

Echtzeitgesteuerte und gekoppelte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Oberflächengewässern im Innenstadtbereich von Århus, Dänemark – ein Beitrag zu Wasser 4.0

P. Engelke^{1*}, P. Keilholz¹, A. Lynggaard-Jensen²

¹DHI-WASY GmbH, Volmerstr.8, D-12489 Berlin

²DHI Hørsholm – Head Office, Allé 5, DK-2970 Hørsholm

*Email des korrespondierenden Autors: peng@dhigroup.com

Kurzfassung Am Beispiel von Århus, mit 260.000 Einwohnern die zweitgrößte Stadt Dänemarks, wird eine echtzeitgesteuerte und gekoppelte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Oberflächengewässern gemäß dem Wasser 4.0-Konzept vorgestellt. Mithilfe des in Echtzeit gesteuerten Entwässerungssystems werden die innerstädtischen Gewässer vor übermäßigen Schmutzfrachteinträgen geschützt, damit diese gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie und der EU-Badegewässerrichtlinie entwickelt und langfristig zu Erholungsgebieten aufgewertet werden. Wesentlich dafür ist die Verbesserung der Wasserqualität, die bisher v.a. durch Mischwassereinleitungen beeinträchtigt worden ist, und die Reduzierung der Neuinvestitionen.

Schlagwörter: Wasser 4.0, Echtzeit-Steuerung, gekoppelte Wasserbewirtschaftung, Abflussvorhersage

1 EINLEITUNG

Die Stadt Århus hat sich der Aufgabe angenommen, ihre alten Industrie- und Hafenquartiere in Wohn- und Erholungsgebiete umzuwandeln. Die im Innenstadtbereich von Århus bestehenden und miteinander verbundenen Gewässer – der Brabrand-See, der wieder geöffnete Fluss Århus und der Hafenbereich – sollen langfristig zu Erholungsgebieten mit hohem Freizeitwert entwickelt werden.

Um die Möglichkeiten für die Freizeitgestaltung an See, Fluss und Hafen sowie auch im Besonderen die Einrichtung von Badestellen zu fördern, muss die Wasserqualität nach den Vorgaben von EU-Wasserrahmenrichtlinie und EU-Badegewässerrichtlinie verbessert werden. Diese Lösung ist zudem dem zu erwartenden Klimawandel-Szenario angepasst worden.

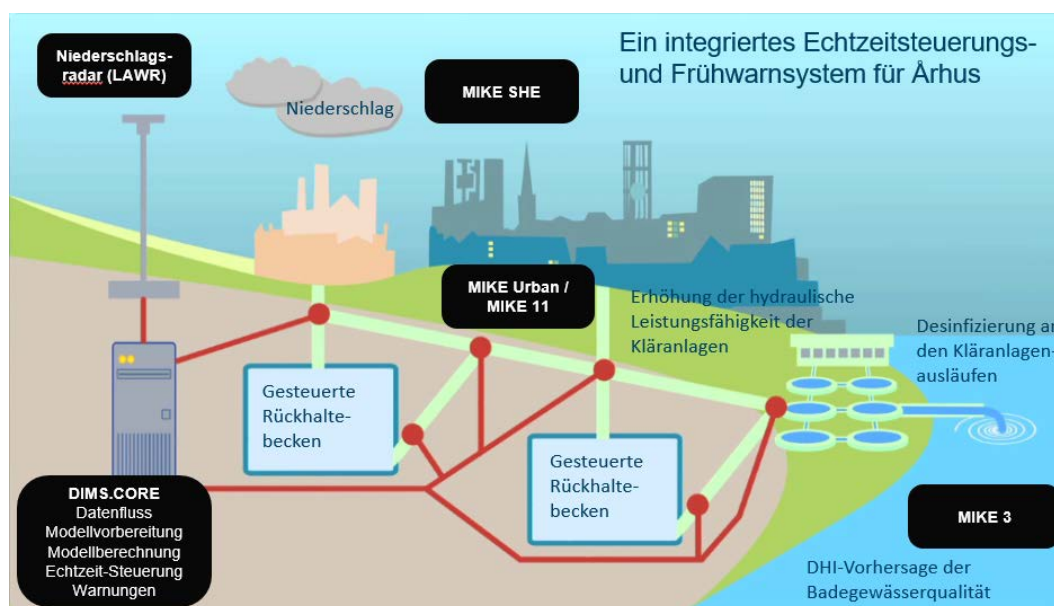


Abbildung 1: Steuerungsschema für die integrierte Kontrolle des Abwassersystems und der Kläranlage auf Grundlage einer Wasserqualitätsmodellierung

Die Implementierung der Echtzeitsteuerung wurde auf der Grundlage von kontinuierlichen Vorhersagemodellierungen ermöglicht. Hierzu ist eine komplexe Wasserqualitätsmodellierung in eine Kette von hydraulischen Modellen, die größtenteils Produkte der Firma DHI (Danish Hydraulic Institute) sind, eingebettet worden (Abbildung 1). Für den Fluss und den See kommt das 1-dimensionale MIKE 11 zum Einsatz. Mit MIKE URBAN werden die Abwassersysteme berechnet und mit Hilfe von MIKE 3 wird die 3-dimensionale Strömung im Hafenbereich abgebildet. Das Modul ECOLab simuliert die biologischen Prozesse im Wasser. Der Niederschlag wird mit dem lokalen Niederschlagsradar LAWR erfasst, um die daraus folgende Abflusskonzentration zu ermitteln. Diese wird mit dem Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE dynamisch modelliert. Alle Modelle arbeiten gekoppelt, was bedeutet, dass Datenfluss, Modellvorbereitung, Modellberechnung, Echtzeitsteuerung und Warnungen im Echtzeit-Betrieb erfolgen können. Dies wird durch eine Software zur Echtzeit- und Prozessdatenintegration (DIMS.CORE) koordiniert (Abbildung 1 und 3). Zentrales Ergebnis ist, dass über die echtzeitgesteuerte Qualitätsmodellierung aktuelle Angaben zur Badegewässerqualität gewonnen werden. Die Überwachung und Vorhersage der Badegewässerqualität haben hinsichtlich des Wirtschaftsfaktors Tourismus für Århus eine große Bedeutung. Es wird gewährleistet, dass über einen statistischen Durchschnittszeitraum von 4 Jahren in 95 % der Zeit eine ausreichende Badegewässerqualität erreicht wird. Die Wasserqualität wird über die Indikatorkeime E. coli und Enterococcus beurteilt, deren natürliche Absterberaten mithilfe von ECOLab ermittelt werden. Der Transport und die Ausbreitung der Keime im Wasserstrom werden wiederum über eine Advektions/Dispersions-Modellkomponente in MIKE 3 berechnet.

2 ÅRHUS ALS BEISPIEL FÜR WASSER 4.0

Um hohe Ziele bezüglich Effizienz, Schnelligkeit und Flexibilität zu erreichen, findet in der industriellen Produktion seit einiger Zeit bereits ein Wandel statt, der Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel durch hochauflösende Sensorik und Internetvernetzung in die Lage versetzt, selbständig Informationen auszutauschen und somit Produktionsprozesse effizient und echtzeitgesteuert zu gestalten. Diese Entwicklung wird unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst oder auch als IoT (Internet der Dinge und Dienste) bezeichnet. Wasser 4.0 stellt die Digitalisierung und Automatisierung in den Mittelpunkt einer Strategie für eine ressourceneffiziente, flexible und wettbewerbsfähige Wasserwirtschaft. Dabei greift Wasser 4.0 in Analogie zur Initiative Industrie 4.0 maßgebliche Merkmale und Begriffe dieser industriellen Revolution auf und bringt sie in einen systemischen, wasserwirtschaftlichen Zusammenhang.

In der Umsetzung von Wasser 4.0 sind cyber-physische Systeme (CPS) Treiber der optimalen Vernetzung virtueller und realer Wassersysteme, wobei Planung, Bau und Betrieb weitgehend von Software durchdrungen werden. Damit wird eine intelligente Vernetzung von Wassernutzern (Landwirtschaft, Industrie und Haushalte) und Komponenten in einer zukunftsfähigen Wasserinfrastruktur mit der Umwelt und dem Wasserkreislauf ermöglicht und ein ganzheitlicher Ansatz entlang der Wertschöpfungskette verfolgt. So können mit Wasser 4.0 Systeme von der Sensorebene über die Steuerungsebene bis hin zur Unternehmensebene gestaltet werden.

Bereits jetzt zeigen die Ergebnisse erster Studien, dass eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts Wasserwirtschaft 4.0 möglich ist. Das Beispiel Århus zeigt, wie eine Echtzeitsteuerung nach dem Vorbild von Wasser 4.0 erfolgreich implementiert werden kann.

3 ERMITTLUNG EINER VORZUGSVARIANTE

Die Abbildung der Stadt Århus erfolgt in einzelnen Modellen, die Kanalnetz, Gewässerflächen und Geländeflächen sowie Oberflächennutzung darstellen. Mittels Simulationen an den gekoppelten Modellen ist eine Vorzugsvariante für eine optimale Gewässerbewirtschaftung ermittelt worden, mit der das System sicherer, effizienter und kostengünstiger gestaltet werden kann. In der Vorzugsvariante sind folgende wesentliche Lösungen ermittelt worden:

- Bau von sieben neuen Rückhaltebecken (inkl. Stauraumkanal) mit einem Gesamtspeichervolumen von ca. 67.000 m³ (Abbildung 2),

- Ausbau der hydraulischen Kapazität in drei Klärwerken (zusätzliche Absetzbecken und optimierte Steuerung während starker Niederschläge),
- Desinfektion des gereinigten Abwassers in zwei Kläranlagen, die in den Fluss Århus einleiten und
- Implementierung einer Echtzeitsteuerung für das Abwassersystem und eines Vorwarnsystems für die Badegewässerqualität im Hafenbereich.

Durch die zusätzlich errichteten Retentionsbauwerke und die effektive Ausnutzung freier Kanalvolumina werden die Entlastungsmengen aus 75 Mischwasserüberläufen in die Oberflächengewässer verringert und der Zufluss zu den Kläranlagen vergleichmäßigt, sodass hier ein stabilerer Reinigungsprozess gewährleistet wird.

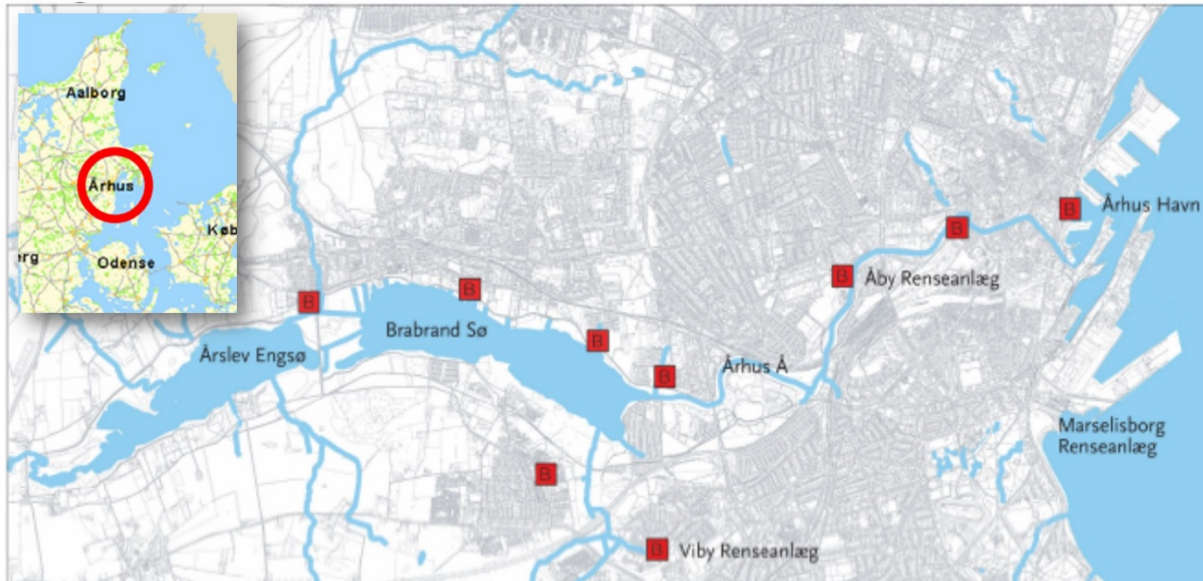


Abbildung 2: Gewässersystem im Stadtgebiet von Århus mit den geplanten Rückhaltebecken

4 STEUERUNGSELEMENTE

Das Entwässerungssystem ist mit steuerbaren Ventilen, Klappen, Wehren und zahlreichen Pegelmesspunkten sowie Durchflussmessern ausgestattet worden. Die an allen Speicherbecken und Pumpstationen installierte **Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)** ist mit der Steuerungstechnik und den Messeinrichtungen verbunden worden.

Die Echtzeit-Steuerung, das Überwachen und Steuern der technischen Prozesse, erfolgt computergestützt automatisch, indem die **Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)** auf die in einem gesicherten Netzwerk miteinander verbundenen SPS zugreift. Mit den vom lokalen Wetterradar (LAWR) abgerufenen Daten erfolgen über die Verwaltung durch die DIMS.CORE-Software die Berechnung und Vorhersage zur Verteilung der Niederschlagsintensitäten. Diese ermittelten Daten werden wiederum an die Modelle weitergegeben, um dann die simulierten Abflussszenarien mit den Elementen der Echtzeit-Steuerung zu kommunizieren, sodass die optimale hydraulische Zuluflast zu den Kläranlagen erreicht wird.

5 STEUERUNGSEBENEN UND RÜCKFALL-STRATEGIE

Die Echtzeitsteuerung des Kanalnetzes ist in vier Ebenen aufgeteilt, wobei bestimmte Anforderungen an den Systemzustand (Verfügbarkeit von Messpunkten und Messdaten) erfüllt sein müssen, um die Steuerung auf einer Ebene aufrechtzuerhalten; ist dies nicht der Fall, findet eine vereinfachte Steuerung auf der tiefer liegenden Ebene statt (Abbildung 3). Die vier Ebenen mit einem jeweils unterschiedlich detaillierten Steuerungsgrad sind von Ebene 3 bis Ebene 0 wie folgt zu beschreiben:

Ebene 3: Diese beinhaltet eine umfassende vorausschauende Steuerung auf Grundlage von Niederschlagsvorhersagen, die alle fünf Minuten aktualisiert werden. Zur Ermittlung der Abflüsse im System gehen in die Modellsimulationen diese aktuellen Niederschlagsprognosen ein. Dieser Betrieb erfordert, dass sich alle zum Einsatz kommenden Systemelemente und Geräte in einem funktionstüchtigen und fehlerfreien Betriebszustand befinden.

Ebene 2: Eine Steuerung auf dieser Ebene wird aktiviert, wenn Niederschlagsdaten fehlen und somit auch keine Abflusskonzentrationen simuliert werden können oder es zum Ausfall anderer Mess- und Steuergeräte kommt. Dann erfolgt die Modellsimulation und nachfolgende Steuerung auf Grundlage von Wasserstands- und Durchflussmessungen mit 1-Minuten-Werten. Ebene 2 garantiert i.d.R. einen reibungslosen und stabilen Betrieb in seinen Grundverständnissen, ohne die zur Verfügung stehenden Volumina optimal zu bewirtschaften.

Ebene 1: Diese berücksichtigt nur eine lokale Steuerung auf Grundlage von Pegelmessungen mit 1-Sekunden-Werten.

Ebene 0: Notfallsteuerung.

Auf die Ebenen 1 und 0 wird im Falle von technischen Problemen automatisch zugegriffen oder aber manuell, wenn Reparaturarbeiten und Kontrollen durchgeführt werden – i.d.R. während der Trockenwetterperioden.

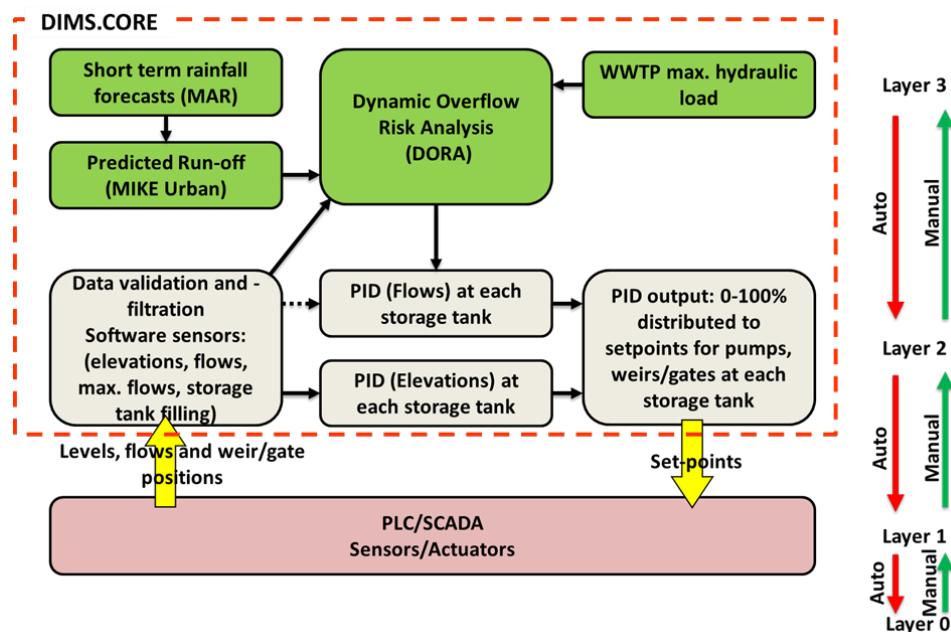


Abbildung 3: Übersicht RTC-System - Datenfluss, Schichtstruktur und Ausweichstrategien

Die Steuerung der Ebenen und der Durchflüsse im System, welche über die an jedem Speicherbecken installierten SPS durchgeführt wird, ist das Ergebnis von der Ausnutzung der Speichervolumina. Ziel ist eine intelligente Steuerung, die weit über eine einfache starre, nicht kommunizierende Steuerung in Abhängigkeit von Durchfluss- und Wasserstands-Beziehungen hinausgeht. Auf Grundlage von Prognosen zur Niederschlagsverteilung für die nächste Stunde können die in den Speicherbecken zur Verfügung stehenden Volumina optimal bewirtschaftet und befüllt werden, sodass in Abhängigkeit der gefallenen Niederschlagsmengen Wasser-Überläufe aus dem Entwässerungssystem in die Flüsse so gering wie möglich gehalten werden. Mit diesem Ebenen-System und der beschriebenen Rückfall-Strategie wird gewährleistet, dass es bei Ausfall bestimmter Komponenten nicht zu einem Gesamtausfall des Steuerungssystems kommt, sondern der Fortbetrieb mit vereinfachter Steuerungsform gewährleistet wird.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mithilfe der Modelle sind bereits vor und während der Umsetzungsplanung Optimierungspotenziale für eine Gewässerbewirtschaftung ermittelt worden, sodass die zu bauenden Rückhaltebauwerke mit einem deutlich geringeren Speichervolumen, als ursprünglich veranschlagt, ausgelegt werden konnten. Durch den Bau von gesteuerten Retentionsbauwerken mit einem Baukostenvolumen von ca. 47 Mio. sind gegenüber dem Bau von konventionell betriebenen Retentionsbauwerken mit einem veranschlagten Baukostenvolumen von 79 Mio. Euro ca. 32 Mio. Euro eingespart worden, was für die Stadt Århus eine Kostenreduktion von 40 % bedeutet.

Das System wurde bis 2013 ohne und wird seit Herbst 2013 mit Niederschlagsvorhersage betrieben. Die Auswirkungen des vollständigen Steuerungsbetriebs auf Ebene 3 sind mit Beginn der offiziellen Badesaison im Frühjahr 2014 wahrzunehmen. Die hygienische Wasserqualität im See Brabrand, im Fluss Århus und im Hafen haben sich seitdem bemerkenswert verbessert, sodass auch die Vorgaben aus der EU-Badegewässerrichtlinie eingehalten werden.

Nach der fünf Jahre dauernden Planung, Entwicklung und Implementierung des Systems in gemeinsamer Kooperation zwischen DHI, Krüger AS und Århus Wasser können weitere Empfehlungen fokussiert werden:

- Es ist wichtig, dass das Bedienpersonal aktiv an der Entwicklung und Umsetzung mitarbeitet. Dies sichert das Verständnis zum Betrieb und vermeidet ein "Black Box"-System. Die interne IT-Organisation der betreibenden Firma muss in die Entwicklung und den Betrieb von kritischen Bestandteilen des Systems eingebunden werden, d.h. IT-Architektur, Betrieb und Wartung von Servern.
- Zur Erreichung eines optimalen Betriebszustands sind weitergehende Kalibrierungen des Systems erforderlich. Dazu werden zusätzliche gezielte Messungen im Kanalnetz benötigt. Auch die Kalibrierung von Software-Sensoren ist unerlässlich.
- Das SCADA/SPS-System muss alle tatsächlichen Komponenten im System berücksichtigen. Online-Datenverbindungen sind ein absolutes Muss. Eine Strategie zu einer sicheren Rückfallebene sollte umgesetzt werden, und Komponenten auf der untersten Ebene sollten für den Notfallbetrieb mit unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) ausgestattet werden. Für eine standardisierte Funktionsweise der Steuerungsschritte und der Komponenten sollten Beschreibungen und Standards mit Nummerierungen und Signalen eingeführt werden.
- Die organisatorische Verantwortung muss für alle operativen Aufgaben mit Fokus auf einen 24/7 Betrieb klar definiert sein. Dies ist insbesondere für die Ebenen 0 und 1 wesentlich. Das System besitzt bereits einen in der Entwicklungsphase befindlichen Benachrichtigungsdienst, der automatisch Alarmmeldungen an Mitarbeiter sendet; dieser ist weiter fortzuentwickeln.

7 REFERENZEN

- Halkjær Jensen, I., Lynggaard-Jensen, A., Petersen Krüger, S.O. (2014): Water Quality Warning System for Urban Areas. PREPARED Deliverable D4.5.4, Report no.: 2014.015, Brüssel, Belgien.
- Halkjær Jensen, I., Lynggaard-Jensen, A., Petersen Krüger, S.O. (2015): Demonstration of Integrated real time control of sanitation systems incl. early warning for WQ in receiving waters in Århus, Hørsholm, Dänemark.
- Lynggaard-Jensen, A., Husum, F. (2012): Real time control strategies on wastewater treatment plants enhancing hydraulic capacities during rain: PREPARED Deliverable D4.5.2, Report no.: 2013.013, Seventh Framework Programme, The European Commission, Brüssel, Belgien.
- Møller, A.; Hansen, H. P.; Pedersen, L.; Kaltoft, J.; Nygaard, M.; Bassø, L.; Frier, H.; Mølbye, N. (2014): Real Time Monitoring, Modeling and Control of Sewer Systems: PREPARED Deliverables, D4.5.1/D4.5.3, Report no.: 2013.012 & 2014.014, Seventh Framework Programme, The European Commission, Brüssel, Belgien.
- SKM (2011), "Operational Surplus Assessment", Draft Report prepared for State Water.