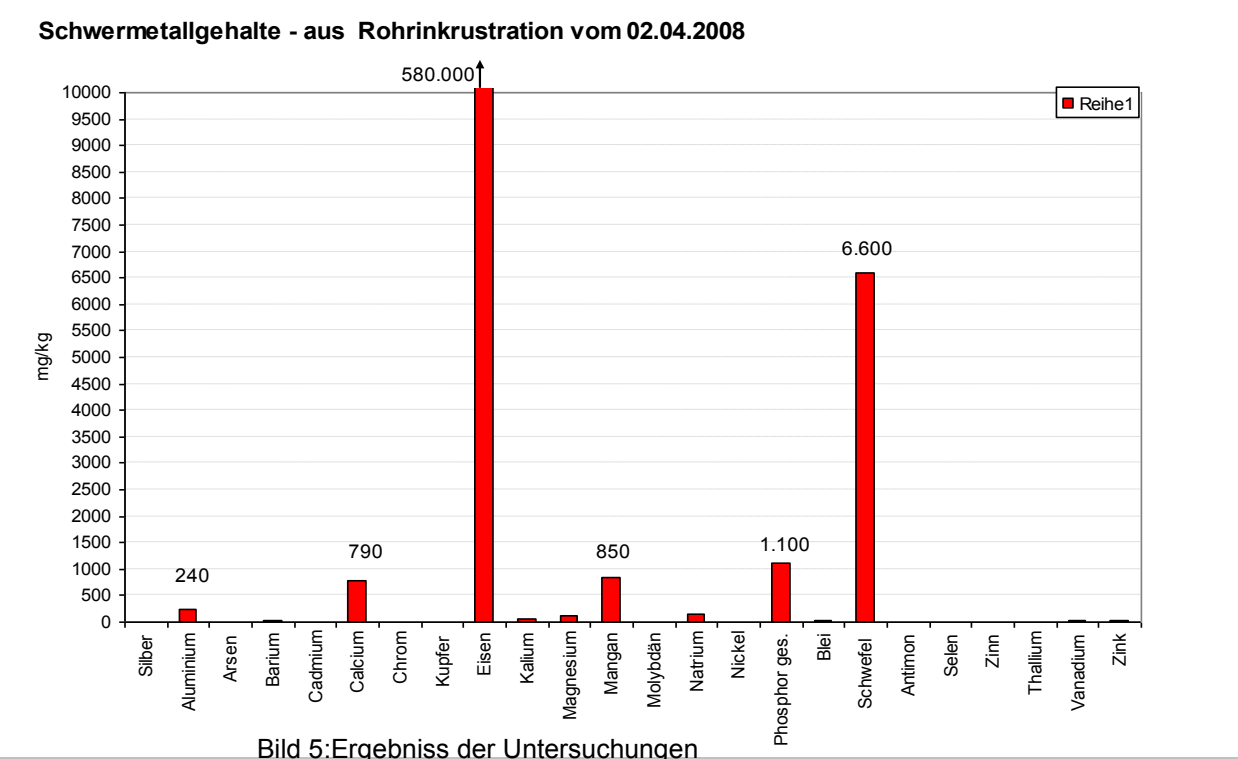

Bild 5:Ergebniss der Untersuchungen

Nach Beendigung der Vorbereitungsmaßnahmen und Vorliegen der Laborergebnisse stand die Auswahl der Versuchsanlage fest. Eine Entwurfsskizze wurde angefertigt; diese diente als Grundlage für die Abstimmung der Anforderungen an die Versuchsabläufe mit den Projektpartnern und für die interne Abstimmung bezüglich der umwelt- und sicherheitstechnischen Fragen.

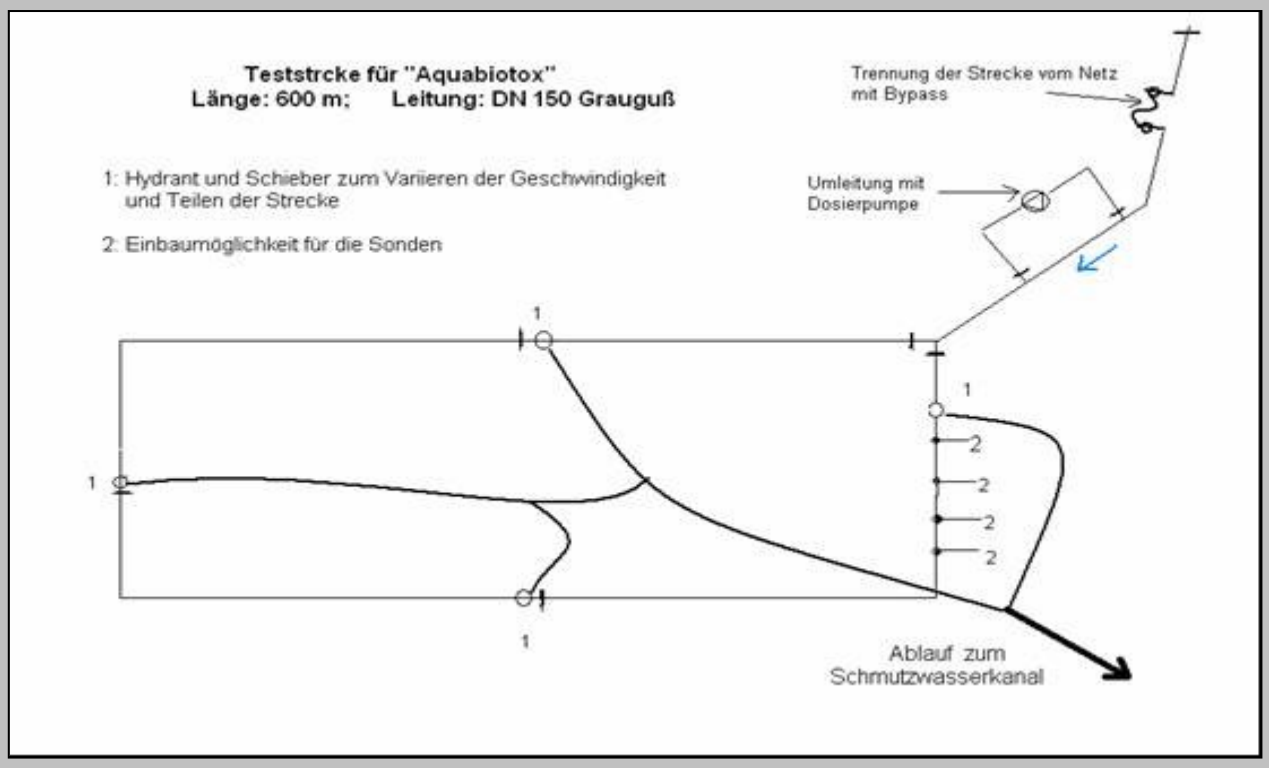

Bild 6: Ergebnisse der Untersuchungen

Die Versuchsanlage besteht aus einem Leitungsstrang aus Grauguss mit dem Durchmesser 150 mm (DN 150), der durch eine Leitung (DN 200) an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen ist. Die Seitenlängen des Leitungsstrangs betragen ca. 250 m bzw. ca. 50 m.

Dieser ringförmige Leitungsstrang wurde am Anschluss zur Trinkwasserversorgung physikalisch abgetrennt, damit eine eventuelle Kontamination des Trinkwassers aus der Versuchsanlage ausgeschlossen ist. Es wurde ein Rohrstück ausgeschnitten und Versorgung der Versuchsstrecke mit Trinkwasser wurden zwei Hydranten und Standrohren eingebaut.

Um verschiedene Verbrauchsverhalten zu simulieren, wurden weitere 4 Hydranten und Schieber an ausgewählten Stellen (1 im Bild 5) der Teststrecke eingebaut. Je nach Verbrauchsmenge ändern sich die Fließgeschwindigkeiten, ggf. die Strömungsrichtung und somit die Aufenthaltszeiten des Trinkwassers in der Rohrleitung.

Durch das Einstellen von verschiedenen Öffnungsgraden an den Standrohren und den Hydranten (geschlossen bis vollständig offen) können unterschiedliche Verbrauchsmengen und damit verschiedene Fließgeschwindigkeiten variiert und simuliert werden.
Mit Öffnen und Schließen von eingebauten Schiebern und/oder Schieberkombinationen können weitere Bedingungen zum Testen der Reaktionsfähigkeit von Sensoren eingestellt werden. Zum Beispiel führte das Absperren der langen Strecke dazu, dass die injizierten Stoffe direkt oder nach kurzer Zeit an den Sensoren ankommen. Im anderen Fall fließt der injizierte Stoff durch die gesamte Strecke; durch die Vermischung mit dem Wasser verändert sich die Konzentration des injizierten Stoffes. Zu dem kann die eventuelle Beeinflussung durch den Biofilm an der Rohrinnenwand berücksichtigt werden.

Für den Einbau der Sensoren wurden vier Anschlussmöglichkeiten (2 im Bild) durch Anbohrarmaturen an der Rohrleitung vorgesehen.

Laut Auflage der Senatsverwaltung ist sicher zu stellen, dass das mit Substanzen (Salze oder biologisch abbaubare Säuren) verändertes Wasser nicht in das Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnung gelangt. Deshalb wurde die Wassermenge aus dem Ablauf der Versuchsanlage – alle Entnahmestelle an den Hydranten – mit Hilfe von Schläuchen in den nächstliegenden Schmutzwasserkanal abgeleitet.

Nach Berücksichtigung aller Auflagen (Genehmigungsplanung) und der Anforderungen wurde die Ausführungsplanung für den Umbau der Versuchsanlage fertig gestellt. Die Durchführung der Baumaßnahme einschließlich der Vorbereitungen erfolgte zwischen Februar und Juni 2008.

Auswahl der Dosierpumpe und Behälter

Die Auswahl der Dosierpumpe und der Behältergröße erfolgte unter Berücksichtigung der mit den Projektpartnern festgelegten Anforderungen. Diese betrafen minimale und maximale Dosiermengen und Dosierkonzentrationen.
Die Dosierpumpe sollte die Möglichkeit bieten, auch große Mengen von Lösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen unter übliche (5 bis 5,5 bar) Versorgungsdrücken zu injizieren.

Die ausgewählte und bestellte Dosierpumpe der Firma PromAqua kann Lösungen bis zu 65 l/h mit max. 7 bar injizieren. Dieser Druck ist 1,5 bis 2 bar höher als der normale Versorgungsdruck. Dies ermöglicht die Injektion einer Lösung in die Leitung. Mit diesen Angaben ist die Injektion von Stoffen mit geringen bis sehr hohen Konzentrationen möglich.
Zusätzlich sind 4 Behälter zum Anschluss an die Dosierpumpe angebracht, um eine ausreichenden Menge für die Injektion in die Rohrleitung bereitzustellen. Hier können Stoffe mit verschiedenen Konzentrationen zur Injektion vorbereitet werden.

Auswahl von Sonden zur Onlinemessung der Trinkwasserparameter

Die Beurteilung der Sensibilität und der Reaktion der Biosensoren erforderte die Onlinemessung von bestimmten Parametern, die sich beim Eintrag eines Giftes ändern. Außerdem sollten die Sonden zur Messung von physikalisch/ chemischen Parameter des Trinkwassers im Normalzustand und zur Erfassung des Streubereiches einzelner Parameter genutzt werden. Hierfür wurde eine am Markt neu entwickelte Multiparametersonde angeschafft. Diese kann gleichzeitig bis zu 12 Parameter messen und lässt sich sehr leicht in eine Rohrleitung einbauen. Die Parameter sind Druck, Durchfluss, Temperatur, Trübung, Farbe, pH-Wert, gelöster Sauerstoff, Leitfähigkeit, Redoxpotential und freies Chlor.

Herkömmliche Sonden messen jeweils nur einen Parameter. Das würde für die Messung aller Parameter einen großen Platzbedarf erforderlich machen. Hinzu kommt der Aufwand für die Datenübertragung aus jeder Sonde. Im Vergleich dazu benötigt die Multiparametersonde nur eine Anbohrung in die Rohrleitung und ist somit wesentlich wirtschaftlicher als einzelne Sonden.
Die Messungen erfolgen in Zeitintervallen von einer Minute bis zu einer Stunde. Die Messergebnisse werden zu einem Messrechner übertragen und für die Auswertung zusammengefasst.

Behördliche Genehmigung für die Praxistests

Genehmigung für die Durchführung der Versuche:

Da sich die Versuchsstrecke auf dem Gelände eines Wasserwerkes in der Wasserschutzzone III (200 bis 500 m von Brunnengalerien entfernt) befindet, mussten für alle außerplanmäßigen Aktivitäten eine Genehmigung des Landesamts für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) eingeholt werden.
Die Auflagen für die Arbeiten wurden in der Planung für den Umbau der Versuchsstrecke sowie während der Versuchsdurchführung eingehalten.

Diese waren z. B. “Der Ablauf aus der Teststrecke ist in einem Schmutzwasserkanal abzuleiten.“

Genehmigung für Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)

Auch für Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen, hier Escherichia Coli und Caulobacter Crescentus, die gentechnisch mit rot fluoreszierenden Proteinen verändert wurden, war eine gesonderte behördliche Genehmigung der Abteilung Gentechnik des Landesamt für Gesundheitsamt und Soziales (LAGeSo) für die Testphase erforderlich.

Bei dieser Genehmigung wurden die im Projekt durchgeführten gentechnischen Arbeiten auf die niedrigste Sicherheitsstufe S1 eingestuft. Dies bedeutet keine Gefährdung für Mensch und Umwelt. Die Auflagen dieser Genehmigung wurden ebenfalls vor und während der Versuchsdurchführung eingehalten.

Diese waren z. B. Benennung einer Projektleitung, die alle Arbeiten mit GVO überwacht und eines Beauftragten für biologische Sicherheit.

Die Projektleitung konnte nur von einer Betriebsangehörigen Person übernommen werden, die über ein abgeschlossenes Hochschulstudium im Fach Biologie sowie mehrjährige Erfahrung im Bereich Gentechnik verfügt. Eine weitere Voraussetzung war die erfolgreiche Teilnahme an einer gesonderten Schulung, die eigens dafür vom LAGeSo angeboten wird.

Zusammenführung der Sensoren und Übertragung der Daten:

Zur den Vorbereitenden Maßnahmen für die Durchführung der praktischen Versuche gehörte auch die Zusammenführung aller Sensoren sowie die erforderliche Anlagen. Zu diesem Zweck wurde Mitte Juni 2008 ein Bauwagen beschafft und an der Versuchsstrecke aufgestellt.

Bild 7: Bauwagen mit den Anlagen zur Versuchsdurchführung

Dort befand sich zunächst der Messrechner für die Übertragung der Messdaten von der Multiparametersonde, das Daphnientoximeter und eine Messtafel der Firma bbe-Moldaenke sowie ein DSL-Anschluss und ein Router wurden für die Fernübertragung der Online-Daten. Später kamen die Dosierpumpe, die Dosierbehälter und der Demonstrator mit den mikrobiellen Sensoren hinzu. Sämtliche Daten aller Sensoren wurden über den Messrechner fernübertragen und dort im Diagnosetool für Alarm ausgewertet wurden.

Damit waren alle Voraussetzungen für die Durchführung der Versuche erfüllt.

AP7: Erprobung des AquaBioTox-Sensors im Anwenderumfeld

Für das Erreichen des Ziels „die Grundlagen für die Realisierung eines Breitbandsensors zur zeitnahen Erfassung der gesundheitsgefährdenden Kontaminationen im Trinkwasser“ sollte durch praktische Versuche an der Teststrecke geprüft werden, ob die Sensoren in der Realität stabil und zuverlässig funktionieren bzw. wie sie an die praktischen Bedingungen anzupassen sind.

Nach Fertigstellung der Versuchsstrecke konnte als erster Schritt zusätzlich zu der Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit auch die Langzeitstabilität der ausgewählten Sensoren getestet werden.

Erprobung der Langzeitstabilität der Sensoren:

Multiparametersonde

Die erste Multiparametersonde wurde zum Testen Mitte Juli 2008 in die Versuchsstrecke installiert. Anschließend erfolgte die Kalibrierung der einzelnen Parameter. Eine Überprüfung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messergebnisse war dort nicht möglich, da keine direkte Vergleichsmessung möglich war. Auch die Laborergebnisse der entnommenen Proben zeigten eine Momentaufnahme, die nicht exakt zu einem Messwert aus der permanenten Messung zugeordnet werden konnten. Obwohl die Laborergebnisse die Messwerte bestätigen, sollte die Sonde genauer geprüft werden.
Im Juni 2009 wurde die zweite Multiparametersonde am Ausgang des Wasserwerks neben der vorhandenen Online-Qualitätsmessung angebracht. Dort werden mit Hilfe von 5 einzelnen Sonden der pH-Wert, die Leitfähigkeit, der Sauerstoffgehalt, das Redoxpotential und die Trübung gemessen.
Nach erfolgreichem Test und Überprüfung der Messergebnisse mit den Messungen derselben Parameter galt der Nachweis ihrer Funktionsfähigkeit als erbracht. Der Vergleich der Messergebnisse zeigte, dass die Messungen der Multiparametersonde ebenso genau und stabil waren wie die Messungen der Sonden für die jeweils einzelnen Parameter.
Auch bei Untersuchungen der Langzeitstabilität der Multiparametersonde wurde die gleiche Genauigkeit der Messergebnisse festgestellt.

Die Instandhaltung und Wartung der Sonde beschränkte sich auf die Reinigung des Trübungssensors sowie dem Austausch des pH-Sensors und der Referenzelektrode im Abstand von 6 Monaten.

Damit war sie ein fester Bestandteil des Breitbandsensors.

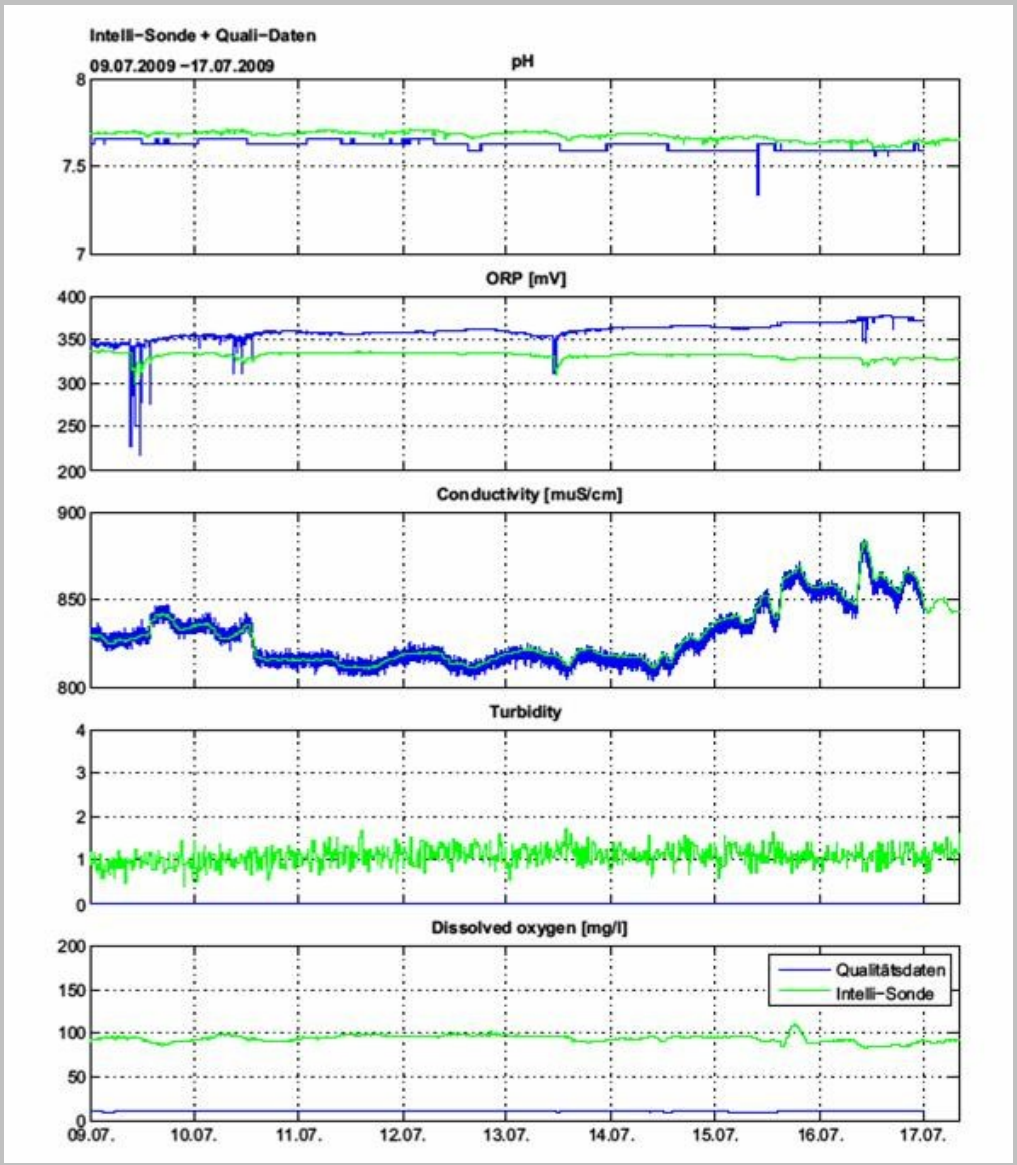

Bild 8: Vergleich der Messergebnisse der Multiparametersonde mit den jeweiligen Parametern der vorhandenen Online-Qualitätsmessung

Daphnientoximeter

Das Daphnientoximeter wurde von April bis November 2009 an der Versuchsstrecke, ab Januar bis Mai 2010 an in der Maschinenhalle hauptsächlich von Personal der BWB überwacht und gewartet, um seine Langzeitstabilität zu testen.
Die Ursache für das plötzliche Verenden von teilweise bis zu allen Daphnien konnte nicht mit den Inhaltstoffen im (Berliner) Trinkwasser in Verbindung gebracht werden. Dies wurde mit den entnommenen Proben aus der Teststrecke nachgewiesen. Auch der Kupfergehalt des Trinkwassers lag weit unter dem angegebenen, für Daphnien gefährlichen, Wert. Die Auswertung der Langzeitmessungen und den historischen Messdaten des Berliner Trinkwassers ergab ebenfalls keinen Anhaltspunkt für das „Daphniensterben“.

Ab Mai 2010 wurde das modifizierte Daphnientoximeter (siehe Bericht des Industriepartners bbe Moldaenke) in die Teststrecke eingebaut.

Die Ergebnisse der Langzeitstabilität lauten:

- In Abständen von max. zwei Wochen müssen neue Daphnien eingesetzt werden.
- Das Daphnientoximter erfordert einen relativ hohen Automatisierungsaufwand zur Regelung der Temperatur bzw. zur Entfernung der durch die Temperaturerhöhung entstandenen Luftblasen. An diese Luftblasen können sich Daphnien anhaften. Damit ist ihr Schwimmverhalten nicht mehr auswertbar.

Praktische Versuche

Das Ziel der praktischen Versuche war, die Funktionsfähigkeit der Sensoren und des Demonstrators sowie des Alarmdiagnosetools unter realen Bedingungen zu testen.

Der Aufbau der Sensoren an einem Bypass der Trinkwasserleitung ist in folgende Skizze schematisch dargestellt:

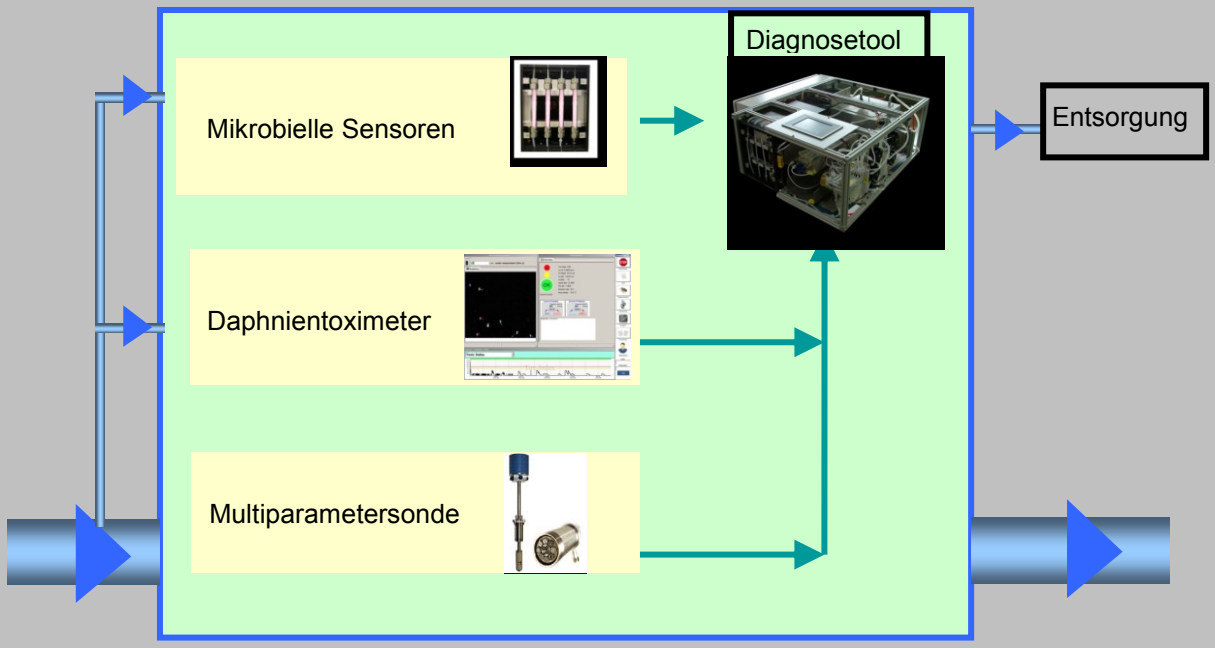

Bild 9: Aufbau der Sensoren an einem Bypass

Zu den Anforderungen der Funktionsfähigkeit gehören die Reaktionsfähigkeit der Sensoren und die Diagnosesicherheit. Um diese Anforderungen eindeutig zu überprüfen, wurde der Ablauf der Versuche mit den Projektpartnern im Detail abgestimmt.

Folgende Randbedingungen wurden festgelegt:

- Die Versuche werden mit Modellstoffen wie Kochsalz (NaCl) und Essigsäure durchgeführt. Eine Genehmigung zum Einsatz von echten Giften wurde nicht erteilt, weil sich die Teststrecke im weiteren Bereich der Wasserschutzzone befindet. Weiterhin wäre das Einleiten des kontaminierten Ablaufs aus den Versuchen in die Kanalisation nicht erlaubt, sondern müsste unter strengen Auflagen in einem Behälter aufgefangen und als Sondermüll entsorgt werden.

- Die Mindestkonzentration von NaCl für die Reaktion der mikrobiellen Sensoren beträgt 2 bis 2,5 g/l und für die Daphnien 5 g/l.

- Die Versuche werden jeweils an einer kurzen Strecke (40 m nach Injektion des Stoffes) und einer langen Strecke (Durchlauf des Injizierten Stoffes durch die gesamte Länge der Versuchsstrecke von 600 m) durchgeführt.

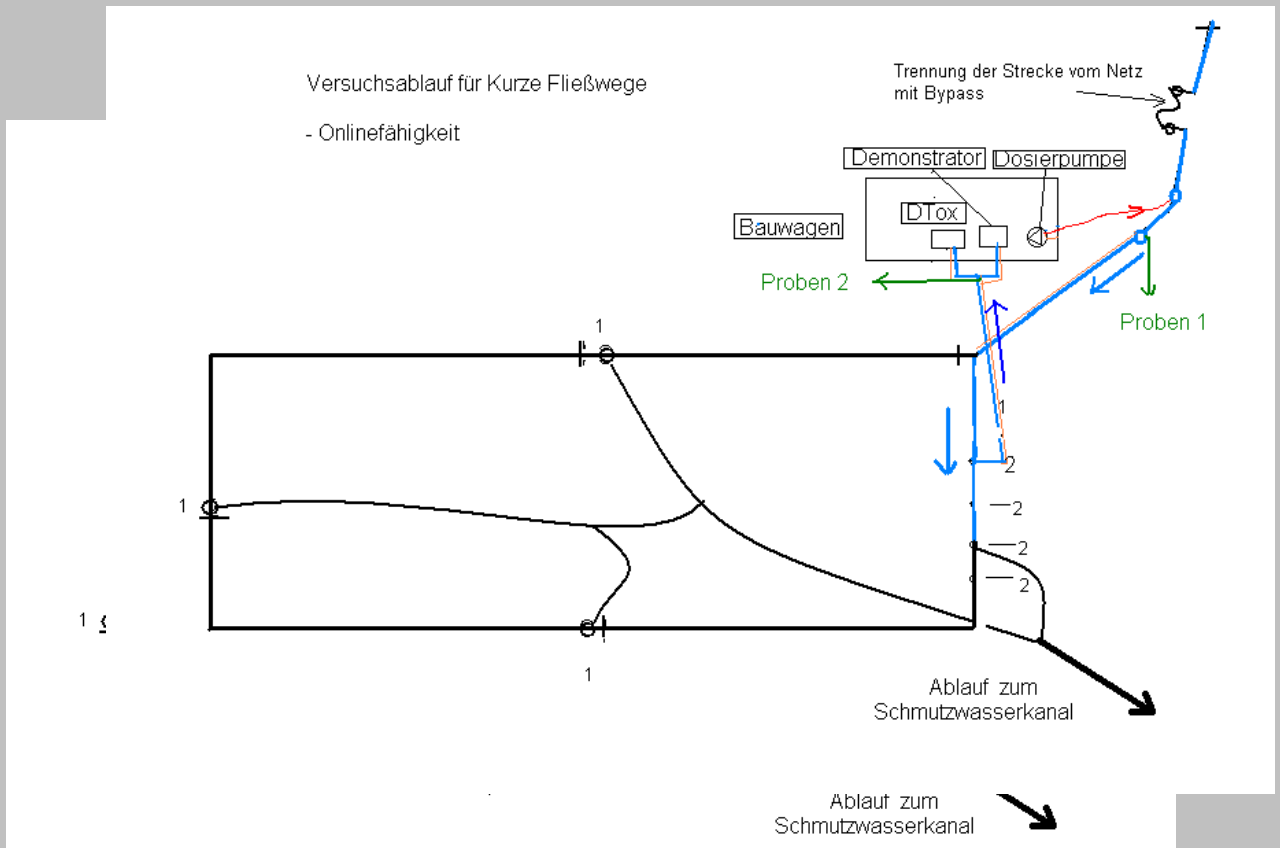

Bild 10: Kurze Strecke mit Versuchseinrichtung im Bauwagen

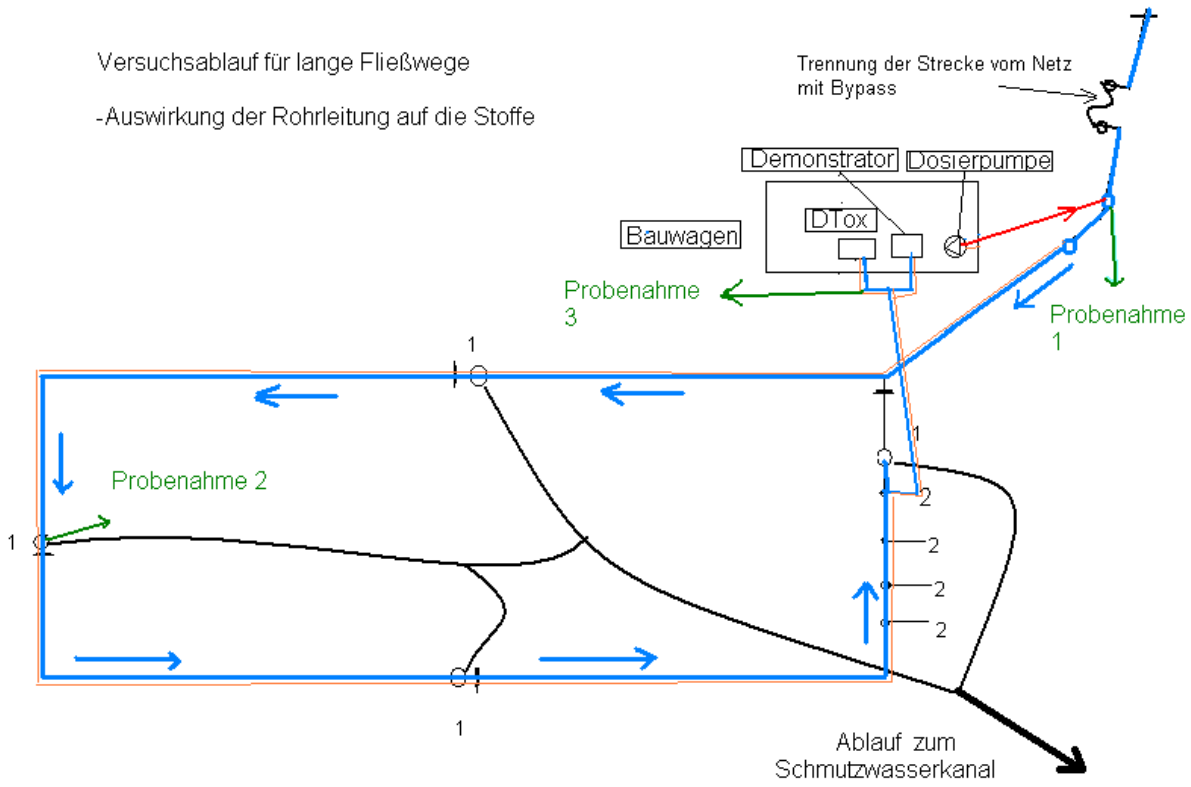

Bild 11: Lange Strecke mit Angaben zur Probenahmestellen

- Für die Ermittlung der Konzentration in der Rohrleitung und im Vorlagebehälter erfolgte eine hydraulische Berechnung, mit dessen Hilfe der maximale Durchfluss in der Rohrleitung abhängig von der erforderlichen Konzentration festgelegt wurde. Dafür mussten die maximale Dosierleistung der Dosierpumpe (70l/h) und die maximale Lösungskapazität des Stoffes (NaCl 300g/l) als Randbedingung berücksichtigt werden.

- Zur genauen Ermittlung des Konzentrationsverlaufs des jeweiligen Stoffes in der Rohrleitung wurde während des Versuchsdurchgangs an 3 Stellen in der Teststrecke die Leitparameter (pH- Wert, Leitfähigkeit, gelöste Sauerstoff, Temperatur, Trübung und Redoxpotential) des belasteten Wassers mit der Multiparametersonde gemessen. Zusätzlich wurden mittels automatischer Probenehmer alle zwei Minuten sowie beim Eintreffen des Alarmsignals am Eingang des Demonstrators Wasserproben entnommen und im Labor auf den eingeleiteten Stoff untersucht. Die Onlinemessung der Parameter lassen zwar auf den Konzentrationsverlauf des gelösten

Stoffes in der Rohrleitung schließen aber mit den Laborergebnissen sollte die exakte Konzentration der Lösung ermittelt werden. Auch die genaue Konzentration des eingeleiteten Stoffes zum Zeitpunkt des Alarms wird durch die Probenahme ermittelt. Dadurch können die Signale bzw. Alarme einzelner Sensoren überprüft werden.

Vor den eigentlichen Versuchen wurden Vorversuche durchgeführt, um folgende Fragen zu beantworten:

- Wann kommt der Stoff an den Sensoren an?
- Wann kommt die erforderliche Konzentration an, die für die Reaktion der Sensoren benötigt wird?

Das Ziel war, das Verhalten der gelösten Stoffe in der Rohrleitung zu untersuchen.

Die Vorversuche wurden wie folgt durchgeführt:

Eine konzentrierte Lösung von ca. 300g/l NaCl wurde mittels Dosierpumpe in die Rohrleitung injiziert, so dass sich dort abhängig vom Durchfluss eine Konzentration von ca. 5 g/l einstellen kann. Die Geschwindigkeit in diesem Fall ist geringer als die üblichen Geschwindigkeiten im Trinkwasserleitungsnetz. Eine höhere Geschwindigkeit war allerdings nicht möglich, da die vorgegebene Konzentration von 5g/l nur mit dieser Geschwindigkeit einzuhalten war. Die maximale Lösungskapazität des Salzes (300g/l) und die maximale Dosierleistung von 70 l/h wurde genutzt, um die erforderliche Konzentration zu erreichen.

Vorversuche mit 5g/l NaCl an der Teststrecke

Versuch 1: Lange Strecke

Durchflussmenge in der Rohrleitung:	2,9 m³/h
Geschwindigkeit:	0,06 m/s;
Konzentration der Ausgangslösung:	250g/l;
Konzentration im Rohr:	5g/l

Dosierdauer: Beginn: 12:46 Ende: 13:54 ➔ Dauer: 68 min
Behälterstand: Beginn: 76 Liter Ende: 8 Liter
Verbrauchte Menge: 68 l Lösung ➔ verbrauchte Salzmenge: 16,43 kg

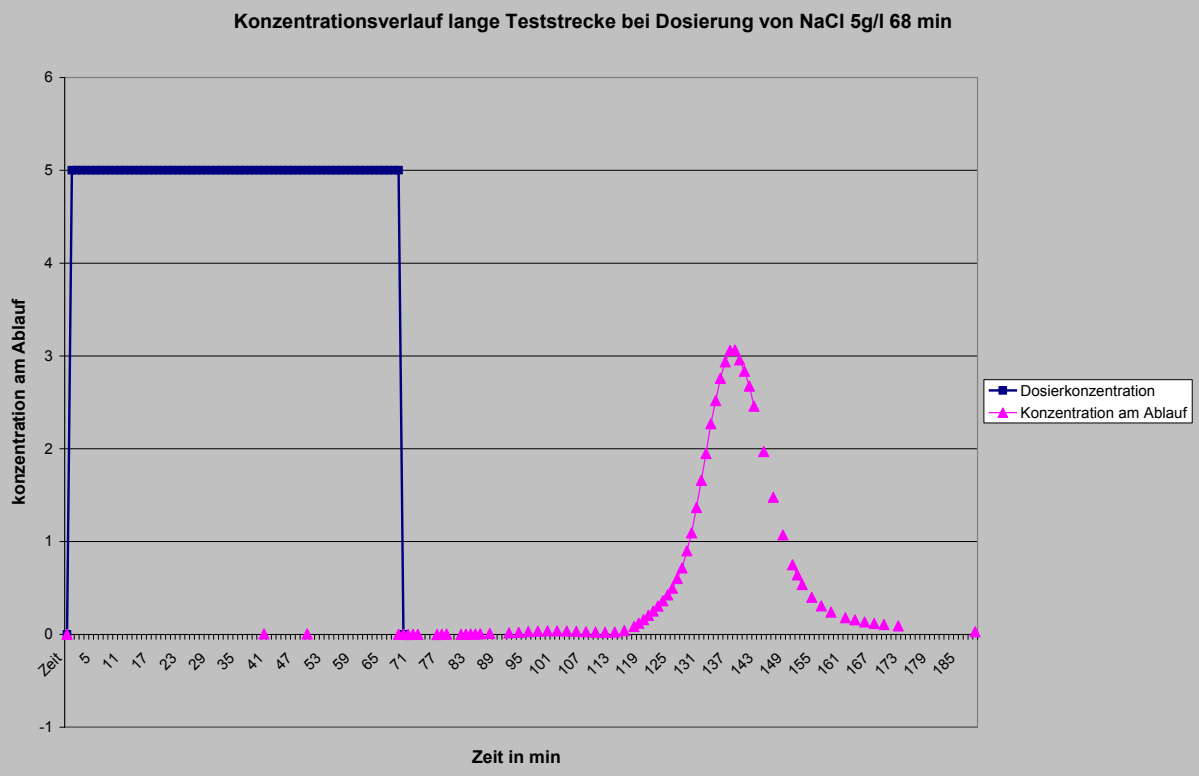

Bild 12: Konzentrationsverkauf in der Rohrleitung nach am Ende der langen Strecke

Gemessen wurde die (Leitfähigkeit) Konzentration am Ende der Strecke. Die erste Veränderung der Leitfähigkeit wurde nach 120 Minuten gemessen.

Die max. Konzentration 3,06 g/l war dann nach 138 Minuten (2,3 Stunden) erreicht.

Die Massenbilanz (und auch das Integral der Flächen unter den Kurven) ergibt eine Differenz des Inputs (injizierte Salzmenge) zum Output (entnommene Salzmenge bis zum Ende des Versuchs) von ca. 82%.

Versuch 2: Kurze Strecke

Durchflussmenge:	2,9 m³/h
Geschwindigkeit:	0,06 m/s;
Fließzeit:	16 min
Konzentration der Ausgangslösung:	250g/l;
Konzentration im Rohr:	5g/l

Dosierung: Beginn: 10:04 Ende: 10:18 ➔14 min
Behälterstand: Beginn: 113 l Ende: 99 l
Verbrauchte Menge: 14 l Lösung ➔ verbrauchte Salzmenge: 3,5 Kg

Gemessen wurde die Konzentration am Ende der Strecke von 40 m sowie am Einlauf zu den Sensoren am Bauwagen. Es wurde die Leitfähigkeit gemessen. Zusätzlich erfolgten Probenahmen in Abständen von 2 Minuten. Die exakte NaCl- Konzentration wurde dann im Labor bestimmt.

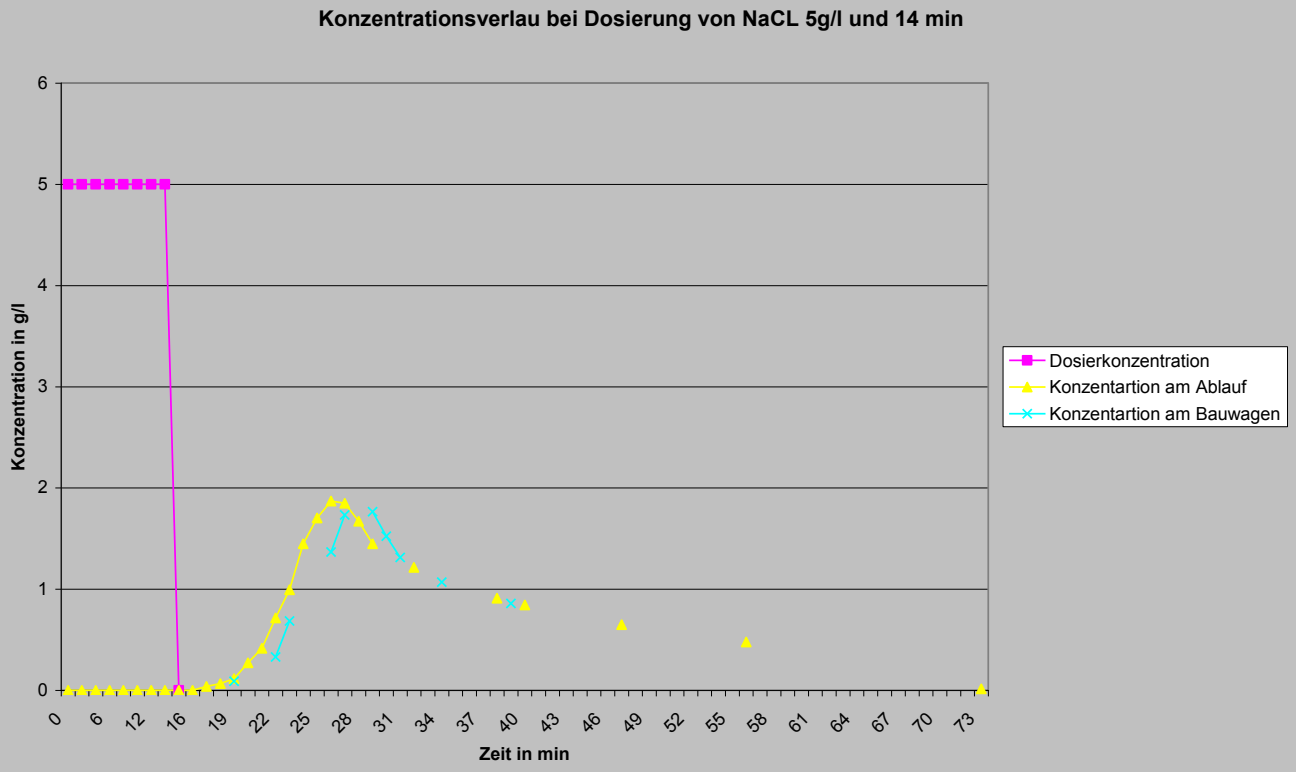

Bild 13: Konzentrationsverkauf in der Rohrleitung nach am Ende der kurzen Strecke bzw. am Einlauf des Demonstrators

Die Bilanz der Volumenströme und der daraus resultierenden Salzmenge:

Wasserenge mit 5g/l:	2,9 m³/h x 14 min = 0,68 m³
Wassermenge nach Injektion:	2,9m³/h x (73-14) min = 2,85m³
Injizierte Salzmenge:	680l x 5g/l = 3,38 kg
Entnommene Salzmenge:	Für die Berechnung der Salzmenge wurde die Konzentration aus dem Verlauf der Kurve entnommen:

Entnommene Salzmenge: 2,15 kg Differenz: 1,23 kg ➔ **36,5%**
Die Konzentrationsspitze erreichte den Wert: 1,87 g/l

Versuch3: Kurze Strecke

Durchflussmenge:	2,9 m³/h;
Geschwindigkeit:	0,06 m/s;
Fließzeit:	16 min
Konzentration der Ausgangslösung:	250g/l;
Konzentration im Rohr:	5g/l

Dosierung: Beginn: 11:19 Ende: 11:39 ➔ Dauer: 20 min
Behälterstand: Beginn: 99 l Ende: 76 l
Verbrauchte Menge: 23 l Lösung ➔ verbrauchte Salzmenge: 5,75

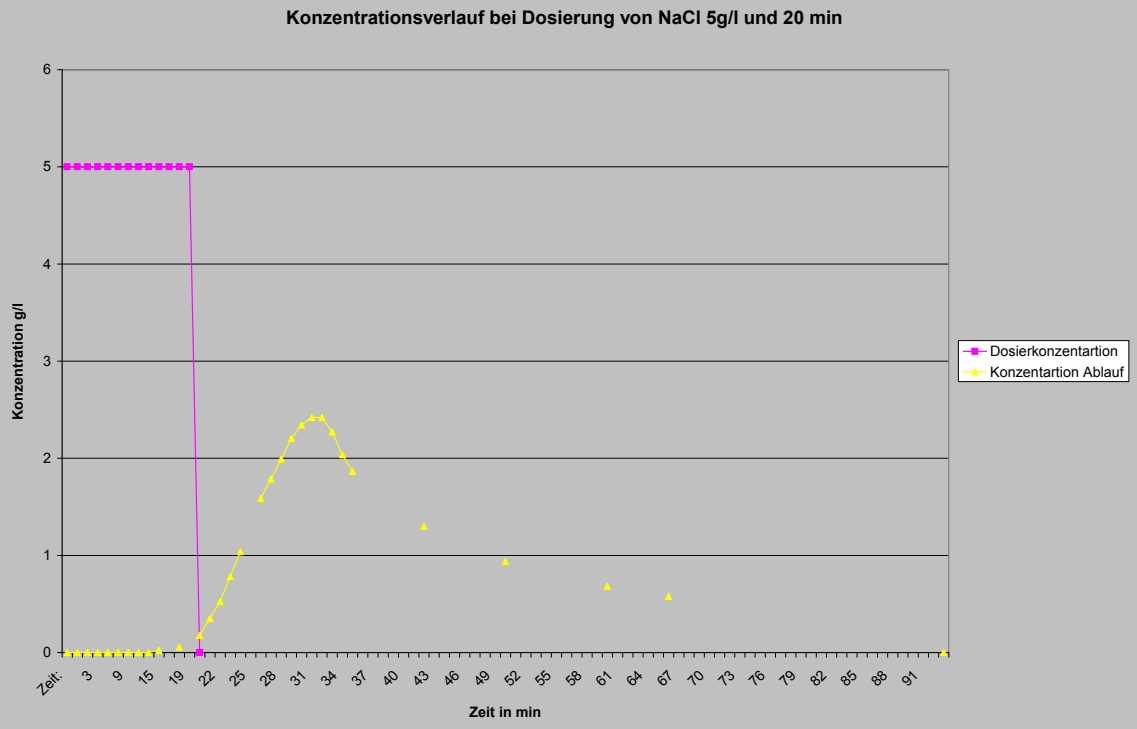

Bild 14: Konzentrationsverkauf in der Rohrleitung nach am Ende der langen Strecke

Die Bilanz der Volumenströme und der daraus resultierenden Salzmenge:

Wassermenge mit 5g/l: 2,9 m³/h x 20 min = 0,97 m³
Menge nach Injektion: 2,9m³/h x (94-20)min = 3,57m³
Injizierte Salzmenge: 966l x 5g/l = 4,83 kg
Entnommene Salzmenge: 3,55 kg Differenz: 1,28 kg ➔ **27%**

Die längere Dosierung ergab eine höhere Konzentrationsspitze von 2,42 g/l. Es wird davon ausgegangen, dass die Differenz an der rauen Rohroberfläche „haften“ bleibt und anschließend sehr langsam abgebaut wird.

Im letzten Vorversuch sollte die Frage beantwortet werden, wie lange muss eine Injektion andauern, bis sich die Konznetration einstellt, die injiziert wurde. Alle Randbedingungen wurden konstant gehalten.

Versuch 4: Kurze Strecke

Durchflussmenge:	2,9 m³/h;
Geschwindigkeit:	0,06 m/s;
Fließzeit:	16 min
Konzentration der Ausgangslösung:	50g/l;
Konzentration im Rohr:	5g/l

Dosierung: Beginn: 11:40 Ende: 13:24 ➔ Dauer: 104 min
Behälterstand: Beginn: 118 l Ende: 6 l
Verbrauchte Menge: 112 l Lösung ➔ verbrauchte Salzmenge: 28,75 Kg

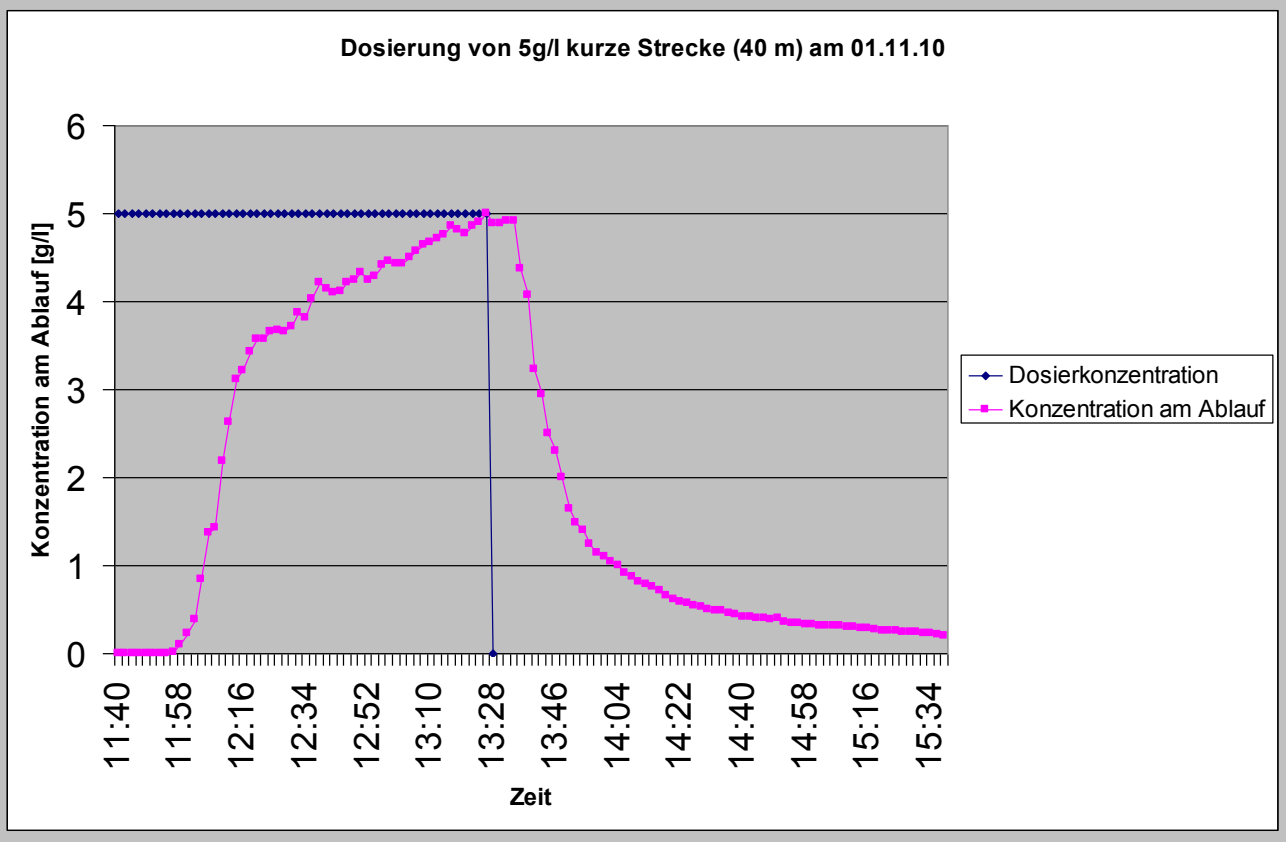

Bild 15: Der Massenbilanz hier zeigt den Ausgleich zwischen dem Input und Output der Volumenströme und der Salzmenge.

Auswertung der Vorversuche

Die Vorversuche zeigten eine temporäre Speicherung des injizierten Stoffes in der Rohrleitung und somit einen großen Verdünnungseffekt der Lösung. Die Konzentrationsminderung der Substanz wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- Advektion; Transport des im Wasser gelösten Stoffes mit der Strömungsgeschwindigkeit
- Oberflächenbeschaffenheit; Rauhigkeit sowie die Größe der Rohrinnenfläche
- Dauer der Injektion

Mit den Erkenntnissen aus den Vorversuchen konnten folgende Anfangsbedingungen für die Durchführung der praktischen Versuche eingestellt werden:

- Dosierkonzentration,
- Durchflussmenge (Fließgeschwindigkeit) in der Rohrleitung
- Dauer der Dosierung

Die Einhaltung aller o. g. Randbedingungen war notwendig, um die erforderliche Konzentration für die Reaktion der Sensoren zu erreichen. Eine weitere Erkenntnis war die Zeitverschiebung zwischen der Dosierung der Lösung in die Rohrleitung bis zur Ankunft der Mindestkonzentration am des AquaBioTox- Sensors (Einlauf Demonstrator, Daphnientoximeter bzw. Multiparametersonde).

Ergebnisse der praktischen Versuche

Mit den praktischen Versuchen konnte die Funktionsfähigkeit der Sensoren sowie des Diagnosetools unter realen Bedingungen nachgewiesen werden. Die Reaktion des mikrobiellen Sensors und des Daphnientoximeters ist im folgenden Bild erkennbar.

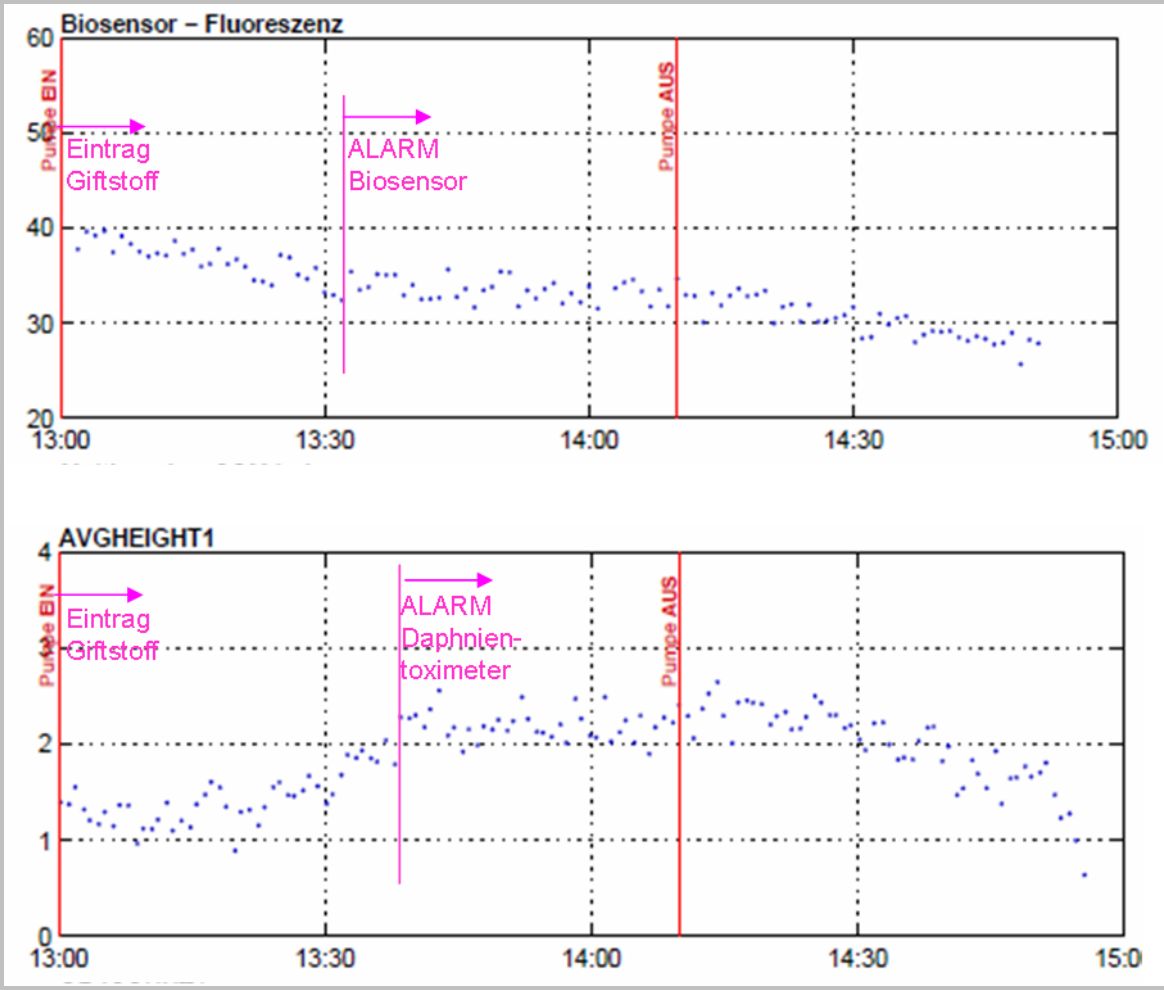

Bild 16: Reaktion des mikrobiellen Sensors und der Daphnien

Vom Einbringen des Stoffes in die Rohrleitung bis zum Alarm am „AquaBioTox-Senseor dauerte es ca. 80 min. Diese „relative lange“ Zeit vom Injektionsbeginn bis zur Reaktion der einzelnen Sensoren ist zum großen Teil durch die Fließzeit des Stoffes in der Rohrleitung bedingt. Auch Innerhalb des Demonstrators fließt eine minimale Menge „Probenwasser“, so dass dort mit einer Fließzeit von mehr als10 Minuten zu rechnen ist.
Eine zuverlässige Diagnose der Alarmsituation erfordert den Vergleich der Ergebnisse von mehreren Messungen in entsprechenden Messintervallen. Beim Daphnientoximeter sind diese Messintervalle länger.

Die Ergebnisse der Multiparametersonden waren bei diesen Versuchen eindeutig, da NaCl sofort die Leitfähigkeit des Trinkwassers verändert und Essigsäure den pH-Wert.

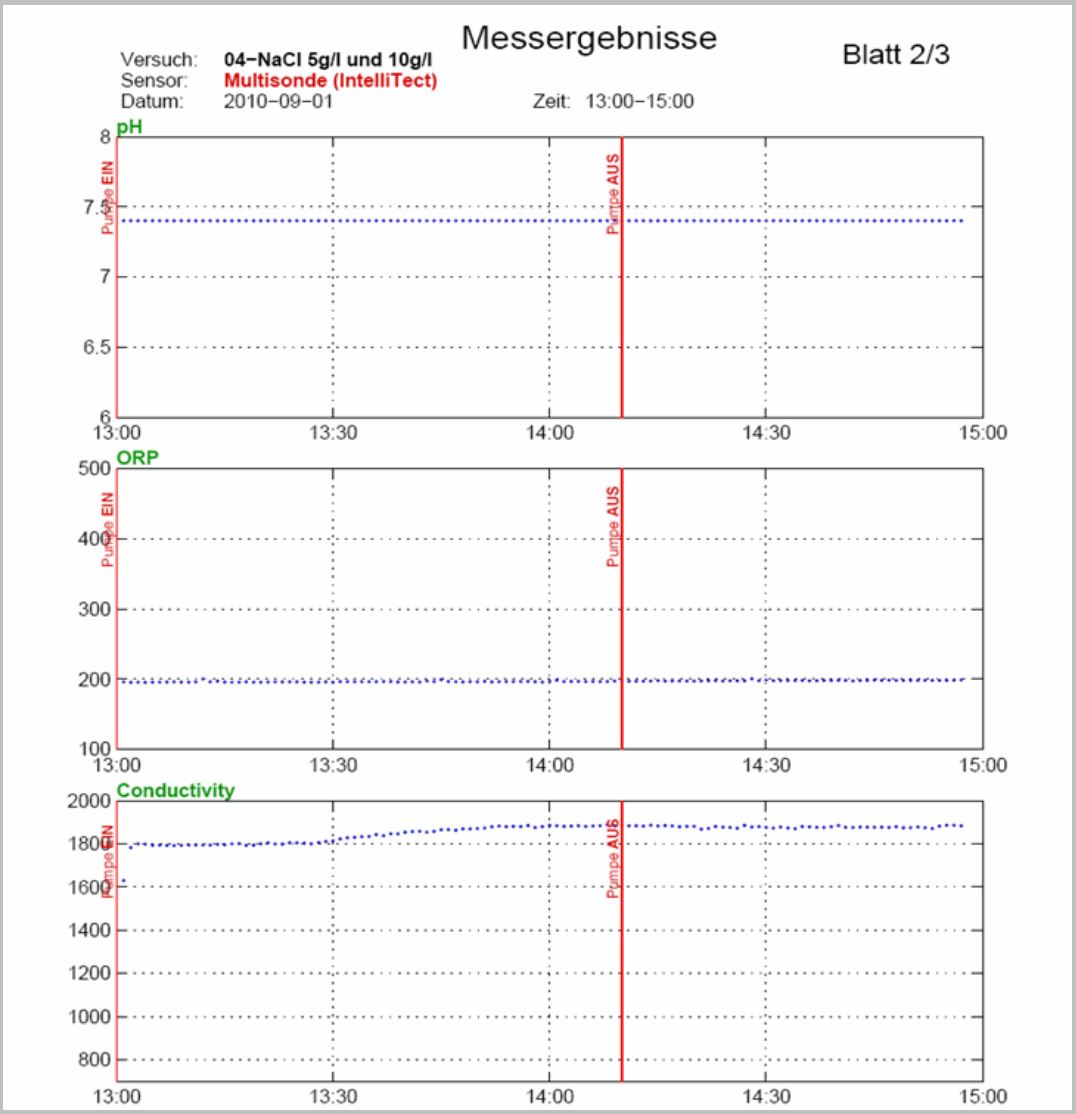

Bild 17: Reaktion der Multiparametersonde vor Einlauf in den Demonstrator

Das gesamte Ergebnis eines der Versuche wird im Anhang beigefügt.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des vorliegenden Forschungsvorhabens für BWB stellten die Personal- und sonstige unmittelbare Vorhabenskosten dar.

Position: Personalkosten

Der Personalaufwand war auf die Arbeitspakete wie folgt aufgeteilt:

AP	1	2	3	4	5	6	7	Summe
PM* TVV 15	0,8	0,2	0,1	0,4	0,4	1,3	1,2	4,6
PM TVV 14	0,2				0,3	0,6	0,4	1,5
PM TVV 13	2,5	1,5	1,5	1	3	6	4,5	19
PM TVV 12	1,5	1			0,5	2,5	2,3	7,8
PM Gewerbliche						9	4,6	13,6

Ein PM beträgt 168 Stunden; Der Tarifvertrag der BWB sieht eine Arbeitszeit von 38,75St./Woche vor.

Position: Sonstige unmittelbare Vorhabenskosten

Wichtige Positionen hier waren:
Die Vorbereitung und Umbau der Versuchsstrecke
Die Vorbereitungsmaßnahmen und die Durchführung der Versuche
Bereitstellung des Bauwagens
Laboruntersuchungen
Der Trinkwasserverbrauch

Position: Materialkosten

Die zahlenmäßig wichtigen Materialien waren:
Hydranten und Schieber
Dosierpumpe und Dosierbehälter
Multiparametersonden sowie der Messrechner
Chemikalien zur Dosierung in die Teststrecke

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

AP1: Erarbeitung eines Anforderungsprofils für den biologischen Breibandsensor

- Für die Festlegung der Anforderungen waren umfangreiche interne und externe Abstimmungen erforderlich. Die Anforderungen mussten in jeder Hinsicht ausrechend aber auch umsetzbar sein. Dafür erfolgten auch Erfahrungsaustausche mit anderen Versorgern. Den Berliner Wasserbetrieben als Anwender und Koordinator kam in diesem Arbeitspaket eine wichtige Bedeutung zu.

AP2: Bioverfahrenstechnische Auslegung und Erprobung unter Laborbedingungen

- Zur Adaption der mikrobiellen Sensoren an das Trinkwasser sowie zur Prüfung deren Sensibilität und Stabilität war es erforderlich, alle Randbedingungen für das Testen der Anforderungen bereitzustellen z. B. die Festlegung der Substanzen und die Übergabe der Daten der Trinkwasserinhaltstoffe.

AP3: Erarbeitung eines Automatisierungskonzeptes für das biologische Verfahren

- Erarbeiten der Auflagen für den Anschluss eines externen Gerätes für die Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung.

AP5: Erweiterte Online-Prozessdiagnose durch Fusion von Prozess- und bildgebender Sensorik

- Zusammenstellung, Aufbereitung und Bereitstellung von Langzeitdaten für die Erarbeitung des neuronalen Modells
- Prüfung und Evaluierung des erarbeiteten Modells

AP6: Aufbau einer Versuchsanlage für den AquaBioTox-Sensor

- Die mehr als 10 Jahre stillgelegte Teststrecke musste darauf geprüft werden, ob sie sich hinsichtlich der Dichtheit und der biologisch/chemischen Qualität für den Anschluss an die Trinkwasserversorgung eignet.

- Umbaumaßnahmen waren für die Bereitstellung der praktischen Randbedingungen erforderlich.
- Vorbereiten und Einholen von Genehmigungen für das Arbeiten in der Wasserschutzzone sowie Einleiten von belastetem Wasser in die Kanalisation.
- Vorbereiten und Beantragung von Genehmigung für das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen.
- Instandhaltung und Wartung der Versuchsstrecke und alle technischen Anlagen von April 2008 bis Ende des Projektes.
- Herstellung der Anschlüsse für die Sensoren.

AP7: Erprobung des AquaBioTox-Sensors im Anwenderumfeld

- Für das Testen der Sensoren auf Langzeitstabilität sowie auf deren Funktionsfähigkeit unter praktischen Bedingungen musste die Versuchsstrecke ständig mit Trinkwasser – minimaler Geschwindigkeit – geschickt werden.

- Planung und Vorbereitung der Testabläufe; Bereitstellung der Probenahmen und zusätzliche Messeinrichtungen, Kalibrierung der Anlagen.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Berliner Wasserbetriebe planen zunächst den Einsatz von mindestens 10 „AquaBioTox-Sensoren“ an den Ausgängen der Wasserwerke. Weitere Sensoren sollen im auch Trinkwasser Verteilungsnetz eingesetzt werden. Für die Ermittlung der optimalen Einsatzstellen sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

- Ein auf Enzym basierter Sensor, erarbeitet von Siemens (SiequaSAFE), ist mit verschiedenen Giftstoffen getestet (Veröffentlichung Frühjahr 2010). Dieses System arbeitet allerdings offline. Dafür muss die Trinkwasserprobe zum Testen auf einem Chip aufgebracht werden. Ein mobiles System wird erarbeitet. Der entscheidende Vorteil vom AquaBio-Tox-Breitbandsensor ist weiterhin die Onlinefähigkeit und die kontinuierliche Überwachung des Trinkwassers.
- Ein Mikro-Mechanikfilter wurde bei EDAS entwickelt, welches Bakterien und Viren zurückhalten kann. Diese können dann kultiviert und mit Labormethoden bestimmt werden. Auch für dieses System muss eine Trinkwasserprobe zum Labor gebracht werden.
- Ein in Israel entwickeltes Frühwarnsystem (Check light) arbeitet auf Basis von Bio-Sensoren. Dieses System wird aber nicht direkt im Trinkwasserverteilungsnetz, sondern in Gewässer eingesetzt, die zur Trinkwasseraufbereitung herangezogen werden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11.

- Berliner Wasserbetriebe haben außer den Präsentationen bei CBRNE-Workshops, bei Erfahrungsaustausch mit Bodensee Wasserversorgung sowie intern das Forschungsvorhaben nicht veröffentlicht.