

# HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE BEI DER ENTWICKLUNG VON WASSERGÜTEMESS- STATIONEN

**Christian Hübner und Mario Thron, ifak e.V. Magdeburg**

**John B. Copp, Primodal Systems Inc., Hamilton, Ontario, Kanada**

**Leiv Rieger, EnviroSim Associates Ltd., Hamilton, Ontario, Kanada**

**Peter A. Vanrolleghem, Université Laval, Québec, Kanada**

## 1 EINLEITUNG

Die Erfassung des Zustandes natürlicher Gewässer ist eine aktuelle Herausforderung an die Wasserwirtschaft. Wassergütemessstationen, mit denen der Gewässerzustand an ausgewählten Punkten kontinuierlich überwacht werden kann, sind hierbei wichtige Werkzeuge. Sie werden eingesetzt, um diverse Eigenschaften des Wassers, z.B. Sauerstoffgehalt, Temperatur und pH-Wert, in Flüssen kontinuierlich zu messen und zu speichern. Das Ziel besteht darin, verlässliche Messwerte zu gewinnen, um damit die Wasserqualität beurteilen und verbessern zu können sowie mathematische Modelle von Wassersystemen zu entwickeln. Stand der Technik ist der Einsatz einzelner Messstationen, wobei ein Trend hin zu Netzwerken von Messstationen zu beobachten ist, welche die Integration der Messwerte von verschiedenen Standorten ermöglichen [Strobl06]. Der Einsatz von Stationsnetzen anstelle einzelner Messstationen führt zu neuen Anforderungen hinsichtlich Übertragung und Verwaltung der gewonnenen Messdaten sowie hinsichtlich Sicherheit und Zugänglichkeit der Daten.

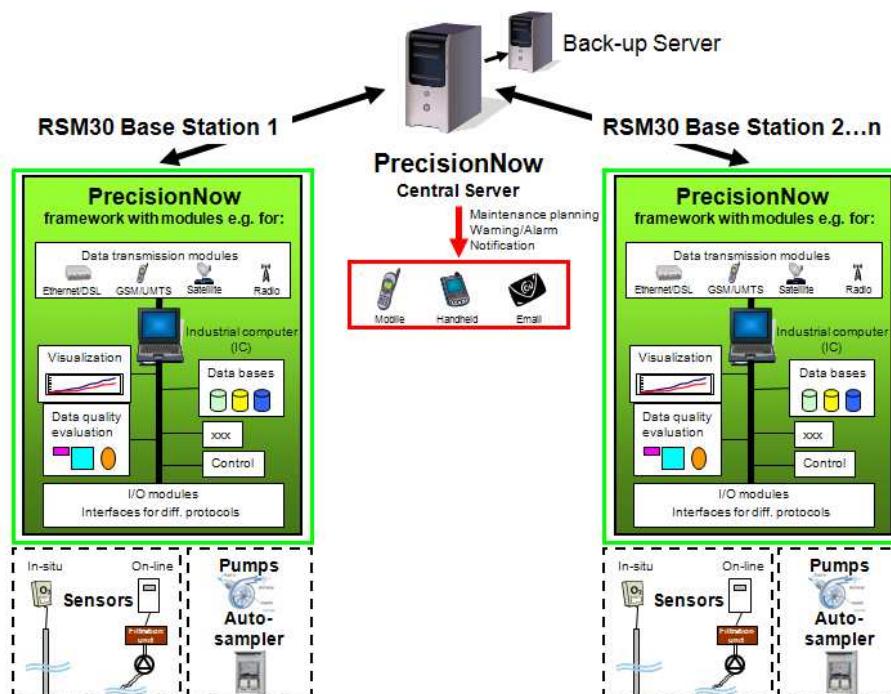
Im Wesentlichen gibt es drei Gründe, die bislang den praktischen Einsatz von Messstationen erschweren: a) unzureichende Standardisierung, b) Probleme mit der Datenqualität sowie c) unzureichende Flexibilität der Stationen, z.B. wenn sich der Fokus des Projektes verschiebt und neue Sensoren integriert werden müssen [Rieger08].

## 2 PLATTFORM FÜR WASSERGÜTEMESSSTATIONEN

Im Rahmen einer Zusammenarbeit von ifak e.V. mit Primodal Inc. und der Universität Laval in Kanada wird eine Plattform für eine neue Generation von Wassergütemessstationen entwickelt [Rieger08]. Dazu werden moderne Technologien kombiniert, um ein Maximum an Flexibilität hinsichtlich der anschließbaren Sensoren, der Messziele und der Einsatzorte zu erreichen. Dieses neue System stellt eine Art Baukasten dar, der die Realisierung beliebiger Messaufgaben ermöglicht und die Unzulänglichkeiten herkömmlicher Ansätze vermeidet. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Konzept zur Datenevaluierung, das eine hohe Qualität der Daten gewährleistet [Copp10].

Den Kern dieser neuen Plattform bildet ein erweiterbares Software-Framework, das die Einbindung beliebiger Sensoren und Datenprotokolle sowie die Anwendung neuester Methoden zur Datenevaluierung ermöglicht. Dieses Software-Framework stellt die Grundlage für die einzelnen Stationen und den zentralen Datenserver dar (siehe Bild 1).

Die einfache Erweiterbarkeit wird durch einen modularen Aufbau der Software erreicht. Dadurch können bei Bedarf neue Module entwickelt und eingebunden werden, etwa um neue Methoden zur Datenevaluierung, Kommunikation oder neuartige Sensoren verfügbar zu machen.



**Bild 1: Konzept der Wassergütemessstation**

Das Basissystem (ein Gehäuse mit Rechner und I/O-Geräten) ist für alle Anwendungsfälle gleich, jedoch können die Energieversorgung, die Datenübertragung und die Klimatisierungseinrichtungen je nach Bedarf angepasst werden. Die Stationsplattform wurde vorrangig für die Erfassung der Güte natürlicher Gewässer entwickelt – eine Anwendung auf Kläranlagen, im Kanalnetz oder auch in Bereichen außerhalb der Wasserwirtschaft ist aber ebenso möglich.

### 3 HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE

Bei der Entwicklung der neuen Generation von Wassergütemessstationen mussten einige Herausforderungen hinsichtlich der technischen Umsetzung bewältigt werden. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Inbetriebnahme der Feldbussysteme und der Sensoren. Es wurde entschieden, sich zunächst auf PROFIBUS als Feldbussystem zu fokussieren, da diese Technologie von vielen Sensorherstellern unterstützt wird. Mit Hilfe von Modulen können bei Bedarf auch andere Kommunikationstechnologien unterstützt werden. Die für PROFIBUS erforderliche Hardware im Stationsrechner besteht aus einer PCI-Karte, die als DP-Master fungiert. Die Messumformer mit den angeschlossenen Sensoren arbeiten direkt als DP-Slaves oder werden in ein PA-Subnetz eingebunden.

### 3.1 Inbetriebnahme von Feldbussystem und Sensoren

Im Idealfall sollte für den Aufbau einer Messstation nur ein einziger Feldbus verwendet werden müssen, der über weitreichende Plug-and-play Unterstützung verfügt. Somit wäre es sehr einfach, einen neuen Sensor bzw. den dazugehörigen Messumformer einzubinden, da nur die physikalische Verbindung zum Bus hergestellt werden müsste und das Gerät anschließend in der Software der Messstation verfügbar wäre.

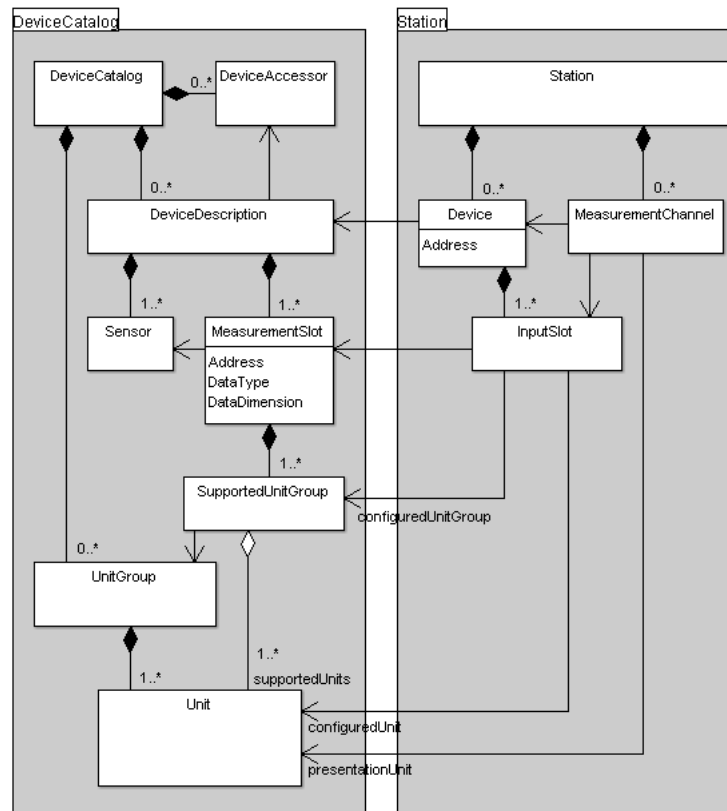
In der Realität gibt es jedoch keine Feldbustechnologie, die von allen führenden Sensor-Herstellern unterstützt wird. Tatsächlich verzichten einige Hersteller auf standardisierte Schnittstellen, so dass proprietäre Lösungen in die Messstationen eingebunden werden müssen. Der hierfür gewählte Lösungsansatz abstrahiert den Gerätezugriff und definiert eine entsprechende Schnittstelle, die von der Software der Messstation anstelle des direkten Zugriffs verwendet wird. Für jede spezifische Technologie (z.B. PROFIBUS) wird eine Implementierung dieser Schnittstelle in Form eines Plug-Ins bereitgestellt, das dynamisch von der Station geladen werden kann ohne vorherige Neuübersetzung des gesamten Softwaresystems.

Die Erfahrungen im Rahmen dieses Projektes haben gezeigt, dass die Einbindung und Inbetriebnahme neuer PROFIBUS-Geräte (Messumformer) mehr Aufwand erfordert als für die Anwendung bei einer Messstation wünschenswert und erforderlich ist. Dieser Mehraufwand entsteht vor allem durch die Notwendigkeit, eine manuelle Adressvergabe für die einzelnen Geräte vornehmen und die zu übertragenden Datentelegramme konfigurieren zu müssen. Dazu muss eine eindeutige Adresse ausgewählt und am Gerät eingestellt werden. Bei der Konfiguration des zyklischen Datentelegramms muss festgelegt werden, welche Messwerte zusammen mit ihren Status- und Qualitätsindikatoren an welcher Stelle im Telegramm angeordnet werden sollen. Auf der PC-Seite der Station muss das neue Gerät mit Hilfe einer gerätespezifischen GSD-Datei (Generic Station Description) in die PROFIBUS-Konfiguration aufgenommen werden. Anschließend muss die dem Gerät zugeordnete Busadresse eingetragen und die genaue Struktur des Datentelegramms angegeben werden, das zuvor bereits im Gerät konfiguriert worden war. Diese Wiederholung ist erforderlich, da die syntaktischen Informationen des Telegramms nicht importiert werden können.

Eine weitere Herausforderung bei der Integration von Sensoren ergibt sich aus dem Mangel an semantischen Informationen über die einzelnen Messwerte und Parameter, da die Verfügbarkeit und Bedeutung der vorhandenen Werte nicht durch die Geräte bereitgestellt und nicht vom Bussystem übertragen werden. Dieser Mangel an Selbstbeschreibung führt zu einer semantischen Lücke und macht zusätzliche Konfigurationsschritte erforderlich.

Der hier entwickelte Lösungsansatz zur Minimierung des erforderlichen Aufwands besteht darin, die Informationslücke durch einen vordefinierten *Gerätekatalog* zu füllen, der alle erforderlichen semantischen Informationen für ausgewählte Sensoren bereitstellt. Der Gerätekatalog ist eine XML-Datei, welche die Menge der verfügbaren Geräte beschreibt, die für die Messungen verwendet werden können. Ein Gerät ist hierbei eine vordefinierte Kombination aus Messumformer und angeschlossenen Sensoren. Die Beziehung zwischen der Stationskonfiguration und den Elementen des Gerätekatalogs ist in dem vereinfachten Unified Modeling Language (UML) Diagramm in Bild 2 veranschaulicht. Der Hauptteil des Gerätekatalogs wird durch die Liste der verfügbaren Gerätebeschreibungen gebildet, wobei jede Gerätebeschreibung auf die Implementierung der Schnittstelle für den zugehörigen Gerätezugriff verweist (DeviceAccessor). Darüber hinaus enthält jede Gerätebeschreibung die Menge der

verfügbaren Messkanäle (MeasurementSlots). Jeder Messkanal verfügt über eine Adresse, einen Datentyp, eine Datendimension (Länge des Datenvektors) und Angaben zur Interpretation der Qualitätsindikatoren [Hübner10]. Die Implementierung des entsprechenden DeviceAccessors ist in der Lage den aktuellen Wert mit Hilfe dieser Angaben zu lesen. Im Falle von PROFIBUS handelt es sich bei der Adressangabe um den Offset des Datenwertes innerhalb des zyklischen Telegramms.



**Bild 2: Vereinfachtes UML-Diagramm der Stationskonfiguration und des Gerätecatalogs**

Der für die Datenerfassung relevante Teil der Stationskonfiguration ist auf der rechten Seite von Bild 2 dargestellt. Die Stationskonfiguration beschreibt alle variablen Aspekte einer konkreten Messstation, insbesondere die installierten Messumformer und die einzelnen Messkanäle (MeasurementChannel). Ein Messkanal beschreibt, welche Sensordaten aufgenommen werden und in welchen Zeitabständen dies erfolgt. Zu diesem Zweck muss beim Anlegen eines neuen Messkanals angegeben werden, von welchem Gerät (Device) die Daten geholt werden sollen und welcher Eingangskanal (InputSlot) zu verwenden ist.

Das Konzept des Gerätecatalogs erlaubt die Bereitstellung der fehlenden semantischen Informationen und erleichtert somit das Zusammenstellen und Verändern von Messstationen, indem den einzelnen Datenelementen Struktur und Bedeutung zugewiesen wird. Erst dadurch kann der Konfigurationsaufwand auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

### 3.2 Sensor-Parametrierung

Neben den Einstellungen für die Kommunikation zwischen PC und Feldgeräten sind viele weitere Parameter für die Sensoren und Messumformer von Bedeutung, etwa Angaben zu physikalischen Bedingungen (z.B. Salzgehalt des Wassers und Höhenlage) oder Korrekturfaktoren. Aus diesem Grund muss die Festlegung bzw. Anpassung dieser Parameter sowohl bei der Inbetriebnahme als auch bei der Wartung der Messstation erfolgen können. Die meisten der getesteten Messumformer verfügen über ein Bedienfeld, das die direkte Konfiguration und Parametrierung ermöglicht. Dennoch besteht Bedarf nach einer einfachen und einheitlichen Parametrierungsmöglichkeit auf dem PC der Station, um den Aufwand möglichst klein zu halten. Wünschenswert wäre es, wenn die Parametrierung innerhalb der Stationssoftware unter Nutzung standardisierter Schnittstellen vorgenommen werden könnte. Dies würde auch eine einfache und effiziente Umsetzung von Fernparametrierung gestatten, etwa vom zentralen Server aus. Weiterhin besteht in Zusammenhang mit der Parametrierung die Anforderung, dass Parameteränderungen erkannt und in eine Log-Datenbank eingetragen werden müssen. Dies ist für spätere Datenevaluierungen notwendig, da die Sensorparameter die Qualität der Messwerte beeinflussen können.

Tatsächlich gibt es jedoch keine Parametrierungstechnologie, die für alle relevanten Feldbusgeräte bzw. Messumformer verfügbar ist. Selbst für PROFIBUS gibt es zwei konkurrierende Technologien (FDT – Field Device Tool und EDDL – Electronic Device Description Language), die jedoch nicht von allen Herstellern unterstützt werden. Einige Hersteller greifen auf proprietäre Ansätze für die Parametrierung zurück, z.B. in Form einer Webseite, die über eine lokale Ethernetverbindung aufgerufen werden muss. Im Falle von PROFIBUS basieren sowohl der FDT- als auch der EDDL-Ansatz auf den azyklischen Diensten unter Verwendung der Slot/Index-Adressierung, die mit der DPV1-Erweiterung eingeführt worden ist. Somit ist prinzipiell jedes Programm technisch dazu in der Lage, einzelne Parameterwerte von DPV1-kompatiblen Geräten zu lesen und zu schreiben. Allerdings ist dieser systemnahe Ansatz für die Messstation nicht mit vertretbarem Aufwand umsetzbar, da die Parameter der Geräte oft komplexe Abhängigkeiten untereinander haben und folglich eine bestimmte Schreibreihenfolge erfordern. Außerdem können keine semantischen Informationen über die Parameter vom Gerät abgerufen werden, die aber zwingend erforderlich sind, um die Bedeutung der Parameter bzw. deren Werte verstehen zu können.

Aus diesen Gründen wurde entschieden, externe Sensor-spezifische Werkzeuge für die Parametrierung einzusetzen. Zur Kontrolle von Parameter-Änderungen liest die Stationssoftware die aktuellen Parameterwerte aus und vergleicht diese Werte mit den letzten bekannten Werten. Mögliche Änderungen von einzelnen Parameterwerten werden dann in eine eigene Datenbank gespeichert, auf die bei der Datenevaluierung zurückgegriffen werden kann. Zur Umsetzung dieses Ansatzes müssen genaue Informationen (z.B. Adresse und Datentyp) zu den einzelnen Parametern verfügbar sein, die zu diesem Zweck in den Gerätekatalog aufgenommen werden.

## 4 ANFORDERUNGEN AN ZUKÜNFTIGE FELDBUSSYSTEME

Die Erfahrungen bei der Entwicklung der Messstationen haben gezeigt, dass die heute verfügbaren Feldbusssysteme einen erheblichen Aufwand bei der Inbetriebnahme und Parametrierung erfordern. Die Lösung durch Verwendung eines vorkonfigurierten

Gerätekatalogs erlaubt trotz dieser Erschwernisse eine einfache Einbindung von Sensoren, wenn auch mit eingeschränkter Flexibilität. Die Autoren sehen einen deutlichen Handlungsbedarf bei der Entwicklung bzw. Standardisierung von zukünftigen Feldbussystemen und –geräten. In diesem Abschnitt werden die entsprechenden Anforderungen skizziert und verschiedene Feldbussysteme dahingehend bewertet.

Eine offensichtliche Anforderung besteht in der Unterstützung von echtem Plug-and-Play beim Hinzufügen von neuen Geräten. Dies schließt die automatische Adressvergabe mit ein, ähnlich wie es mit Hilfe von DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) in IP-basierten Netzwerken möglich ist. Im Idealfall sollten keine gerätespezifischen Konfigurations- und Beschreibungsdateien erforderlich sein. Stattdessen sollten alle verbundenen Geräte automatisch erkannt (Discovery) und abgefragt werden können. Dazu müsste jedes Gerät einen verständlichen Namen und weitere Attribute wie etwa eine Beschreibung und den Hersteller anbieten.

Die wichtigste Anforderung zur Minimierung des Installations- und Wartungsaufwands besteht in der Verfügbarkeit umfassender semantischer Informationen. Jedes Gerät, das mit dem Netzwerk verbunden ist, sollte alle Informationen bereitstellen, die für dessen Betrieb und Steuerung erforderlich sind. Im Falle eines Messumformers könnte die Messstation dann die verfügbaren Messkanäle sowie alle erforderlichen Angaben zur Verarbeitung der Messwerte abfragen. Zu diesem Zweck muss jeder verfügbare Datenpunkt selbstbeschreibend sein und dazu alle relevanten Metadaten (z.B. Anzeigename, Beschreibung, Datentyp, Wertebereich, Einheit und Qualität) anbieten. Die einzelnen Datenpunkte sollten als Baumstruktur organisiert werden, um auf einfache Weise die hierarchischen Beziehungen auszudrücken (z.B. Sensoren und deren Messwerte). Die Umsetzung dieser Anforderung würde die Merkmale Introspektion und Reflektion erfordern, ähnlich wie sie z.B. der DOME-Ansatz [Riedl05] für verteilte Softwaresysteme beinhaltet. Die Verfügbarkeit umfassender semantischer Informationen direkt in den Geräten würde den für die Messstation entwickelten Gerätekatalog unnötig machen und somit erheblichen Entwicklungsaufwand vermeiden.

Semantische Informationen sind insbesondere für die Parametrierung von Bedeutung. Ähnlich wie bei den eigentlichen Datenpunkten sollten auch für die einzelnen Parameter alle relevanten Angaben (z.B. Name, Beschreibung, Wertebereich) vom Gerät selbst bereitgestellt werden. Zusätzlich ist eine formalisierte Beschreibung der Abhängigkeiten der Parameter untereinander erforderlich. Diese Beschreibung könnte aus einer Menge von logischen Ausdrücken (z.B. *Mode = ‚Saturation‘ implies Unit = ‚%‘*) bestehen, die genau dann wahr werden, wenn eine gültige Wertzuweisung an alle Parameter vorliegt. Mit Hilfe dieser Ausdrücke könnte ein Parametrierwerkzeug automatisch alle gültigen Änderungen einer gegebenen Parametrierung ableiten. Wenn alle erforderlichen Informationen für die Parametrierung direkt von den Geräten selbst bereitgestellt werden, sind keine gerätespezifischen Treiber oder Beschreibungsdateien mehr erforderlich, um Parametrierungen durchzuführen.

In Tabelle 1 ist dargestellt, welche der sechs wichtigsten Anforderungen bereits durch einige der etablierte Feldbussysteme abgedeckt werden. Sowohl PROFINET als auch IO-LINK bietet eine größere Unterstützung für die geforderten Merkmale als PROFIBUS. Dennoch wurde für die Entwicklung der Messstationen noch nicht darauf zurückgegriffen, da die wichtigen Hersteller von Sensoren im Wasserbereich momentan keine entsprechende Unterstützung für ihre Geräte anbieten.

Keines der in Tabelle 1 aufgeführten Systeme bietet eine zufriedenstellende Unterstützung für die genannten Anforderungen. Der Grund dafür ist, dass die Konzepte

dieser Feldbussysteme überwiegend in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt worden sind, als Speicher und Rechenkapazität noch sehr teuer waren. Folglich musste eine sehr geringe Leistungsfähigkeit der Geräte unterstellt werden, so dass einfache Protokolle erforderlich waren.

**Tabelle 1: Unterstützung der Anforderungen durch verschiedene Feldbussysteme**

|  | PROFIBUS | PROFINET | IO-Link | FOUNDATION Fieldbus | HART |
|--|----------|----------|---------|---------------------|------|
| Anschluss neuer Gerät im laufenden Betrieb       | -        | o        | o       | -                   | -    |
| Automatische Adressvergabe                       | -        | +        | o       | -                   | -    |
| Keine geräte-spezifischen Konfigurationsdateien  | -        | -        | -       | -                   | -    |
| Semantische Informationen für Prozesswerte       | o        | o        | o       | o                   | o    |
| Semantische Informationen für Parameter          | o        | o        | o       | o                   | o    |
| Formale Beschreibung der Parameterabhängigkeiten | o        | o        | o       | o                   | o    |

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wurden die Erfahrungen bei der Entwicklung eines neuartigen Systems von Wassergütemessstationen präsentiert. Mehrere technische Herausforderungen im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme von Feldbussystemen und der Parametrierung von Messgeräten wurden erläutert und die gewählten Lösungsansätze dargestellt. Zum einen ist kein Feldbussystem verfügbar, das von allen relevanten Herstellern von Messgeräten unterstützt wird. Zum anderen erfordern die heutigen Feldbussysteme, wie z.B. PROFIBUS, einen relativ hohen Aufwand bei der Inbetriebnahme. Dieser Mehraufwand wird durch die fehlende Unterstützung für Plug-and-Play sowie durch einen Mangel an semantischen Informationen verursacht, der sich auch nachteilig auf die Parametrierung auswirkt. Im hier vorgestellten Ansatz wurde ein Geräteverzeichnis eingeführt, das die Integration alternativer Zugriffstechnologien mit Hilfe von Erweiterungsmodulen ermöglicht und gleichzeitig alle semantischen Informationen bereitstellt, um Messwerte aufzunehmen und Parameterwerte von vorkonfigurierten Geräten auslesen zu können. Schließlich wurden Anforderungen für zukünftige Feldbussysteme und –geräte mit minimalem Installationsaufwand skizziert, einschließlich der Forderung nach echtem Plug-and-Play für Geräte und der Bereitstellung umfassender semantischer Informationen durch die Geräte.

Weitere Informationen zu den Messstationen können unter der Web-Adresse [www.primodal.com](http://www.primodal.com) abgerufen werden.

## 6 LITERATUR

- [Copp10] J. B. Copp, E. Belia, C. Hübner, M. Thron, P. Vanrolleghem und L. Rieger: Towards the Automation of Water Quality Monitoring Networks, IEEE CASE 2010, 6th IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Toronto (2010)
- [Hübner10] C. Hübner, M. Thron, J. B. Copp, L. Rieger und P. Vanrolleghem: Engineering Challenges and Approaches in Water Quality Monitoring Networks, IFAC TA 2010, The Second IFAC Symposium on Telematics Applications, Timisoara, Proceedings S. 163-168 (2010)
- [Riedl05] M. Riedl (2005). Distributed Object Model Environment. Ph.D. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- [Rieger08] L. Rieger und P.A. Vanrolleghem: monEAU: A platform for water quality monitoring networks. Water Science and Technology, 57(7), 1079-1086 (2008)
- [Strobl06] R. O. Strobl, P. D. Robillard, R. D. Shannon, R. L. Day und A. J. McDonnell (2006). A water quality monitoring network design methodology for the selection of critical sampling points: Part I. Environ. Monit. Ass., 112, 137-158