



# Wächter des Wassers

1

Autonome Katamarane und Bojen, ausgestattet mit sensiblen Sensoren, ermöglichen die effiziente Überwachung der Wasserqualität in Seen, Lagunen und Flüssen. Für die Übermittlung der Messdaten und die Einsatzkontrolle entwickelte die Hochschule Luzern eine optimierte drahtlose Kommunikationsinfrastruktur.

Antoine Hauck, Assistent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur,  
Kompetenzzentrum CC Distributed Secure Software Systems

**A**nlässlich des siebten Rahmenprogramms der Europäischen Union für Forschung und Entwicklung wurde im Dezember 2008 das Projekt HydroNet initiiert. Ziel des EU-Projektes ist es, eine autonome Flotte für die Überwachung der Wasserqualität in verschiedenen Gewässern zu realisieren. Die Flotte besteht aus unbemannten Katamaranen und Bojen, die mit biologischen, optischen und chemischen Sensoren ausgerüstet sind. Damit können Schadstoffe in Flüssen, Seen, Lagunen und flachen Gewässern gleichzeitig an verschiedenen Stellen gemessen und so Verschmutzungen schneller erkannt und deren Quelle präziser lokalisiert werden. Die ermittelten Daten werden in Echtzeit drahtlos an die Küste übermittelt, damit Behörden gezielte und rasche Gegenmassnahmen ergreifen können. Am Projekt sind zehn Partner aus sechs Ländern beteiligt, darunter die Hochschule Luzern – Technik & Architektur, welche die Kommunikationsinfrastruktur erstellt.

## Flotte im Einsatz

Die Flotte soll in der Lage sein, Teile von offenen Gewässern mit einer Fläche von 10 x 3 km ebenso wie 15 km lange Flussabschnitte autonom zu überwachen. Die Bojen werden stationär aufgestellt, die Katamarane fahren das Gebiet ab. In Letzteren sind neben GPS zur Positionsermittlung Kameras und Mechanismen eingebaut, die helfen, Zusammenstösse mit Hindernissen wie Küsten, Inseln und Schiffen zu vermeiden. Bojen und Katamarane bilden ein Netzwerk aus Kommunikationsknoten. Die Knoten sind mit miniaturisierten Sensoren, hauptsächlich für die Messung von Quecksilber, Chrom, Kadmium und Öl, ausgestattet. Am Festland ist eine Basisstation installiert, die Messresultate und Statusinformationen von den Knoten empfängt und Daten an die Katamarane sendet. Die Knoten werden primär mit einem Akkumulator versorgt und sind mit Strom sparenden Komponenten ausgestattet, um die Einsatzdauer zu verlängern.

## Verständigungsprobleme

Bei zehn beteiligten Projektpartnern aus unterschiedlichen Disziplinen sowie verschiedenen Kulturen und Ländern, ist es teilweise schwierig, eine gemeinsame Sprache zu finden. Verständigungsprobleme treten auch in technischer Hinsicht bei der drahtlosen Kommunikation zwischen den Knoten beziehungsweise zur Basisstation auf:

- Verschiedene Hindernisse verhindern eine direkte Kommunikation zwischen zwei Knoten.
- Länderspezifische Vorschriften regeln die Nutzung und Bandbreite der Frequenzbänder.
- Die Reichweite wird durch die maximal erlaubte Höhe der Antenne über der Oberfläche reduziert (die Funkwellen werden stärker von Wasser absorbiert).

Diesen Herausforderungen begegnet das Projektteam mit zweierlei Massnahmen. Einerseits sind Leistung und Wellenlänge so gewählt, dass grössere Distanzen überwunden werden, gesetzliche Vorschriften länderübergreifend eingehalten werden und keine Lizenzkosten entstehen. In

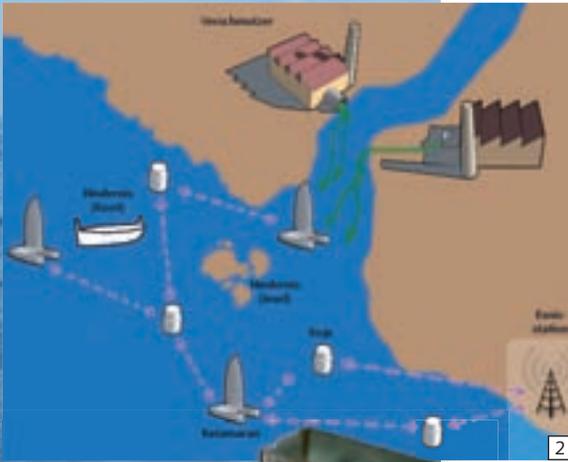


Bild 1: Ein Katamaran misst die Schadstoffe im Wasser.

Bild 2: Einsatz im offenen Gewässer, Knoten leiten die Messdaten bis zur Basisstation weiter.

Bild 3: Über dieses Modul kommuniziert ein Knoten mit der Aussenwelt.

Die Tabelle beschreibt Situationen, die bei der Kommunikation zwischen Knoten auftreten können, und erklärt, wie Babel damit umgeht.

HydroNet werden die Daten bei 434 MHz im ISM-Frequenzband mit einer maximalen Leistung von 2500 mW übermittelt. Die zugelassene Bandbreite des Kanals (25 kHz) und die Hardware ermöglichen einen theoretischen Datendurchsatz von 9,6 kBit/s (Fehlerrate: 0,1 Prozent; Sensitivität des Empfängers: -90 dBm). Andererseits werden mit Hilfe von Routing-Mechanismen die Daten via benachbarten Knoten weitergeleitet, um Ziele zu erreichen, die nicht in Reichweite liegen. Der Zielknoten wird erreicht, sofern genügend Knoten dazwischen liegen, die den Kommunikationspfad ermöglichen. Da sich

gewisse Knoten permanent bewegen, ändern sich die Nachbarsbeziehungen laufend. So könnte zum Beispiel ein Knoten, der zuvor für die Weiterleitung verwendet wurde, bereits zu weit entfernt sein und die Daten würden ihr Ziel nicht erreichen. Die Routing-Mechanismen stellen sicher, dass Änderungen in der Topologie schnell erkannt und die einzelnen Knoten mittels Routing-Informationen darüber informiert werden. Somit kann jeder Knoten sein Wissen, über welche Nachbarn andere Knoten erreicht werden, aktualisieren (Routing-Tabelle). Zudem soll verhindert werden,

dass Pakete ständig in einer Schleife (Routing Loops) umherwandern und dadurch ihr Ziel nicht erreichen und die Kommunikation anderer Teilnehmer blockieren.

### Reichweiten bis zu 100 Kilometer

Die Kommunikation erfolgt über ein eigenständiges Modul, das via RS232-Schnittstelle von der Steuerung des Knotens angesprochen wird. Im Inneren sind ein ultra-low power Texas Instruments MSP430 Mikrocontroller mit 8 MHz Taktfrequenz und ein Semtech XE1205 Transceiver untergebracht. Durch eine speziell von der Hochschule Luzern gefertigten Schaltung wird die abgestrahlte Leistung von 32 mW auf 2500 mW verstärkt. Bei idealen Wetterbedingungen und optimaler Anordnung der Antennen wurden bei Tests Reichweiten bis zu 100 km erreicht. Die Software für die Kommunikation und das Routing läuft auf dem Open-Source Betriebssystem TinyOS. Es wurde speziell für miniaturisierte, drahtlose Sensorknoten entwickelt. TinyOS zeichnet sich durch ein ereignisbasiertes Ausführungsmodell und dem sehr niedrigen Ressourcen-Verbrauch aus.

### Subset-Implementation für Babel entwickelt

Jeder Knoten braucht ein Teilwissen über die Topologie der Knoten im Netzwerk, um effizient die Daten weiterzuleiten. Dieses Wissen erwerben die Knoten, indem sie untereinander Rou-

ting-Informationen austauschen und mit Strategien den optimalen Übermittlungspfad berechnen. Dazu bedarf es eines Routing-Protokolls. Es gibt verschiedene bewährte Routing-Protokolle; jedes einzelne ist für bestimmte Anwendungszwecke (drahtgebundene, drahtlose Netze, Ressourcenverbrauch et cetera) optimiert. Für die verwendete Hardware, das Betriebssystem und die bestehenden Projektanforderungen existierten keine bewährten Protokolle. Da HydroNet ein Forschungsprojekt ist, wurden bewusst Routing-Protokolle oder Ansätze, an denen noch geforscht wird, in Betracht gezogen. Schlussendlich wurde das Protokoll Babel ausgewählt, welches in der RFC 6126 (siehe <http://tools.ietf.org/html/rfc6126>) beschrieben ist und im April 2011 den Status «Experimentell» erhielt. Babel hat viele Funktionen, zum Beispiel kann es auf drahtlosen und drahtgebundenen Netzen sowie mit IPv4/IPv6 gleichzeitig betrieben werden. Viele dieser Funktionen sind aber für HydroNet nicht gefordert. Deshalb entwickelte die Hochschule Luzern eine Subset-Implementation des Babel-Protokolls, die auf dem Betriebssystem TinyOS läuft und die speziellen Kommunikationsbedürfnisse von HydroNet erfüllt (siehe Tabelle).

### Ausblick

Der erfolgreiche Einsatz dieser Kommunikationsinfrastruktur zeigt auf, dass sich Babel für TinyOS in drahtlosen Netzwerken mit beschränkten Ressourcen einsetzen lässt. Eine Nutzung in anderen Projekten wäre möglich. HydroNet beweist ebenfalls, dass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von internationalen Partnern funktioniert. Dabei spielt jedoch die regelmässige Kommunikation und das Festlegen gemeinsamer Schnittstellen zwischen den Partnern eine entscheidende Rolle. Die Hochschule Luzern konnte durch dieses Projekt wertvolle Kontakte mit internationalen Forschungspartnern knüpfen und erneut einen vertieften Einblick in die Forschungsaktivitäten der Europäischen Union gewinnen. **at**

Hochschule Luzern - Technik & Architektur,  
[www.hslu.ch/d3s](http://www.hslu.ch/d3s), [www.hslu.ch/electronics](http://www.hslu.ch/electronics)  
[www.hydro-net-project.eu](http://www.hydro-net-project.eu)

Situation	Reaktion von Babel
Übertragungsmedium Luft; Limitierte Bandbreite; Kollisionen von Paketen	Sendet ein Knoten Daten durch die Luft, werden diese von allen Nachbarn in direkter Reichweite empfangen (Broadcast). Für HydroNet kann Babel mehrere Routing-Informationen in ein einzelnes Paket zusammenführen und dieses als Broadcast an alle seine Nachbarn senden. Ein Nachbar beachtet nur die Informationen, die an ihn adressiert sind. Dadurch wird statt mehreren Paketen nur ein einziges verschickt und der Kanal entlastet. Um Kollisionen zu vermeiden, sendet jeder Knoten nicht sofort nach einer Anfrage Daten, sondern wartet eine zufällig gewählte Zeit lang.
Topologie erkunden	Babel erkundet Nachbarn mit dem Meldungspaar «Hello» und «I Heard You» (IHU). Um den Kanal optimal zu nutzen, wird das Intervall, mit denen diese Meldungen verschickt werden, dynamisch anhand des Kommunikationsaufkommens und der Verbindungsqualität bestimmt. Mit «Update»-Meldungen werden die Routing-Informationen verbreitet.
Nachbarsbeziehungen ändern sich durch hohe Dynamik; Hindernisse; Witterungseinflüsse	Die Qualität der Verbindung zweier benachbarten Knoten wird mit dem Estimated Transmission Cost (ETX) Verfahren berechnet, das speziell für drahtlose Netze geeignet ist. Diese Berechnung ist bidirektional und basiert auf den «Hello»- und «IHU»-Meldungen. Asymmetrische oder gestörte Verbindungen werden somit zuverlässig erkannt. Im Vergleich zu seinen Vorgängern, wie das Destination-Sequenced-Distance-Vector-Protokoll (DSDV-Protokoll), zeichnet sich Babel dadurch aus, dass es viel schneller auf einen Mangel von geeigneten Pfaden zu einem Knoten reagiert. Wenn ein Knoten A bemerkt, dass er (bald) keinen Pfad zu einem vorhin bekannten Knoten B mehr hat, sendet A explizit eine Anfrage an B für die aktuellsten Routing-Informationen.
Sehr begrenzter Arbeitsspeicher (10 KB) und Flash (48 KB)	Babel ist ein Distanzvektorprotokoll und muss im Gegensatz zu Link-State-Protokollen nicht die gesamte Topologie speichern. Die verwendeten Routing-Informationen sind sehr schlank gehalten und benötigen ebenfalls wenig Arbeitsspeicher.