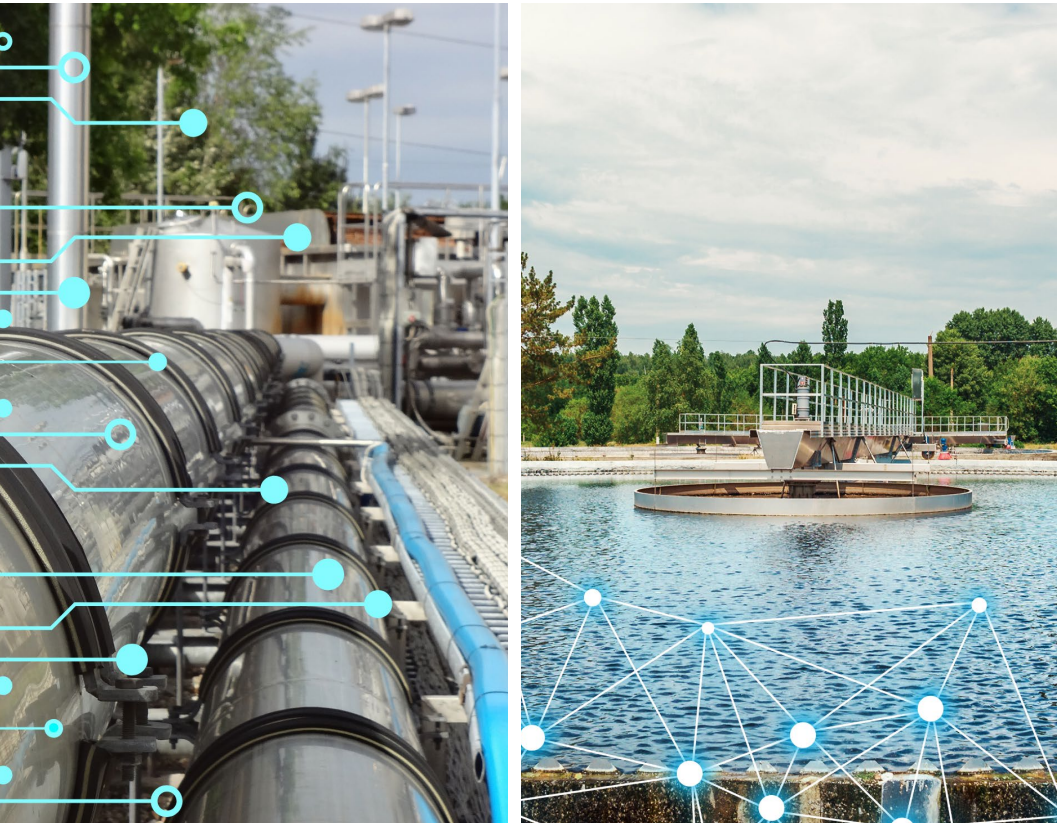


Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

WavE

Wassertechnologien: Wiederverwendung



Digitalisierung in der Wasserwiederverwendung

Ergebnisse des WavE-Querschnittsthemas
„Digitalisierung“ der BMBF-Fördermaßnahme
„Wassertechnologien: Wiederverwendung“

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

MÄRZ 2025

Impressum

HERAUSGEBER:

DECHEMA e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

AUTOREN:

Javad Ahmadi (TUM); Markus Ahnert (TU Dresden); Marc Becket (Fraunhofer IGB); Daniel Dittmann (UBA); Thorsten Grassmann (ZAE Bayern); Lena Hahn (CUTEC); Helmut Heller (LRZ); Christina Jungfer (DECHEMA); Thomas Letzel (AFIN-TS); Achim Ried (Xylem Services GmbH); Stephan Scherle (Fraunhofer IGB); Stephan Schmidt (SMS group); Axel Staiger (elkoplan); Thomas Track (DECHEMA); Jörg Waschull (Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH); Martin Weng (aixprocess).

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE):

Beim BMBF:

Dr. Rainer Müssner
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat 726 „Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung“
53170 Bonn

Beim Projektträger:

Dr.-Ing. Markus Delay
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

EDITOR:

Vernetzungs- und Transfervorhaben der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:

Dr. Thomas Track
DECHEMA e.V.
Tel.: 069 7564-427
Fax: 069 7564-117

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 02WV1560

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren der einzelnen Beiträge.
Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im März 2025

Bildnachweise: Canva, DECHEMA

Inhalt

1	Einleitung: Digitalisierung in WavE.....	3
1.1	Begriffe und Begriffsnutzung.....	3
1.1.1	Digitalisierung	3
1.1.2	Digitaler Zwilling.....	5
1.2	Übersicht der Anwendungsgebiete & Zielstellungen der WavE-Projekte.....	7
2	Factsheets zur Digitalisierung in den WavE-Projekten	8
2.1	Factsheet – Projekt FlexTreat.....	9
2.2	Factsheet – Projekt Nutzwasser	12
2.3	Factsheet – Projekt <i>innovatION</i>	15
2.4	Factsheet – Projekt Med-zeroSolvent.....	18
2.5	Factsheet – Projekt ReWaMem	20
2.6	Factsheet – Projekt NERA	22
2.7	Factsheet – Projekt WEISS_4PN.....	24
2.8	Factsheet – Projekt RIKovery	26
3	Fazit.....	29
3.1	Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis.....	29
3.1.1	Wirtschaftliche Perspektiven.....	29
3.1.2	Wasserwirtschaftliche Perspektiven	30
3.1.3	Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung.....	31
3.1.4	Know-how / Wissen in digitalen Systemen	32
3.2	Künftige (Forschungs)Bedarfe	33
3.2.1	Datenaufnahme / -übermittlung	33
3.2.2	Datennutzung.....	34
3.2.3	Datenausgabe / Visualisierung.....	34
3.2.4	(Forschungs)Bedarfe aus wasserwirtschaftlichen Herausforderungen.....	35
3.2.5	(Forschungs)Bedarfe aus Möglichkeiten der Digitalisierung	36
4	Literatur.....	38

1 Einleitung: Digitalisierung in WavE

Die Digitalisierung bietet in vielen Technikbereichen durch die Vernetzung und die Nutzung digitaler Werkzeuge große Potenziale in Bezug auf effiziente und vorausschauende Ressourcennutzung. Diese Potenziale werden insbesondere auch für bestehende und neue Wassertechnologien gesehen. Gleichzeitig bringt Digitalisierung auch neue Herausforderung mit sich, da die erforderliche Expertise der jeweiligen Prozesstechnik (Domain Knowledge) um digitale Kompetenzen erweitert werden muss. Die Digitalisierung und die damit verbundene automatisierte Nutzung unterschiedlichster Daten bietet ein hohes Innovationspotenzial für die Wasserwirtschaft. Bereits in der Bekanntmachung der BMBF-Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ (WavE) wurde daher das Thema Digitalisierung adressiert und mit Beginn der Förderung als ein Querschnittsthemen identifiziert. Die folgenden Verbundprojekte waren an dem Querschnittsthema beteiligt: *FlexTreat; innovatIOn, Med-zeroSolvent, NERA, Nutzwasser, ReWaMem, RIKovery, WEISS_4PN*.

Entsprechend der Vielfalt der wassertechnologischen Forschungsthemen im WavE-Programm variieren auch die Zielstellungen und verwendeten Ansätze zur Digitalisierung in einem weiten Bereich. Neben der Darstellung der Bandbreite der Digitalisierungskonzepte in den Projekten ist die Identifikation projektübergreifender digitaler Ansätze und Methoden ein weiteres Ziel des Querschnittsthemas. Hieraus lassen sich Anwendungsperspektiven, Herausforderungen auf dem Weg dorthin sowie künftige Bedarfe in Forschung und Entwicklung aufzeigen.

Im Folgenden gehen wir auf die Begriffsnutzung „Digitalisierung“ und „Digitaler Zwilling“ ein und zeigen die Zielstellungen der Digitalisierungsansätze in den WavE-Verbundprojekten auf. Das Herzstück dieses Berichts ist das Kapitel 2, in dem die Factsheets der WavE-Verbundprojekte aufgeführt sind. Jedes Projekt stellt neben der Fragestellung des digitalen Ansatzes und der Umsetzung im Projekt auch die Anwendungsperspektiven und den Mehrwert für die Praxis sowie weitere Forschungsbedarfe und Herausforderung dar. In Kapitel 3 wird der Mehrwert der Digitalisierung für die Projekte noch einmal genauer betrachtet.

1.1 Begriffe und Begriffsnutzung

Es gibt eine hohe Heterogenität in den Begriffsdefinitionen von "Digitalisierung" und "digitaler Zwilling", auch im Wassersektor. Diese Begriffe werden in verschiedenen Kontexten und Anwendungen unterschiedlich interpretiert und verwendet, was zu einer Vielzahl möglicher funktioneller Erwartungen führt. Einige Definitionen sowie die Nutzung innerhalb der WavE-Projekte werden im Folgenden aufgeführt.

1.1.1 Digitalisierung

Unter dem Begriff der Digitalisierung werden im Wasser-Sektor vielfältige daten- und technologiegetriebene Bestrebungen zur Verbesserung der Effizienz, Nachhaltigkeit und Sicherheit der Wasserwirtschaft subsummiert. Darunter fallen folgende Aspekte:

- **Effizientes Wassermanagement:** Die Digitalisierung wird genutzt, um ein zukunftsfähiges Management der Wasserressourcen zu gewährleisten. Dies umfasst die Einführung intelligenter Technologien und die Nutzung von Daten zur Optimierung der Wasserversorgung und -verteilung.
- **Automatisierte Datenerfassung:** Technologien werden eingesetzt, um eine automatisierte Datenerfassung zu ermöglichen. Diese Technologien helfen dabei, den Zustand der Wasserressourcen in Echtzeit zu überwachen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen.
- **Datenanalyse und Mustererkennung:** Künstliche Intelligenz (KI) wird zur Auswertung und Interpretation von Umweltdaten sowie zur Mustererkennung eingesetzt. Dies ermöglicht eine präzisere Vorhersage von Wasserverbrauch und -qualität sowie die Planung präventiver Maßnahmen.
- **Modellbasierte Projektionen:** Digitalisierung ermöglicht modellbasierte Projektionen, die helfen, den Auswirkungen des Klimawandels, den demografischen Veränderungen und dem

zunehmenden Nutzungsdruck auf die Gewässer frühzeitig mit geeigneten Maßnahmen zu begegnen.

- **Interoperabilität und Datenverfügbarkeit:** Die Digitalisierung fördert die umfassende Bereitstellung von Gewässerzustandsdaten und die Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen. Dies erleichtert den Austausch und die Nutzung von Daten auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene.

Wie die WavE-Projekte den Begriff Digitalisierung nutzen, ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Digitalisierung: Begriffsnutzung in den beteiligten WavE-Verbundprojekten.

Projekt	Begriffsnutzung „Digitalisierung“
FlexTreat	<ul style="list-style-type: none"> • Einbindung Digitaler Technologien (Erfassung, Auswertung und Abbildung von Betriebs- und Prozessdaten) zur optimierten Anlagensteuerung / Interaktion & Informationstransfers
Nutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Einbringen analoger Werte (z.B. Zählerstände der Wasseruhren, Temperaturen, Bodenfeuchte, etc.) in eine digitale Welt. • bisher manuell durchgeführte Prozesse (auch wenn sie Computer, z.B. EXCEL Spreadsheets benutzt haben) werden nun mehr oder weniger automatisch (durch online dashboards, die stündlich automatisch aktualisiert werden) durchgeführt.
innovatiON	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung der technologisch in den Geräten bereits implementierten modernen Kommunikations-Ressourcen wie Web- & OPC-UA-Server • Auf Web-technologien basierter Zugang als erste Quelle aller Bedien- und Beobachtungsaktivitäten • Fernwartung & Remote-Management als integrale Basistechnologie • Zählung, Ermittlung und Verarbeitung von Schaltvorgängen, Fehlerzuständen und MTBF-Werten zur Bildung von Surrogat-Parametern • Plausibilitätsprüfung aller sensorisch erfassten Werte • Verarbeitung aller Daten “on the Edge” (auf der SPS) als eigenständige Einheit ohne externe Abhängigkeiten
Med-zeroSolvent	<ul style="list-style-type: none"> • sämtliche digitalen Anwendungen im Projekt
ReWaMem	<ul style="list-style-type: none"> • verwendet in der Beschreibung der in Sensoren und Steuerung verwendeten Technologien und Schnittstellen, • als Beschreibung für die im Projekt erstellte informative Webseite und • auch in Bereichen der computergestützten Auswertung von Daten und Zusammenhängen.
NERA	<ul style="list-style-type: none"> • Digitaler Projektraum: Transparente Zusammenarbeit/Kommunikation mit Projektpartnern über eine cloudbasierte Konstruktionsplattform mithilfe einer selbst entwickelten Software (jibit). • Digitalisierung Pilotanlage: Automatisierung/Fernzugriff mit Echtzeitüberwachung der Betriebsdaten zur Steuerung/Regelung der Reinigungsleistung.
WEISS_4PN	<ul style="list-style-type: none"> • Überführung von bisher nicht erfassten Daten oder vorliegenden analogen Daten in digital nutzbare Signale, z.B. ersetzen eines Manometers durch einen Druckgeber (4-20mA) bzw. Neuinstallation an bisher nicht erfassten Systempunkten. • Auswertung von Daten über adaptive Datenmodelle, Big Data Engineering, KI-Nutzung im Gegensatz zu einfachen, auf physikalischen Modellen basierenden Anlagenautomatationen. • Digitale Abbildung und Simulation der Wasserwirtschaft eines Stahlwerks auf Basis von Betriebsdaten

RIKovery	<ul style="list-style-type: none"> • Einbindung digitaler Technologien (Erfassung, Auswertung und Abbildung von sensorischen analytischen Daten) in Kombination mit partiellen und punktuellen digitalen Daten aus der quantitativen und der 'nichtgerichteten' LC-MS Analytik zum Monitoring von recyceltem Wasser und zum Informationstransfer.
-----------------	--

1.1.2 Digitaler Zwilling

Im wissenschaftlichen Kontext steht eine Vielfalt von Definitionen zum Digitalen Zwilling zur Verfügung. "Hendrik van der Valk et al." (<https://doi.org/10.1007/s12599-021-00727-7>) beispielsweise führen in ihrer Veröffentlichung verschiedenen Definitionen auf.

- **Digitale Repräsentation:** Ein Digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines physischen Objekts oder Systems über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg. Diese Repräsentation wird durch Daten und Algorithmen ermöglicht, die das Verhalten und die Eigenschaften des physischen Objekts simulieren.
- **Integratives Konzept:** Der Digitale Zwilling integriert verschiedene Technologien wie das Internet der Dinge (IoT), Künstliche Intelligenz (KI) und Big Data, um eine umfassende und dynamische Simulation des physischen Objekts zu erstellen. Diese Integration ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung und Optimierung.
- **Entscheidungsunterstützung:** Ein Digitaler Zwilling dient als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung, indem er Echtzeitdaten und historische Daten kombiniert, um Vorhersagen und Analysen zu ermöglichen. Dies hilft bei der Optimierung von Prozessen und der Verbesserung der Effizienz.
- **Kommunikationsmittel:** Der Digitale Zwilling fungiert auch als Kommunikationsmittel zwischen verschiedenen Stakeholdern, indem er eine gemeinsame Plattform für den Austausch von Informationen und die Zusammenarbeit bietet.
- **Synchronisation und Datenverbindung:** Ein wesentlicher Aspekt des Digitalen Zwillings ist die automatische, bidirektionale Datenverbindung zwischen der physischen und der digitalen Welt. Diese Synchronisation ist entscheidend, um Änderungen im Zustand des physischen Objekts in Echtzeit widerzuspiegeln.
- **Interoperabilität:** Ein Digitaler Zwilling muss interoperabel sein, d.h., er muss in der Lage sein, Daten mit anderen Systemen auszutauschen und zu verstehen. Dies kann entweder durch Übersetzer-Schnittstellen oder durch vollständige Interoperabilität erfolgen.

Die Definitionen und Merkmale zeigen die Vielfalt und die unterschiedlichen Perspektiven, die mit dem Begriff "Digitaler Zwilling" verbunden sind. Jede Definition betont verschiedene Aspekte und Anwendungen, was die Komplexität und das Potenzial dieses Konzepts unterstreichen.

Innerhalb der Fördermaßnahme WavE nutzen die Projekte den Begriff „Digitaler Zwilling“ ebenfalls sehr unterschiedlich, wie Tabelle 2 zeigt.

Tabelle 2: Digitaler Zwilling: Begriffsnutzung in den beteiligten WavE-Verbundprojekten.

Projekt	Begriffsnutzung „Digitaler Zwilling“
FlexTreat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erfassung und Visualisierung von relevanten Prozessparametern. 2. Eine erweiterte Auswertung von Prozessdaten mit Hilfe von Software-Programmen (KI). 3. Nutzung der erweiterten Datenauswertung für die optimierte Prozesssteuerung, Prognosen, Anomalie Erkennung.

Nutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> Die ALB¹-App (https://www.alb-bayern.de/) erstellt intern eine Art "digitaler Zwilling", um dann die benötigte Bewässerungsmenge vorherzusagen. Der Begriff wird aber in unserem Projekt nicht explizit verwendet.
innovatION	<p>Gemäß den Definitionen von "Hendrik van der Valk et al." (https://doi.org/10.1007/s12599-021-00727-7) wird bei innovatION ein "Exhaustive Twin" angewandt:</p> <ul style="list-style-type: none"> Das System bietet umfassende Optionen zur Datenerfassung und Kontrolle über den Prozess. Das System kann vollständig autonom arbeiten. Der Mensch kann zu jedem Zeitpunkt eingreifen und auch halb-manuelle Vorgänge ausführen sowie dabei anfallende Daten akquirieren. Eine vollständige Datenverknüpfung mit der Anlage sowie eine gesicherte Anbindung für nachgelagerte Systeme ist implementiert. Ergänzend werden Offline-Strömungssimulationen zur Optimierung auf Großrechner-Clustern der TU-Dresden ausgeführt
Med-zeroSolvent	<ul style="list-style-type: none"> Simulationsmodelle unabhängig von einer online- oder offline Nutzung.
ReWaMem	<ul style="list-style-type: none"> Wird aktuell im Projekt nicht verwendet. Das im Projekt entwickelte mathematische Modell könnte jedoch als Grundlage für einen digitalen Zwilling angesehen werden.
NERA	<ul style="list-style-type: none"> Fernzugriff auf Betriebsdaten der Anlage, um diese mithilfe eines cloudbasierten digitalen Zwillings, welcher den Prozess nachbildet und simuliert, zu verarbeiten und entsprechend optimierte Anlageneinstellungen/-parameter zu übertragen.
WEISS_4PN	<ul style="list-style-type: none"> Abbildung der Realität in einem Rechenmodell, welches bei gleichem Input auch den gleichen Output liefert wie die Realität.
RIKovery	<ul style="list-style-type: none"> Wird aktuell im Projekt nicht verwendet. Das im Projekt entwickelte Verständnis könnte jedoch als Grundlage zur Erstellung angesehen werden.

¹ Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in *Bayern* e.V

1.2 Übersicht der Anwendungsgebiete & Zielstellungen der WavE-Projekte

Entsprechend der drei Themenschwerpunkte der Fördermaßnahme WavE sowie der unterschiedlichen Projekthintergründe und -ziele der einzelnen Projekte variieren auch die Ansätze und Zielstellungen, welche sie für die Digitalisierung in ihren Projekten verfolgen.

Tabelle 3: Zielstellungen im Themenfeld: „Nutzung von behandeltem kommunalem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung“

Anwendung	Projekt	Zielstellung
Landwirtschaftliche Bewässerung	FlexTreat	Prozessüberwachung & Optimierung des Aufbereitungsprozesses. Entwicklung eines Digitalen Zwillings, Einbindung von Modellen auf Basis Künstlicher Neuronaler Netzwerke (KNN), Entwicklung einer Nutzer-App, Entwicklung von „Surrogat-Parametern“
Landwirtschaftliche und urbane Bewässerung	Nutzwasser	Automatisierte Bedarfsbestimmung und -erfassung der landwirtschaftlichen und urbanen Bewässerung
Hydroponische Pflanzenproduktion	Hypowave+	Kostengünstige und einfache Vernetzung von Bestands- und Neugeräten.

Tabelle 4: Zielstellungen im Themenfeld: „Aufbereitung von salzhaltigen Grund- und Oberflächenwässern“

Anwendung	Projekt	Zielstellung
Grundwasser-anreicherung, Trinkwassergewinnung	innovatION	In die Steuerungshardware integrierte webbasierte Visualisierung zur Prozesskontrolle , und integrierte Berechnung zur Darstellung der „ Anlagen-Fitness “. Ableitung von optimierten Algorithmen und Verfahrensweisen zur Steuerung von MCDI-Prozessen

Tabelle 5: Zielstellungen im Themenfeld: „Industrielle Kreislaufführung“

Anwendung	Projekt	Zielstellung
Medizintechnik	Med-zeroSolvent	Simulationsmodell als digitaler Zwilling (erst virtuelle Anlage, dann Inbetriebnahme als Element der Prozessregelung)
Großwäscherei	ReWaMem	mathematisches Modell der Wäscherei als Grundlage für eine interaktive Webseite zur Präsentation des Gesamtprozesses und insbesondere der Filteranlage (Bewertung der Effizienz der im Projekt entwickelten Filteranlage)
Automobil-industrie	NERA	Prozessleitsystem (LabVIEW) für Untersuchung & Steuerung des Prozesses bei wechselnder Abwasserzusammensetzung. Ziel: hohe Anlagenverfügbarkeit mit guter Ressourcenschonung im Praxisbetrieb (z.B. Einsatz digitaler Zwilling / automatisierter Prozesssteuerung).
Stahlindustrie	WEISS_4PN	Aufbau eines prozessintegrierten digitalen Kühlleistungsmanagements : digitaler Zwillinge für Produktionsprozess und Kühlkreislaufsysteme
Chemische Industrie	RIKovery	Digitale Methoden zur Auswertung von analytischen Daten aus allgemeinen und speziellen Analyseverfahren mit dem Ziel eines tieferen Prozessverständnisses.

2 Factsheets zur Digitalisierung in den WavE-Projekten

Innerhalb des WavE-Querschnittsthemas „Digitalisierung“ wurden Factsheets erarbeitet, die die Digitalisierungsaktivitäten in den Projekten aufzeigen.

Im Folgenden finden Sie Factsheets von WavE-Verbundprojekten aus den drei Themenfeldern der BMBF-Fördermaßnahme WavE.

Ziel der Factsheets ist es, den Ansatz sowie den Status Quo der Digitalisierung in den Projekten zu erfassen, wichtige Keywords zu nennen und die Erfahrungen aus den Projekten & der Nutzbarkeit der Ansätze darzustellen. Die Factsheets sind wie folgt gegliedert:

1. Fragestellung des Digitalen Ansatzes
2. Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt
3. Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis
4. Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

2.1 Factsheet – Projekt FlexTreat



Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt FlexTreat

In dem Arbeitspaket „Digital Green Tech“ werden verschiedene Digitale Ansätze und Methoden für die Optimierung von Aufbereitungsverfahren und die Bereitstellung eines bedarfs- und qualitätsgerechten Wassers untersucht (Abbildung 1). Der am Standort Braunschweig pilotierte Aufbereitungsprozess (Prozesskombination aus Ozonung + Filtration + UV) dient als Grundlage für die Umsetzung der Digitalen Tools.

Ziele für die "Prozessüberwachung + Optimierung" des Aufbereitungsprozesses "Ozonung + Biologischer Filter + UV-Desinfektion" sind:

1. Aufbau eines "Digitalen Zwillings" (virtuelle SPS des Aufbereitungsprozesses)
2. Einbindung von Modellen auf Basis "Künstlicher Neuronaler Netzwerke KNN" zur Unterstützung der Prozessüberwachung und Steuerung.
3. Entwicklung einer "Nutzer-App" (Bereitstellung von Dashboards mit Informationen zum "Status Betrieb" und zur "Wasserqualität").
4. Entwicklung von "Surrogat-Parametern" (virtuelle Sensoren für die Prozessüberwachung)

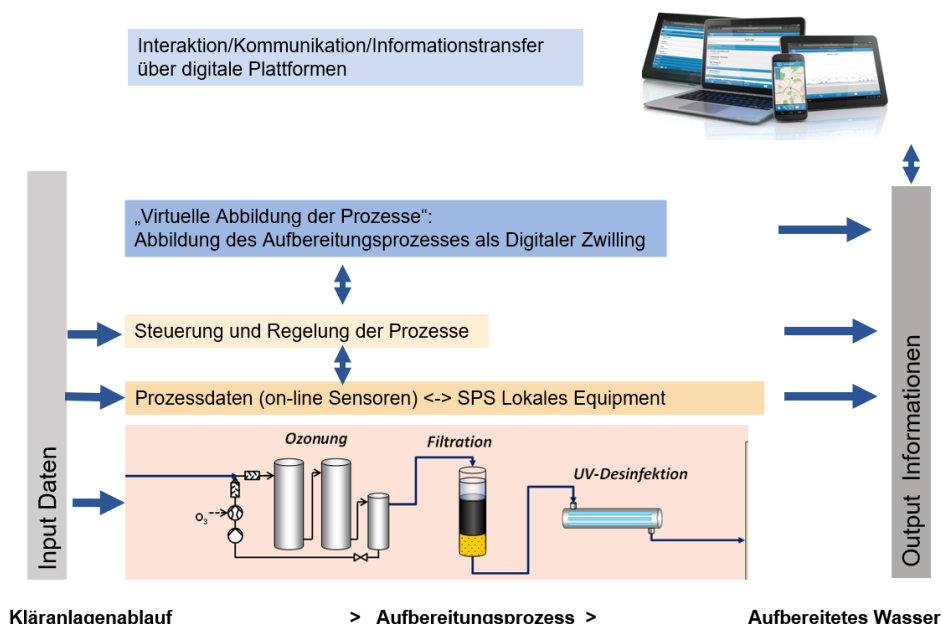


Abbildung 1: Übersicht der Einbindung Digitaler Technologien zur optimierten Anlagensteuerung / Interaktion & Informationstransfer © FlexTreat

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Am Versuchsstandort Braunschweig wurde der physische Prozess kombinierter erprobter Verfahren (Ozonung, Filtration und UV-Desinfektion) als digitaler Zwilling abgebildet. Die Umsetzung des „Daten-Transfers“ zwischen „Realer“ und „Virtueller“ Anlage (Hardware, Prozess-Signale) zur Datenanalyse und Datenverarbeitung ist in Abbildung 2 dargestellt.

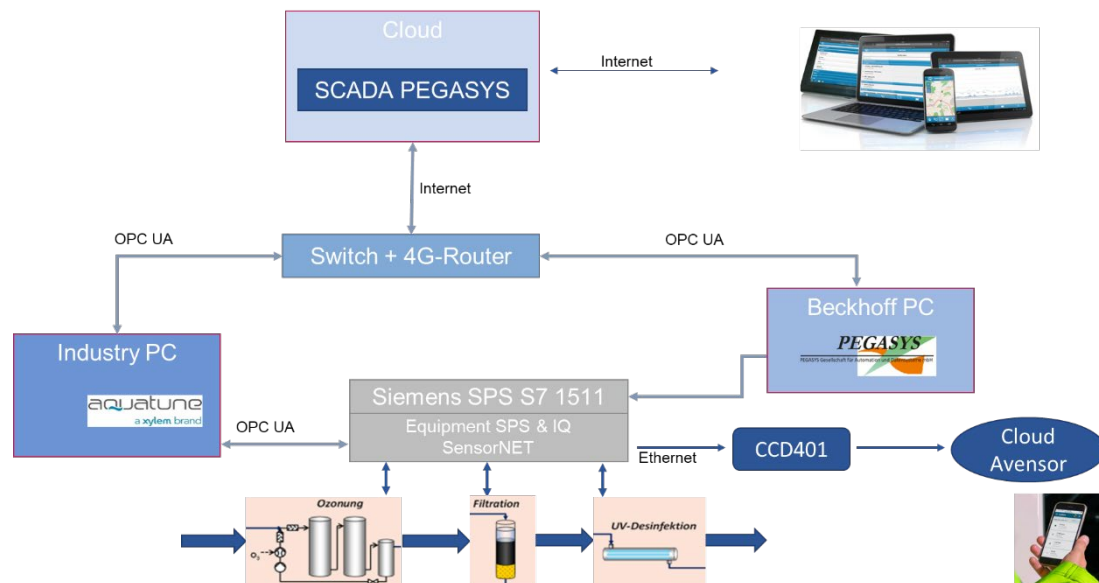


Abbildung 2: Übersicht Aufbau Systemarchitektur © Flextrat

Alle relevanten Daten werden auf einer Sammel-SPS (Siemens SPS S7) erfasst. Die weitere „Verarbeitung“ der gesammelten Daten in Digitalen Tools erfolgt mit verschiedenen Lösungsansätzen.

Entwickelte digitale Lösungen:

- Abbildung der Prozessdaten auf einer virtuellen Plattform „Web-Scada“ (Digitale Zwilling): Übersicht der aktuellen Prozessdaten und Prozessabläufe und deren zeitlicher Verlauf (Trendkurven).
Implementierung von KI-Modulen zur Anomalie-Erkennung von Prozessabläufen.
- Implementierung von KI-Modulen auf einem Industrie-PC (lokal auf der Pilotanlage) zur Analyse der Prozessdaten und Modellierung von „Vorhersagewerten“: „Vorhersage“ eines nicht direkt messbaren Wertes (Softsensor für „E-Coli“) Vorhersage relevanter Prozessgrößen für die Prozessregelung (Vorhersagewert für „delta SAK“ wird mit der Ozonregelung verknüpft)
- Entwicklung einer mobilen Nutzer-App für Betriebsdaten & Prozessüberwachung: Dashboards zur Überwachung der Behandlungsziele Spurenstoffentfernung, Feststoffentfernung und Desinfektion (Avensor Cloud).

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

KI-Modelle können vorteilhaft für die Prozesskontrolle und Prozessoptimierung eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist das Gesamtverständnis für die eingesetzten Verfahrenstechniken und eine geeignete Verknüpfung der KI-Modelle mit dem Verfahrens- und Prozess Know-how. Eine weitere wichtige Voraussetzung ist ein gute und strukturierte Datengrundlage und die Zusammenführung der notwendigen Daten auf einer „Plattform“.

KI-Modelle benötigen Datenmengen im Bereich von mindestens > 1000 Datensätzen. Dies bedeutet, das typische Datenmengen erhalten aus täglichen/wöchentlichen Probenahmen in der Regel nicht ausreichen.

Somit kommen für die KI-Modelle on-line gemessene Parameter (on-line gemessene Wasserparameter oder Prozessgrößen) zum Einsatz. Bekanntes „Prozesswissen“ sollte in geeigneter Form in die KI-Modellierung eingebunden werden. Somit müssen bekannte „Zusammenhänge“ nicht neu von der KI gelernt werden (*Knowledge informed Data Driven Modelling*).

Sind diese Voraussetzungen erfüllt können verschiedene Anwendungen verfolgt werden:

- KI-Modelle zur Vorhersage von „Zuständen“ in der Zukunft auf Basis einer „historischen“ Auswertung von Daten wie zum Beispiel die Prognose von Wasserqualitäten

- Als Einsatz von „Softsensoren“ (Auswertung von Korrelationen vorhandener on-line Signale und die Prognose für einen nicht messbaren Parameter)
- Anomalie-Erkennung und Bewertung ist ein wichtiges Thema für die operative Praxis. Trainierte KI-Modelle zur Anomalie-Erkennung werden mit Betreiber-Wissen „verknüpft“ und somit kann die „Betriebs Erfahrung“ gesichert und effizient genutzt werden.
- Steuerung wichtiger Prozessgrößen wie Ozondosierung mit Hilfe von Prognosewerten. Kombination der existierenden Regelungsgrößen mit KI ermittelten Prognosewerte (passive KI).
- KI wählt aufgrund der gelernten Zusammenhänge die optimierte Prozesseinstellung (aktive KI).

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Für die Weiterentwicklung und Übertragung der im FlexTreat-Projekt erarbeiteten Ansätze und Modelle wäre es sinnvoll existierende Anlagen zu finden, die die Voraussetzung hinsichtlich der Anforderungen an die „Datenstruktur“ erfüllen. Unter diesen Voraussetzungen könnten die erarbeiteten Ansätze und Modelle geprüft und weiter verbessert werden.

Wesentlich für die Weiterentwicklung ist ein „stabiler“ Anlagenbetrieb mit guter Datenstruktur. Die KI-Ansätze könnten parallel zum Anlagenbetrieb getestet werden und mit Hilfe des Betreiber-Wissens optimiert werden.

Bei Eignung und Überprüfung könnten die KI-Module dann „Schrittweise“ in den operativen Alltag überführt werden.

ZUM PROJEKT



WavE-Verbundprojekt **FlexTreat**:

Flexible und zuverlässige Konzepte für eine nachhaltige Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft

Weitere Informationen:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Kommunales+Abwasser/FlexTreat.html>

2.2 Factsheet – Projekt Nutzwasser



Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt Nutzwasser

Das Verbundprojekt Nutzwasser hat zum Ziel, innovative und hochflexible Managementstrategien für die Wiederverwendung von Wasser zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung zu entwickeln und praxisnah zu erproben.

In einem Pilotmaßstab wurde hierfür das aufbereitete Abwasser der Kläranlage Schweinfurt genutzt, welches durch eine mehrstufige Behandlung – bestehend aus keramischer Ultrafiltration, Ozonierung, biologisch aktivierter Kohlefiltration und UV-Desinfektion – weiter aufbereitet wurde. Ein zentraler Aspekt des Projekts war die Digitalisierung, die sowohl für die Prozessstabilisierung und -kontrolle der Wasseraufbereitung als auch für das Management der Bewässerung eine entscheidende Rolle spielte. Hierzu wurden Online-Sensoren und Messsysteme zur Überwachung und Steuerung des Wasseraufbereitungsprozesses eingesetzt, ergänzt durch digitale Systeme zur Produktionsmengenüberwachung, Füllstandskontrolle von Speichertanks sowie Online-Alarmmechanismen zur frühzeitigen Erkennung von Systemfehlern. Im landwirtschaftlichen Bereich wurde die bedarfsgerechte Wassernutzung durch eine automatisierte Erfassung und Analyse von Entnahmemengen weiter optimiert. Während Landwirte bislang ihre Grundwasserentnahmen nur manuell und mit potenziellen Fehlerquellen dokumentieren konnten, ermöglicht das neue digitale System eine fehlerfreie, automatische Erfassung mit hoher zeitlicher Auflösung. Dadurch wird eine präzisere Korrelation zwischen Bewässerung und Grundwasserstand möglich, wodurch sowohl die Wassernutzung als auch die Ressourcenschonung verbessert werden.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt für die Bedarfsbestimmung

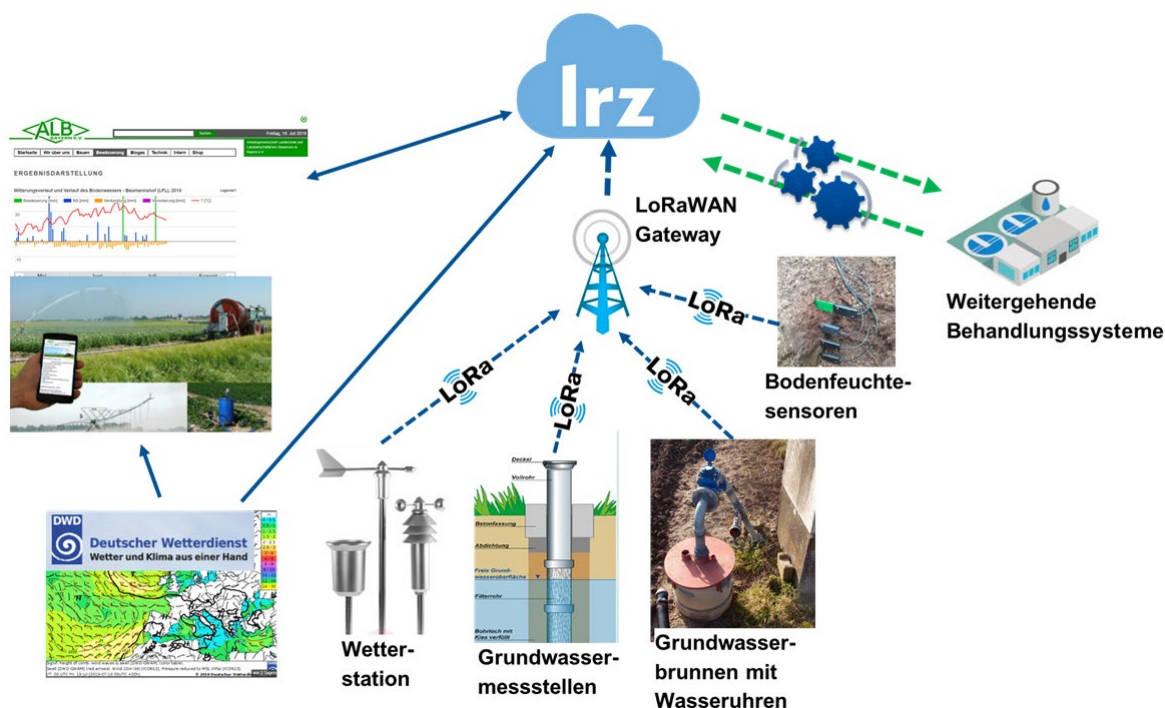


Abbildung 3: Digitalisierung der Bedarfsbestimmung und Prozesskontrolle der Wasserwiederverwendung ©Nutzwasser

Zur effizienten und ressourcenschonenden Wasserwiederverwendung wurde im Projekt eine digitale Infrastruktur entwickelt, die eine automatisierte Erfassung, Übertragung und Auswertung von Bewässerungs- und Umweltdaten ermöglicht. Dazu wurden an ca. 25 Grundwasserbrunnen Sensoren installiert, die die Wasserentnahmemengen über LoRaWAN-fähige Zähler erfassen und mit hoher zeitlicher Auflösung in eine zentrale Cloud-basierte Datenplattform übertragen. Die Herausforderung

der unterschiedlichen Stromversorgung (230V, 12V oder Solarbetrieb) wurde durch flexible Hardwarelösungen adressiert.

Die gesammelten Daten (z. B. Wasserentnahmen, Bodenfeuchte, Wetterdaten) werden über ein zentrales LoRaWAN-Gateway an eine Cloud-Plattform im LRZ weitergeleitet. Dort erfolgt die Speicherung in einer InfluxDB, während ein automatisiertes Monitoring-System auf Basis von Prometheus die Datenströme überwacht und bei Ausfällen Alarme auslöst. Eine zusätzliche Web-basierte Visualisierung (Grafana) ermöglicht eine benutzerfreundliche Darstellung und Analyse der Daten für die Projektbeteiligten.

Parallel dazu wird die Wasseraufbereitungsanlage durch Online-Sensorik kontinuierlich überwacht, um die Stabilität der einzelnen Prozessschritte (Ultrafiltration, Ozonierung, Aktivkohlefiltration, UV-Desinfektion) zu gewährleisten. Digitale Kontrollsysteme ermöglichen zudem die Überwachung der Produktionsmenge, der Speichertankfüllstände sowie ein Online-Alarmmanagement bei Systemausfällen.

Diese digitale Infrastruktur erlaubt eine automatisierte Bedarfsermittlung in der Landwirtschaft, optimiert die Wassernutzung und verbessert die Ressourcenschonung. Zudem liefert das System eine solide Datengrundlage für weiterführende Forschung, z. B. zur Grundwasseranreicherung durch Wasserwiederverwendung.

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Die digitale Infrastruktur des Projekts ermöglicht eine präzise und automatisierte Steuerung der Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung. Durch die Echtzeitdatenerfassung von Wasserentnahmen, Bodenfeuchte und Umweltparametern wird eine bedarfsgerechte Wasserversorgung sichergestellt, die eine nachhaltige Ressourcennutzung unterstützt.

Vorteile für die Praxis:

- **Effiziente Bewässerungssteuerung:** Landwirte erhalten verlässliche Daten zur optimalen Wassernutzung, basierend auf Echtzeitmessungen.
- **Erhöhte Betriebssicherheit:** Automatische Überwachungssysteme mit Frühwarnmechanismen und Online-Alarmen ermöglichen eine schnelle Reaktion auf Störungen.
- **Optimierte Wasseraufbereitung:** Die digitale Prozesskontrolle stellt eine stabile und sichere Wasserqualität durch kontinuierliches Monitoring der Behandlungsschritte sicher.
- **Zukunftsfähige Wasserbereitstellung:** Durch die Kombination von Datenanalyse und digitaler Steuerung kann die saisonal schwankende Nachfrage besser ausgeglichen werden.
- **Grundlage für zukünftige Forschung:** Die gesammelten Daten dienen als Basis für die Weiterentwicklung nachhaltiger Wasserwiederverwendungskonzepte.

Dank dieser digitalen Lösungen wird eine ressourcenschonende und effiziente Wassernutzung ermöglicht, die insbesondere unter den Herausforderungen des Klimawandels eine entscheidende Rolle spielt. Weitere Informationen unter www.nutzwasser.org.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Für eine weitere Optimierung des digitalen Wassermanagements sind noch verschiedene Forschungs- und Entwicklungsaspekte zu adressieren:

- **Langfristige Datennutzung & Systemintegration:** Die Weiterführung und Erweiterung der Messinfrastruktur ist essenziell, um Langzeitdaten zu hydrologischen Auswirkungen der

Wasserwiederverwendung zu erfassen. Hierbei müssen digitale Plattformen so weiterentwickelt werden, dass sie langfristige, standortübergreifende Analysen unterstützen.

- **Automatisierung & Smart Irrigation:** Eine Fernsteuerung von Bewässerungssystemen wäre ein nächster Schritt, um die Wasserverteilung automatisch und bedarfsgerecht zu koordinieren. Dies könnte über KI-Anwendungen erfolgen, die Wasserbedarf, Wetterprognosen und Grundwasserstände berücksichtigen.
- **Skalierbarkeit & Anwendungsbereiche:** Der digitale Ansatz sollte über die landwirtschaftliche Nutzung hinaus für weitere Anwendungen getestet werden, z. B. in der städtischen Wasserwiederverwendung für Grünflächenbewässerung oder industrielle Kühlwasserbereitstellung.
- **Robustheit & Cybersicherheit:** Die digitale Infrastruktur muss weiterentwickelt werden, um höchste Datensicherheit und Systemstabilität zu gewährleisten – insbesondere bei dezentralen IoT-Systemen mit vielen Endpunkten.

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der digitalen Technologien kann das System langfristig in die praktische Wasserbewirtschaftung integriert und für weitere nachhaltige Anwendungen genutzt werden.

ZUM PROJEKT

WavE-Verbundprojekt Nutzwasser:



Nutzwasserbereitstellung und Planungsoptionen für die urbane und landwirtschaftliche Bewässerung (Nutzwasser als alternative Wasserressource)

Weitere Informationen:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Kommunales+Abwasser/Nutzwasser.html>

2.3 Factsheet – Projekt *innovatION*

Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt „*innovatION*“

Ziel des Verbundvorhabens „*innovatION*“ ist die Entwicklung eines energie- und ressourceneffizienten Entsalzungsverfahrens für die Grundwasseranreicherung und Trinkwasseraufbereitung basierend auf der mMCDI-Technologie (engl. monoselectiv-Membrane-Capacitiv-De-Ionisation), bei der gezielt nur bestimmte (einwertige) Ionen entfernt werden.

Wie können hierbei Engineering-, Energie- und Ressourceneffizienz in der Digitalisierung berücksichtigt werden? Wie kann das mMCDI-Entsalzungsverfahren optimiert werden? Wie können Reinigungs-, Service-, Wartungsintervalle besser an den realen Bedarf angepasst werden? Wie können die IT-Security verbessert und „Vendor-Lock-In“ vermieden werden?

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt „*innovatION*“

Die Prozessvisualisierung wird über einen in der Steuerung (SPS) integrierten Webserver per HTML und Javascript bereitgestellt. Über einen kombinierten WAN-/Mobilfunkrouter mit lokalem WLAN-Accesspoint ist auch die Anbindung an ein VPN-gestütztes Fernwartungsportal gegeben. Bereits vorhandene digitale Endgeräte mit Webbrowser (Mobiltelefone, Tablets, etc.) werden bei Bedarf lokal per WLAN bzw. remote per VPN im Sinn von „byod“ (engl. „bring your own device“) genutzt. Ein dediziertes klassisches Bedienpanel entfällt dadurch. Einfache „Anlage Ein-/Aus“-Bedienvorgänge können unkritisch lokal auch über einen Taster ausgeführt werden.

Zur datenbasierten Prozessoptimierung werden alle sensorisch erfassten Parameter (Leit- und pH-Werte, elektr. Strom und Spannung, Druck, Temperaturen, Volumenströme) in csv-Dateien auf einem Speichermedium der SPS erfasst. Prozesswerte werden ergänzend per OPC-UA-Protokoll für übergeordnete Systeme zur Langzeitarchivierung und weiteren Visualisierung bereitgestellt.

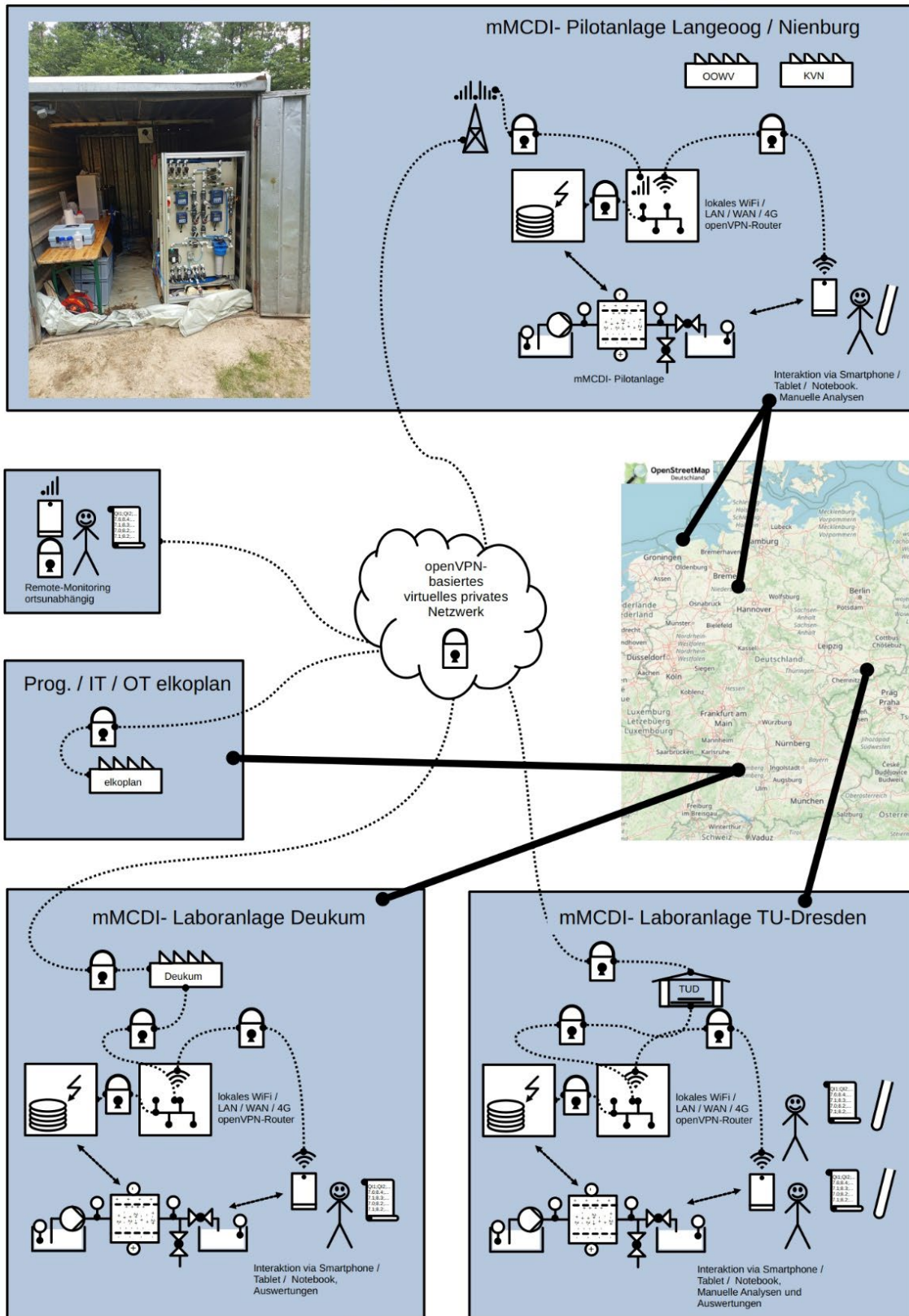
Die generierten csv-Dateien werden „Offline“ mit Python-Skripten und Tabellenkalkulation analysiert und Korrelationen zu Laboranalysen von Probewässern identifiziert. Basierend darauf werden optimierte Parameter der Prozessführung für die Häufigkeit von Reinigungsvorgängen als auch für die Modulierung verschiedener Signalformen im zeitlichen Verlauf der Führungsgrößen von Strom, Spannung und Volumenströmen abgeleitet.

Basierend auf MTBF-Werten von Einzelkomponenten und der Erfassung von Betriebszeiten, Schaltspielen und Fehlerzuständen wird innerhalb der SPS eine Berechnung zur Darstellung der „Anlagen-Fitness“ durchgeführt. Die multikriteriale Entscheidung über die Notwendigkeit von Service- und Wartungsvorgängen erfolgt so basierend auf der Betrachtung eines einzigen, leichtverständlichen Surrogat-Parameters.

Zur Verbesserung der IT-Security und Vermeidung von „Vendor-Lock-In“ werden soweit möglich linuxbasierte Betriebssysteme und Open-Source Tools verwendet. „Windows“-basierte Spezialanwendungen werden in virtuellen Maschinen ausgeführt.



Abbildung 4: Webbasierte grafische Bedienung des Mess- und Steuerungssystems der Pilot- und Laboranlagen inkl. Trends. Erweiterte Auswertungen mit Python (v.l.n.r.) [Staiger, elkoplan & Rosentreter TUD].



(c) Bilder und Grafiken Axel Staiger

Abbildung 5: Schematische Darstellung der deutschlandweit verteilten Pilot- und Laboranlagen und beteiligter Partner mit Remotezugriff. © Axel Staiger, elkoplan

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Das mMCDI-Verfahren ist eine Erweiterung im Portfolio energie- und ressourceneffizienter Wasseraufbereitungstechnologien. Neben „Off-Grid“-Anwendungen in Kombination mit regenerativen Energien bietet sich dieses Verfahren vor dem Hintergrund weltweit zunehmender Grundwasserversalzung generell für einen breiten Einsatz an.

Durch die Anwendung langzeitverfügbarer, hochintegrierter Technologien und Komponenten sowie parallelen Nutzung bereits vorhandener Geräte wird eine Reduktion verwendeter Ressourcen insgesamt erreicht und gleichzeitig Planungs- und Investitionssicherheit gewährleistet. Eine funktionsfähige Internetanbindung ist essenzieller Bestandteil jeglicher „remote“- Konzepte. Per satellitengestützter Kommunikation können auch Szenarien adressiert werden, die weder kabelgebunden noch mobilfunkbasiert Internetzugang bieten.

Eine leichtere Integration in bestehende Prozesslandschaften kann zukünftig durch Nutzung der „module type package“-Technik (mtp) erfolgen, die unter anderem auch auf OPC-UA aufsetzt.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Bezüglich der Differenzierung chemischer Selektivität besteht nach wie vor Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der mMCDI. Die Ermittlung von Betriebswerten über längere Zeiträume (mehrere Jahre) würde neben besseren Erkenntnissen zum Konzept der „Anlagen-Fitness“ auch wichtiges Feedback für eine optimierte Fertigung der mMCDI-Komponenten liefern.

Technologische Entwicklungen in Bereichen des „Internet of things“ und weitere Standardisierungen zwingen zu einer fortwährenden Überprüfung und Adaption. Die Definition einer mtp-Datei kann sinnvoll nur softwarebasiert erfolgen. Hier sind die Toolhersteller der Entwicklungsumgebungen gefordert, ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Engineering-Zukunft bestenfalls ohne „vendor-lock-in“ zu leisten.

ZUM PROJEKT

WavE-Verbundprojekt innovatIOn:



Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern für die Grundwasseranreicherung und Trinkwasseraufbereitung

Weitere Informationen:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Salzhaltiges+Wasser/innovatIOn.html>

2.4 Factsheet – Projekt Med-zeroSolvent

Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt Med-zeroSolvent

Wesentliches Ziel des Projektes Med-zeroSolvent ist die Entwicklung eines energieoptimierten, mehrstufigen Verfahrens zur Aufbereitung lösungsmittelhaltiger Prozesswässer aus der Membranherstellung, mit der Möglichkeit, aufbereitete Prozesswässer im Kreislauf zurück in den Herstellungsprozess zu führen.

Der digitale Ansatz im Projekt ist als Unterstützung zu den eigentlichen Projektzielen anzusehen, indem eine **zeiteffiziente Vorgehensweise bei der Inbetriebnahme der Anlage ermöglicht** wird und **im weiteren Projektverlauf die Optimierung damit unterstützt** werden kann. Abbildung 6 zeigt das generelle technische Schema der Verknüpfung der Pilotanlage mit dem Prozessdatenmanagement und der Prozessregelung.

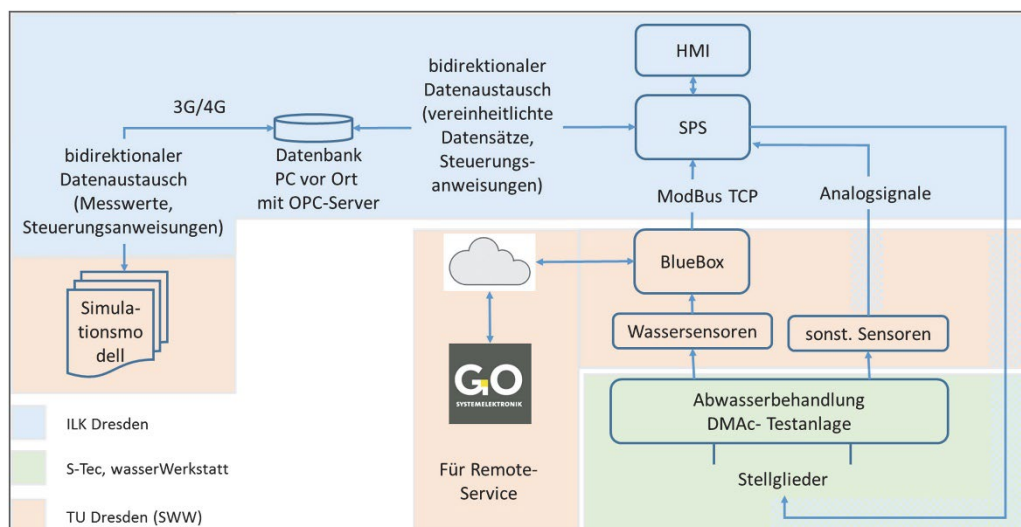


Abbildung 6: Generelle technische Schema der Verknüpfung der Pilotanlage mit dem Prozessdatenmanagement und der Prozessregelung © Med-zeroSolvent

Eine Besonderheit ist die Kopplung mit einem verfahrenstechnischen Simulationsmodell. Dieses wird für zwei generelle Fragestellungen genutzt. Zum einen erfolgt eine Unterstützung der Inbetriebnahme der Pilotanlage in einem Stadium, in dem diese noch nicht existiert bzw. in Betrieb ist. Damit kann die Programmierung der Prozessregelung mit einer realitätsnahen Verknüpfung zum digitalen Zwilling der Anlage wesentlich beschleunigt werden. Weiterhin stehen mit dieser digitalen Struktur verschiedene Optionen für eine modellbasierte Optimierung und Regelung offen.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Abbildung 7 zeigt die Anbindung des digitalen Zwillings an die Prozessregelung. Die verfahrenstechnischen Prozesse in der Pilotanlage werden mit der Software Simba# (ifak Magdeburg) modelltechnisch beschrieben. Über die Schnittstelle OPC-UA (Open Platform Communications- Unified Architecture) erfolgt dabei eine Anbindung an die SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) als Prozessregeleinheit für die Pilotanlage. Die Kopplung kann dabei auch eine alleinige Kopplung digitaler Zwillinge beinhalten. In diesem Fall wird in einem Modell die verfahrenstechnische Anlage und in einem anderen Modell die Prozessregelung nachgebildet. Dies kann für die grundlegenden Entscheidungen und Reglerstrukturen als Ausgangspunkt genutzt werden.

In einem nächsten Schritt wird das Anlagenmodell mit der realen SPS gekoppelt, um so eine virtuelle Inbetriebnahme zu ermöglichen. Das realitätsnahe Anlagenverhalten vereinfacht die Parametrierung von Regelkreisen. Außerdem kann ein umfassender Test aller Funktionen inkl. komplexer Störfallreaktionen erfolgen, was an einer realen Anlage in dieser Form kaum möglich ist.

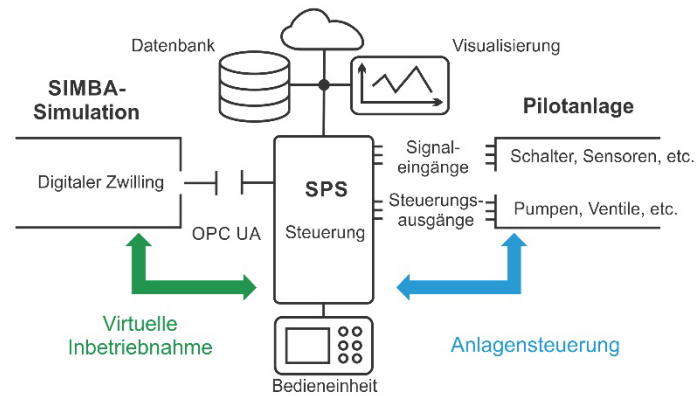


Abbildung 7: Anbindung des digitalen Zwillinges an die Prozessregelung © Med-zeroSolvent

Weiterhin ist eine Kopplung der Regelung mit dem digitalen Zwilling auch für prädiktive Regelungen denkbar. Das Anlagenmodell wird dabei genutzt, um optimale Betriebseinstellungen für nachfolgende Zeiträume zu finden.

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Die im Modell gewählte und untersuchte Vorgehensweise der Kopplung realer Prozessregelungen mit digitalen Zwillingen der späteren Anlage ist eine allgemeingültige Aufgabe bei Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen. Es wird ein wesentlicher Zeitgewinn erwartet, da eigentlich aufeinander aufbauende Projektschritte parallel bearbeitet bzw. wesentlich vorbereitet werden können. Weiterhin ist der Qualitätsgewinn bei der umfassenden Prüfung der Regelungen inkl. Störfallanalyse ein hochinteressanter Aspekt, der einfach auf andere ähnliche Anwendungsfälle übertragen werden kann. Damit stellt diese Vorgehensweise ein konkretes Beispiel für den Erfolg von Digitalisierungsmethoden dar. Perspektivisch ist davon auszugehen, dass bei Planungsprozessen verfahrenstechnischer Anlagen ein digitaler Zwilling als Standardelement zur Verfügung steht und entsprechend genutzt werden kann, um den gesamten Projektablauf transparenter und effizienter zu gestalten.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Die technologische Anpassung (bspw. Standardisierung) bei den verwendeten Softwarelösungen sowie das Zusammenspiel mit Standardprogrammiersprachen bei der Automatisierung der Prozessregelung sind die aktuellen Fragestellungen, die für eine praxisnähere und niedrighwelligere Anwendung der Methodik beantwortet werden müssen. Dazu zählen auch die Vereinfachung der Erstellung und Nutzung der digitalen Zwillinge bis hin zu einer entsprechenden Ausbildung nicht nur im Bereich der Automatisierungstechnik, sondern auch im verfahrenstechnischen Bereich.

Zukünftig ist damit zu rechnen, dass solche Elemente auch in den Fokus des BIM (Building Information Modelling) rücken, um nicht nur die Bauwerke und Anlagen an sich in eine digitale Umgebung zu überführen, sondern auch die Daten und die digitale Infrastruktur.

ZUM PROJEKT



WavE-Verbundprojekt Med-zeroSolvent:

Neue Wege im medizintechnischen Wassermanagement – Etablierung innovativer Methoden für die abwasserfreie Produktion durch energieeffiziente Behandlung von stark belasteten Prozesswässern aus der Membranherstellung

Weitere Informationen:

https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/Med_zeroSolvent-p-226.html

2.5 Factsheet – Projekt ReWaMem



Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt ReWaMem

Ziel des Verbundvorhabens „ReWaMem“ ist die Entwicklung einer Filteranlage für das Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des Abwassers in Waschprozessen mittels keramischer Nanofiltration geeignet für den Einsatz in einem entsprechenden produktiven Umfeld.

Digitale Technologien werden dabei einerseits im Bereich Design/Entwicklung als CAD-Software und Simulationstools verwendet sowie im Bereich Datengewinnung/-auswertung in Form von Sensoren und Statistiksoftware eingesetzt.

Sie dienen aber andererseits auch – in Form einer informativen Website – zur ansprechenden Präsentation der entwickelten Filteranlage und derer Eigenschaften.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Zur Bestimmung der Betriebsparameter und der Filterleistung der vorher im Projekt entwickelten Filteranlage werden bei der im Projekt beteiligten Wäscherei mit entsprechenden Sensoren und Betriebstechnik Daten – wegen Sicherheitsbedenken – lokal gespeichert und als CSV-Export auf einem USB-Stick gesammelt. Die folgende Aufbereitung der Daten beinhaltet unter anderem Behebung von Fehlstellen und das Entfernen von Ausreißern. Ein Hauptaugenmerk der Datenaufbereitung stellt das Zusammenführen der Daten aus unterschiedlichen Quellen dar.

Anschließend werden die aufbereiteten Daten mit Hilfe des Statistikpakets R visualisiert und analysiert. Die Analyse dient dabei zur Auffindung der Betriebsparameter der Anlage (Stromverbrauch, Volumendurchsatz), der Messung der Effizienz der Filtrierung („Verschmutzungsgrad“ vor und nach Anlage, Wasserersparnis), und der Ermittlung etwaiger Korrelationen zwischen diesen Größen.

Mit den so gewonnenen Informationen über die Filteranlage und Kenntnis der restlichen Prozesse in der beteiligten Wäscherei wird eine Bewertung der Anlage in diesem Kontext erstellt – dies beinhaltet insbesondere eine wirtschaftliche Analyse der Anlage unter Berücksichtigung der Wasserersparnis in verschiedenen Szenarien der Wasserpreisentwicklung.

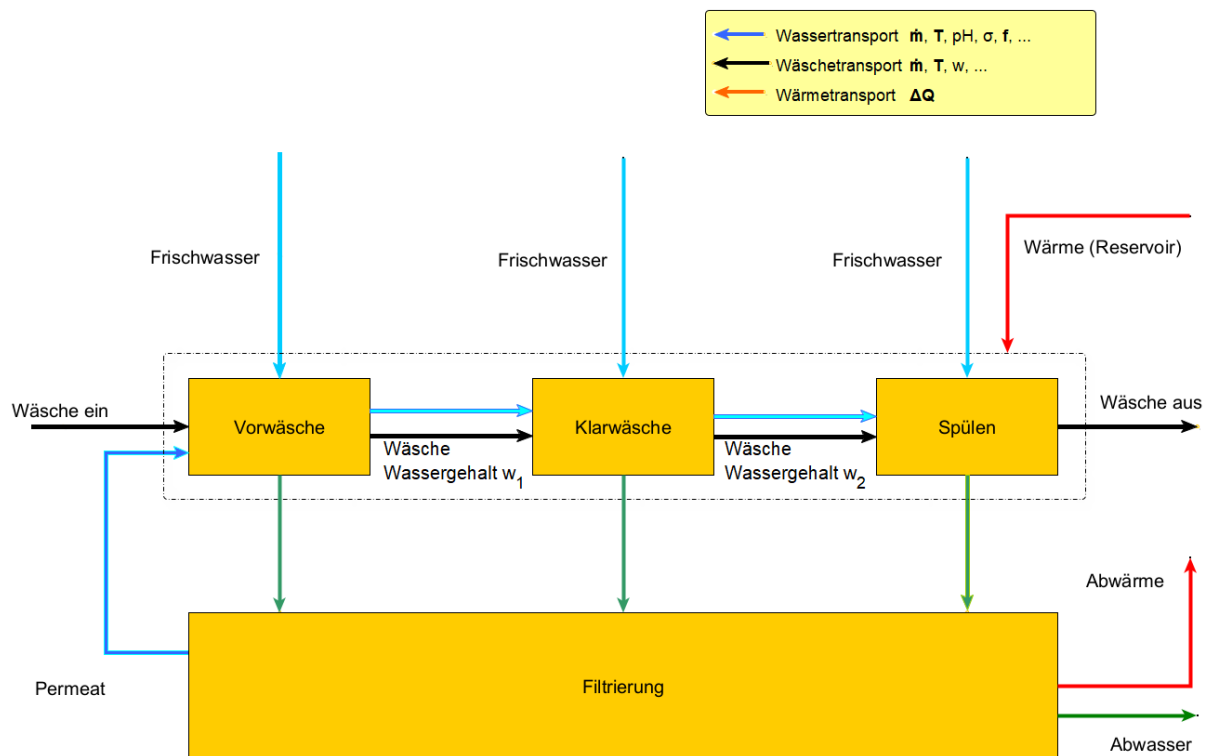


Abbildung 8: Modellierung einer Prozesskette „Waschen“ aus Teilprozessen (gestrichelte Box), inklusive Ressourcentransport, Filtrationsprozess und Abwärmenutzung durch Reservoir

Durch Betriebsdaten weiterer Wäschereien aus anderweitigen Quellen wird ferner ein vereinfachtes, allgemeines Modell für die „Prozesskette Wäscherei“ entwickelt. Dieses soll - durch Abbildung verschiedener Szenarien in den Bereichen Verschmutzungsgrad, Betriebskosten, und Durchsatzrate - zu einer besseren Vergleichbarkeit für den Betrieb der Filteranlage in anderen Wäschereianlagen führen.

Insbesondere wird dieser Vergleich auch in Form einer interaktiven Webseite dargestellt: Mit Hilfe von Webtechnologien wie HTML5, Javascript, und CSS werden verallgemeinerte Prozessschritte einer Wäscherei dargestellt. Mittels interaktiver Elemente können vom Benutzer bestimmte Prozessparameter gewählt werden, die Webseite berechnet dann entsprechende Daten der Filteranlage, insbesondere das eingesparte Frischwasser und dadurch gesparte Kosten. Die dafür nötigen Berechnungen können dabei optional auf dem Backend der Webseite in einem PHP-Skript durchgeführt werden, um Details des verwendeten Modells vor den Nutzern verbergen zu können.

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Die beschriebene Modellentwicklung und die darauf basierende informative Webseite dienen zur Bewertung der Anlage und der Vergleichbarkeit für den Betrieb in verschiedenen, möglichen Produktionsumfeldern. Durch Gewinnung weiterer Daten der Filteranlage im Betrieb in anderen Wäschereien ließe sich das entsprechende Modell weiter verbessern und die Vorhersagbarkeit der Effizienz der Filteranlage – und die damit gesparten Kosten – in anderen Betrieben zu verfeinern.

Auch und gerade mit mehr vorhandenen Daten und einem dadurch verbesserten Modell empfiehlt sich weiterhin die Darstellung dieses in Form einer interaktiven Webseite: interessierte potenzielle Kunden können unaufwändig die Daten ihres Betriebs eingeben und erhalten direkt eine Abschätzung der möglichen Ersparnis.

Ferner ist eine Modellierung der „Prozesskette Wäscherei“ auch für andere Anwendungen von Interesse, z. B. bei der Entwicklung anderer Filtertechnologien oder der Studie von Wechselwirkungen zwischen Waschmitteln und Verunreinigungen.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Es ist vor Allem die Aufnahme weiterer Daten der entwickelten Filtertechnik über längere Zeiträume in anderen Betriebsumfeldern nötig. Neben allgemeinen Prozessparametern ist insbesondere die Effizienz der Filtrierung hinsichtlich verschiedener Arten von Verunreinigungen in Wäschereiabwässern von besonderem Interesse. Diese Daten würden einer verfeinerten Modellbildung dienen, um die diversen möglichen Parameter, die verschmutztes Wasser ausmachen, besser analysieren und hinsichtlich der Filtereffektivität bewerten zu können.

ZUM PROJEKT

WavE-Verbundprojekt ReWaMem:



Recycling von Wäschereiabwasser zur Wiederverwendung des Abwassers mittels keramischer Nanofiltration

Weitere Informationen:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/ReWaMem.html>

2.6 Factsheet – Projekt NERA

Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt NERA

Ziel des Verbundvorhabens „NERA – Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie“ ist die Entwicklung eines möglichst klima- und ressourcenschonenden, Behandlungsverfahren für schwermetallhaltige Abwässer, insbesondere aus der Automobilindustrie. Dabei sollen Stoffkreisläufe für Schwermetalle, Phosphate und Prozesswasser geschaffen werden.

Für die Untersuchung und Steuerung des Prozesses bei wechselnder Abwasserzusammensetzung soll ein Prozessleitsystem auf Basis von LabVIEW eingesetzt werden. Dabei ist das Ziel, Erkenntnisse zum Prozessverhalten zu gewinnen, um für den Praxisbetrieb eine hohe Anlagenverfügbarkeit mit guter Ressourcenschonung zu ermöglichen, z.B. mit Hilfe eines digitalen Zwillings und automatisierter Prozesssteuerung.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Das Programm LabVIEW wird zur Messdatenerfassung, -speicherung und -verarbeitung der Echtzeitdaten genutzt, um den Prozess zu überwachen und zu regeln. Die Daten werden als TDMS-Datei ausgegeben und gespeichert und können z.B. mit Excel weiterverarbeitet werden. Als Prozessparameter werden pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Spannung, Stromstärke, Durchflussmengenstrom, Zellspannung, H₂-Konzentration, Drehzahl und Stromdichte in einem Fünf-Sekunden-Intervall erhoben. Gesteuert werden können Drehzahl, Durchflussmenge und Stromstärke.

Im Rahmen des Demonstrationsanlagen-Betriebs im VW-Werk Braunschweig besteht die Möglichkeit, mittels eines Fernzugriffs die Prozesssteuerung der Technikums-Anlage aus Clausthal-Zellerfeld zu beobachten und ggfs. zu korrigieren. Weiterhin sollen die Betriebsdaten aus dem VW-Werk in Braunschweig genutzt werden, um das Prozessverhalten verschiedenen Betriebszuständen des Werks zuordnen zu können.

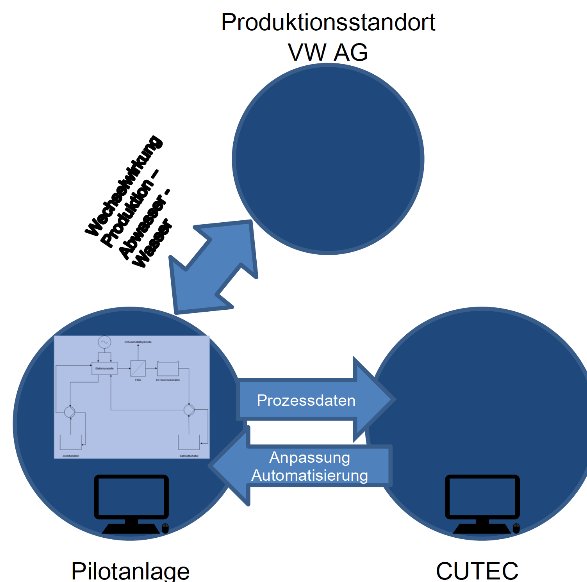


Abbildung 9: Digitalisierung Pilotanlage mit Echtzeitüberwachung und Fernzugriff © NERA

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Perspektivisch können die Erkenntnisse und Messdaten für die Anpassung und Optimierung eines zu programmierenden digitalen Zwillings genutzt werden. Dieser kann anhand von Produktionsplänen und den damit zu erwartenden Schwankungen in der Abwasserzusammensetzung entsprechende Reinigungsanforderungen und Prozessparameter ermitteln, um einen optimalen Behandlungsbetrieb zu gewährleisten.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Für die Programmierung eines digitalen Zwillings ist sowohl eine ausreichend große Datenmenge mit allen potenziell anfallenden Abwasserströmen (einzeln oder gemischt) zu erzeugen. Gleichzeitig ist Prozessverhalten der Abwasserbehandlung als Funktion der steuerbaren Größen (Drehzahl, Stromdichte, Durchflussmenge) für unterschiedliche Abwassercharakteristiken abzusichern.

Wichtig ist außerdem eine störungsfreie Kommunikation des digitalen Zwillings mit dem Prozessleitsystem sowie eine, ggfs. auch modellbasierte Kontrolle gemessener Prozessparameter im Hinblick auf Korrektheit.

ZUM PROJEKT

WavE-Verbundprojekt NERA:

Null-Emission Rohwasserproduktion in der Automobilindustrie

Weitere Information:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/NERA.html>



2.7 Factsheet – Projekt WEISS_4PN



Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt WEISS_4PN

Ziel des Verbundvorhabens „WEISS_4PN“ ist neben dem Betrieb einer teil-automatisierten Pilotanlage die Entwicklung eines digitalen Kühlleistungsmanagements für ein übergreifendes Gesamtverfahrenskonzept, welches in einem Produktionsbetrieb mit angeschlossener Wasseraufbereitungsanlage und/oder in einem integrierten Hüttenwerkskomplex mit mehreren Betrieben Anwendung findet.

Durch ein digitales Kühlleistungsmanagement und die Vorhersage von Wasserengpässen sollen die Potenziale bestehender Kühlkreisläufe bzw. die darauf aufbauenden zentralen Abwasserbehandlungen optimal ausgeschöpft werden.

Basierend auf realen Daten wird der Kühlleistungsbedarf durch ein datengetriebenes Modell abgebildet, um die Lastanforderung in Abhängigkeit vom Produktionsprozess präzisieren zu können.

Darüber hinaus entwickelt das BFI mit Hilfe der Simulationssoftware SIMBA#² ein Prognosetool zur Vorhersage von klimabedingten Wasserknappheiten unter Einbeziehung von Klima-, Oberflächengewässer- und Betriebsdaten.

Ziel ist, die erstellten Modelle in der Plattform aixProM³ von aixprocess zu einem digitalen Zwilling der Kühlwasserversorgung und des Kühlleistungsbedarfs des Produktionsprozesses zusammenzuführen, der online an eine großtechnische Anlage angebunden werden kann, um eine integrierte Optimierung der Kühlwasserbereitstellung durchzuführen. Durch die Nutzung von Prognosen zur Wasserverfügbarkeit und Vorhersagen zum anstehenden Kühlleistungsbedarf in einem Optimierer kann, mittels Integration in die Produktionsplanung, eine prädikative Anlagenführung realisiert werden.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Die Daten der Wasserwirtschaft sowie die Daten eines mit guter Sensorik ausgestatteten Warmwalzwerkes werden als csv-Export zur Verfügung gestellt und anschließend in einer gemeinsamen SQL-Datenbank gesammelt und aufbereitet. Die Aufbereitung der Daten beinhaltet unter anderem die Analyse und Behebung von Fehlstellen und das Entfernen von Ausreißern. Ein wesentlicher Arbeitspunkt der Datenaufbereitung stellt das Zusammenführen der Daten aus unterschiedlichen Quellen dar. Zum einen die kontinuierlichen Daten aus der Wasserwirtschaft, zum anderen die auf Brammen bezogenen Daten aus dem Warmwalzwerk. Des Weiteren ist beim Zusammenführen unterschiedlicher Datensätze sicherzustellen, dass diese auf dasselbe Zeitformat angepasst sind.

Die aufbereiteten Daten werden in Plots visualisiert und analysiert. Es folgen statische Analysen der Daten mittels Berechnungsroutinen in Python, wie z.B. eine Korrelationsanalyse, um die Zusammenhänge zwischen Produktionsdaten und Kühlleistungsbedarf zu ermitteln. Basierend auf den statistischen Analysen werden Daten zur Erstellung datenbasierter Modelle auf der Basis künstlicher neuronaler Netze zusammengestellt. Zur Visualisierung der Prognosen und Optimierungsvorschläge wird eine webbasierte grafische Benutzeroberfläche erstellt.

Des Weiteren erfolgt in SIMBA# die vollständige digitale Abbildung der Wasserwirtschaft eines integrierten Hüttenwerks. Das erstellte Modell wird anhand von Betriebsdaten validiert und neue Module für z.B. die Abbildung von Anlagen zur Abwasseraufbereitung entwickelt. Diese ermöglichen die Simulation verschiedener Szenarien in Bezug auf Veränderungen in der Frischwasserzusammensetzung bzw. für die optimale Wiederverwendung des aufbereiteten Abwassers.

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Die Methodik zur Erstellung datengetriebener Modelle des Kühlwasserbedarfs kann generell zum Aufbau derartiger datengetriebener Teilmodelle verwendet werden, um auch in anderen Prozessen Kühlungsbedarf basierend auf Betriebsdaten und verfügbaren Wassermengen und

² <https://www.ifak.eu/de/produkte/simba>

³ <https://www.aixprocess.de/de/product/aixprom-realtime-optimiser>

Zusammensetzungen vorherzusagen. Denkbar sind dabei neben Prozessen in der Stahlindustrie auch solche in der generellen Verfahrens- und Produktionstechnik, speziell für Wasseraufbereitung und – Wiedernutzung und die optimale Verwendung der verfügbaren Wassermengen bzw. die zusätzliche Aufbereitung von Abwasser und dessen Verwendung als Frischwassersubstitut. Außerhalb des Projekts können diese spezifisch angepassten Tools in Data-Mining-Projekten und zur datengetriebenen Optimierung von Prozessen an Wasseraufbereitungsanlagen verwendet werden.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Es sind Machbarkeit und Aufwand für einen Technologietransfer der in WEISS_4PN entwickelten Methodik auf andere relevante Fragestellungen der Wasseraufbereitung und -Wiedernutzung zu prüfen. Sinnvoll ist eine gestufte Vorgehensweise mit der Übertragung auf ein anderes Stahlwerk oder integriertes Hüttenwerk in einer ersten Stufe und eine andere Nutz- oder Kühlwasserapplikation in der zweiten Stufe. Im ersten Schritt ist davon auszugehen, dass die prinzipielle Modellarchitektur und die enthaltenen Module (SIMBA#, Datenmodelle) beibehalten werden können. In einer Übertragung auf andere Applikationen ist dann zu ermitteln, welche applikationsspezifischen 1st-principles Modelle sinnvoll die Datenmodelle ergänzen und inwiefern die Modellstruktur angepasst werden muss.

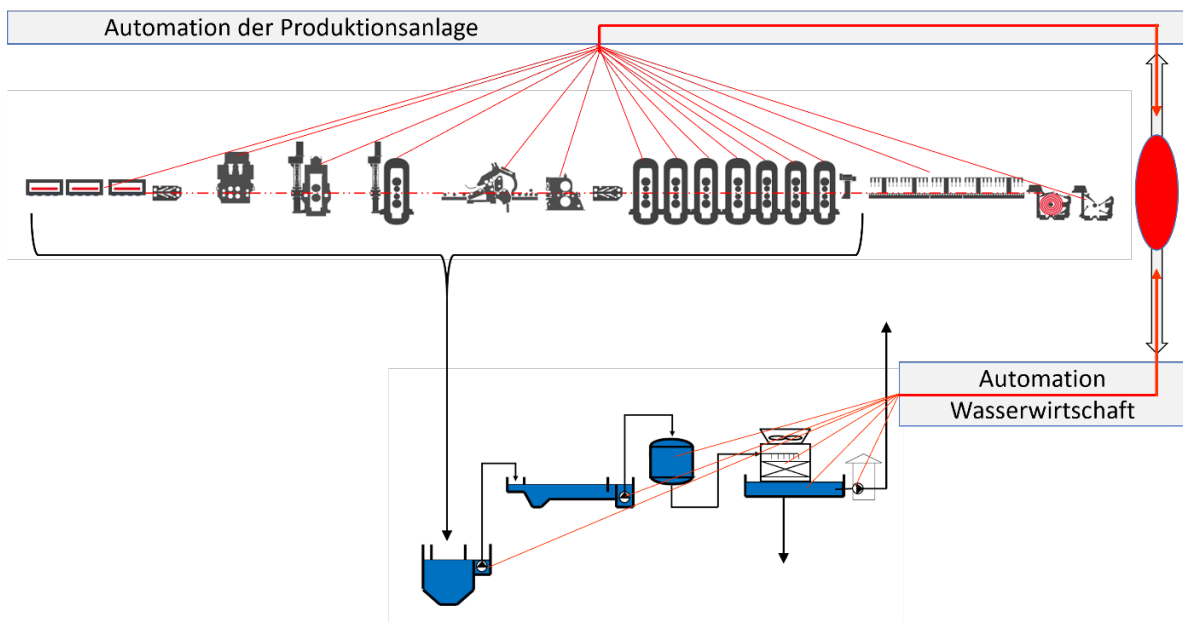


Abbildung 10: Digitales Kühlleistungsmanagement im Projekt WEISS_4PN © WEISS_4PN

ZUM PROJEKT

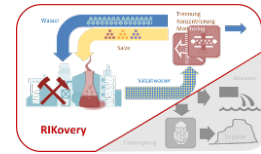
WavE-Verbundprojekt WEISS_4PN:



Integrative Anwendung von Innovationen und digitales Kühlleistungsmanagement zur Reduzierung des Wasserbedarfs in der Stahlproduktion

Weitere Informationen:

https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/WEISS_4PN.html



2.8 Factsheet – Projekt RIKovery

Fragestellung des digitalen Ansatzes im Projekt RIKovery

Das Projektkonsortium verfolgt die Vision, salzhaltige industrielle Wasserströme möglichst vollständig zu nutzen, und damit natürliche Wasserressourcen zu entlasten.

Die zunehmende Wasserknappheit erhöht die Notwendigkeit, salzhaltiges Wasser wiederzuverwenden und gleichzeitig die entfernten Inhaltsstoffe einer erneuten Nutzung zuzuführen. Derzeit werden in Deutschland jährlich mehr als 6 Mio. t Chlorid über das Abwasser in Oberflächengewässer eingeleitet. Mehr als ¾ davon stammen aus der chemischen (51 %) und der mineralverarbeitenden Industrie (25 %). Dabei sind sowohl Prozessabwässer und Teilströme bestehender Aufbereitungsprozesse als auch Salzabwässer aus Halden oder salzhaltige Grundwässer relevant. Da es sich bei den Salzbelastungen häufig um Mischungen aus verschiedenen Salzen handelt und/oder die Konzentration für eine direkte Nutzung zu gering ist, sind Aufbereitungsverfahren erforderlich, um eine Weiternutzung zu ermöglichen. Es ist nicht zu erwarten, dass mit einer einzigen Technologie eine umfassende Aufbereitung möglich wird. In RIKovery sollen daher die Potenziale von mehreren innovativen Technologien systematisch untersucht und die jeweils aussichtsreichen Einsatzbereiche erarbeitet werden. Übergeordnetes Projektziel ist die Erstellung einer fundierten Entscheidungsgrundlage für die Implementierung von Salz- und Wasser-Rückgewinnungsverfahren im Produktionsmaßstab. Wichtige Herausforderungen dabei sind:

- Die grundsätzliche Anzahl der Recyclingprozesse (Schließung der Kreisläufe), welche in die bestehenden Prozesse integriert werden, steigt. Dadurch steigt auch die Gefahr der gegenseitigen Kontamination.
- Betriebssicherheit (Produktionssicherheit) ist einer der wichtigsten Faktoren (neben CAPEX und OPEX) für die erfolgreiche Etablierung der Recyclingverfahren. Im Allgemeinen führt das Schließen von Kreisläufen zu einem erhöhten Kontaminationsrisiko und einem möglichen Qualitätsverlust des Wassers oder der zurückgewonnenen Ressourcen. Wenn es sich um unternehmens- oder sektorübergreifende Wiederverwendungssysteme handelt, gewinnen diese technischen Fragen sogar an vertraglicher Bedeutung, was den Aufwand, der erforderlich ist, um sie angemessen anzugehen, vervielfachen könnte.

Ein ökologisch und ökonomisch tragfähiges Recycling-Verfahren von salzhaltigen Wässern steht daher unter anderem vor der Herausforderung, eine tragfähige und nachhaltige Analytik für die zu gewinnenden Salze, als auch für die Erfassung von molekularen (organischen) Verunreinigungen bereitzustellen. Die erhaltenen analytischen Daten aus allgemeinen und speziellen Analyseverfahren können über digitale Methoden ausgewertet werden, wodurch sich im besten Falle ein tieferes Prozessverständnis ergibt.

Umsetzung des digitalen Ansatzes im Projekt

Der digitale Ansatz in diesem Projekt bezieht sich auf die Vernetzung und Nutzung analytischer Daten in der Untersuchung von salzhaltigen Lösungen und deren Behandlungsmethoden sowie späteren Verwendung. Zur Wiederverwendung von Salzen und Wässern für nachfolgende Prozesse sind oft spezifische Parameter einzuhalten. Dabei können neben primären Größen (z. B. Salzgehalt der Sole) insbesondere sekundäre Größen (z. B. Gehalt spezieller organischer Verbindungen) entscheidend sein. Stand der Technik ist die Quantifizierung von Inhaltsstoffen über Laborverfahren. Bedarf besteht sowohl an einer online-fähigen Prozessüberwachung für bekannte kritische Verbindungen als auch an einer Qualitätssicherung für unbekannte Inhaltsstoffe. Aufgrund der vielfältigen und sehr unterschiedlichen Anwendungen im RIKovery-Konsortium wurde der Ansatz der Analytik und der digitalen Nutzung analytischer Daten zunächst auf eine essenzielle Anwendung beschränkt. Hierbei handelt es sich um die begleitende Analytik von Elektrolysereaktionen in recycelter Prozesswassermatrix. So werden beim Projekt-Partner COVESTRO salzhaltige Prozesswässer aus der Kunststoffproduktion in der Chlor-Alkali-Elektrolyse recycelt. Diese stehen exemplarisch für die besonderen Herausforderungen durch extrem hohe Reinheitsanforderungen an die zu nutzenden Solen, welche analytisch untersucht werden.

Zur Überwachung des Elektrolysewassers sind folgende Randbedingungen zu nennen:

- Einer der wichtigsten Parameter ist die Elektrolysespannung. Sie soll möglichst gering sein, da sie direkt mit dem Energiebedarf einhergeht.

- Auf die Spannung haben mehrere Parameter einen Einfluss, z. B. die Temperatur (welche kontinuierlich gemessen wird und zur Spannungskorrektur beiträgt).
- Weitere Messungen wie pH-Wert, Brechungsindex usw. können in die kontinuierliche Sensorik mit eingebunden sein.
- Einen großen Einfluss haben anorganische Verunreinigungen, weil diese Ablagerungen an/in Membranen und Elektroden verursachen (Scaling). Anorganik wird regelmäßig bis in den ppb-Bereich erfasst.
- Spannung kann aber auch durch Effekte verursacht werden, die schlecht oder nur teilweise bzw. indirekt gemessen werden können, wie organische Verunreinigungen. Durch erhöhte Gehalte von organischen Verbindungen kann die Spannung auch steigen, da diese beispielsweise anodisch zu CO₂ oxidiert werden und so die Sole zum Schäumen bringen.
- Einige organische Verbindungen können bereits bei sehr geringen Gehalten (µg/L-Bereich) zu einer Beeinträchtigung in der Chlor-Alkali-Elektrolyse führen. Ein Monitoring dieser organischen Einzelstoffe kann ein wichtiger Parameter im Recycling-Prozess darstellen.
- Grundsätzlich wird Organik zwar direkt durch Summenparameter TOC erfasst und es kann eine gewisse spezifizierte TOC-Menge toleriert werden (insbesondere aus bekannten Rohstoffquellen, wie Siedesalz). Manche organischen Verbindungen (insbesondere aus neuen Quellen wie Recyclate) können allerdings bereits in ppb-Bereich zur Spannungssteigerung führen. Somit kommen hier häufig Techniken der Chromatographie in Kopplung mit der Massenspektrometrie zum Einsatz, um so bekannte organische Substanzen quantitativ zu erfassen, und neuerdings auch unbekannte Substanzen qualitativ im Non-Target-Screening zu identifizieren.

Eine vergleichsweise günstige und empfindliche Methode zur Überwachung der Organik bzw. des TOC besteht in der Anwendung der Fluoreszenzspektroskopie. Moderne Spektrometer ermöglichen hierbei sowohl die Erfassung der Absorption als auch der Fluoreszenz von organischen Verbindungen. Obwohl nur ein bestimmter Teil der Organik erfasst wird, nämlich Verbindungen mit chromophoren und fluorophoren Gruppen, ist es dennoch möglich, einen sogenannten Fingerprint einer Probe zu erhalten. Mit Hilfe des Fingerprint ist sowohl eine Quantifizierung von einzelnen Verbindungen möglich als auch eine Klassifikation darüber, ob die Probe einem Normalzustand entspricht oder nicht (d.h. Anomalieerkennung).

Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Die analytische Chemie nutzt in der heutigen Prozessanalytik häufig einzeln und kontinuierlich gemessene Prozessparameter (wie in 2. beschrieben elektrische Spannungen, Temperatur, pH-Werte usw.), um über Veränderungen dieser Einzelparameter direkt Änderungen in der Zusammensetzung bzw. den Eigenschaften der untersuchten Wässer auf eventuelle Abweichungen vom optimalen (elektrolytischen) Prozess zu erfassen.

Die organisch ausgerichtete Analytik von molekularen Verunreinigungen wird (wie oben beschrieben) oftmals punktuell mit der quantitativen Analytik von bekannten (und quantifizierbaren) Verunreinigungen durchgeführt und neuerdings auch mittels ungerichteten Non-Target-Screening.

Aus der Kombination der großen Zahl einzelner Messwerte (aus der Sensorik) mit der niedrigeren Zahl von sehr komplexen Messwerten (aus der instrumentellen Analytik von organischen Molekülen) ergeben sich Herausforderungen in

- a. der gemeinsamen Datenerhebung
- b. der Zusammenführung der Daten,
- c. der gemeinsamen Datenhandhabung,
- d. der gemeinsamen Dateninterpretation
- e. der Findung und Übertragung von kausalen digitalen Zusammenhängen in der Analytik
- f. der Transfermöglichkeiten der digitalen Erkenntnisse in einfache analytische Interpretationen

Das Konsortium erstellte in dem Projekt an diesem Beispiel ein grundsätzliches Schema im analytischen Vorgehen, aber eben auch in der digitalen Nutzung von unterschiedlichen Analyseansätzen.

Weiterer Forschungs-(F&E) Bedarf und/oder Herausforderungen mit Blick auf die Weiterentwicklung und Praxiseinbindung des digitalen Ansatzes

Diese Ansätze und Diskussionen zur digitalen Nutzung unterschiedlicher Strategien und Ansätze der Sensorik und instrumentellen Analytik werden zukünftig versucht, auch auf weitere Szenarien und Prozesse zu übertragen.

Hierfür werden allerdings offene Datensätze und Schnittstellen auf offen kommunizierte Anwendungen benötigt, um so adaptierbare nachhaltige digitale Lösungen zu erhalten.

Dies wird noch viel Überzeugungsarbeit und Erstellung von Software benötigen, ist aber im digitalen Zeitalter ein reales Szenario.

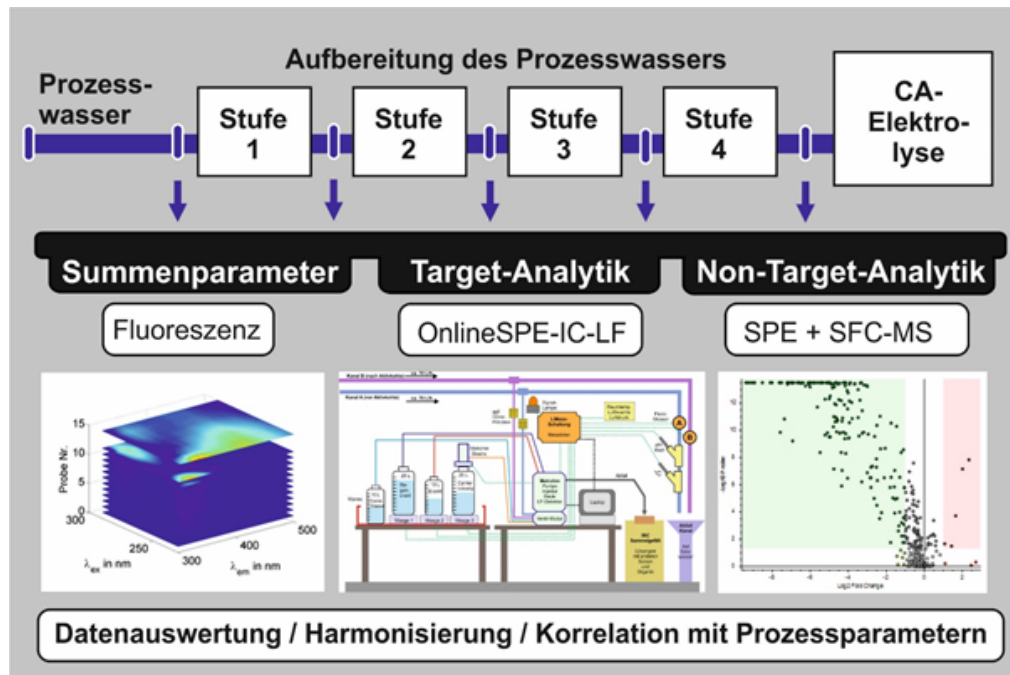


Abbildung 11: Beispiele zur Analytik von Prozesswässern aus Aufbereitungsstufen und der Chlor-Alkali-Elektrolyse © RIKovery

ZUM PROJEKT

WavE-Verbundprojekt RIKovery:

Recycling von industriellen salzhaltigen Wässern durch Ionentrennung, Konzentrierung und intelligentes Monitoring

Weitere Informationen:

<https://bmbf-wave.de/Verbundprojekte+nach+Themenfeldern/Industrielles+Wasser/RIKovery.html>



3 Fazit

3.1 Anwendungsperspektiven und Mehrwert für die Praxis

Um die Anwendungsperspektiven einer Digitalisierung aufzuzeigen und den Mehrwert für die Praxis darzustellen, haben die Projekte in den folgenden Unterkapiteln verschiedene Aspekte beleuchtet: (i) die wirtschaftlichen Perspektiven mit Blick auf Aufwand und Nutzen digitaler Ansätze, (ii) die wasserwirtschaftlichen Perspektiven mit Blick auf Ressourcen- und Bedarfsmanagement in und über Wassernutzungssektoren hinweg, (iii) Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung mit Blick auf CO2 und Wasser- Fußabdruck, sowie (iv) das Know-how / Wissen in digitalen Systemen mit Blick auf Vertrauenswürdigkeit des “digitalen Wissens”, Know-how Erhalt und Domain knowledge – digitales Wissen.

3.1.1 Wirtschaftliche Perspektiven

Die Digitalisierung im Wassersektor bietet erhebliche wirtschaftliche Vorteile in Bezug auf Effizienz, Kostenreduktion und Entscheidungsfindung. Allerdings sind auch hohe Investitionskosten, Schulungsbedarf und Herausforderungen im Bereich Datenschutz und -sicherheit zu berücksichtigen. Insgesamt kann die Digitalisierung jedoch dazu beitragen, die Wasserversorgung zukunftssicher und nachhaltiger zu gestalten. Aufwand und Nutzen der digitalen Ansätze der WavE-Projekte ist in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Aufwand und Nutzen digitaler Ansätze in den WavE-Verbundprojekten.

Projekt	Aufwand und Nutzen digitaler Ansätze
FlexTreat	<p>KI-Modelle benötigen Datenmengen im Bereich von mindestens > 1000 Datensätzen. Dies bedeutet, dass typische Datenmengen erhalten aus täglichen/wöchentlichen Probenahmen in der Regel nicht ausreichen. Somit kommen für die KI-Modelle online gemessene Parameter (online gemessene Wasserparameter oder Prozessgrößen) zum Einsatz.</p> <p>Steuerung wichtiger Prozessgrößen wie Ozondosierung mit Hilfe von Prognosewerten. Kombination der existierenden Regelungsgrößen mit KI ermittelten Prognosewerte (passive KI).</p> <p>KI wählt aufgrund der gelernten Zusammenhänge die optimierte Prozesseinstellung (aktive KI).</p>
Nutzwasser	<p>Mit der Nachrüstung der vorhandenen Wasserzähler ist es möglich, jede Stunde den Zählerstand aller Stationen zu übermitteln. Mit der im Projekt gemessenen Datengrundlage ist der spätere Nutzen der Infiltration klar zu quantifizieren. Die Überwachung umfasst neben der Bewässerungsmenge auch die Online-Überwachung der Wasserqualitätsparameter nach jeder Behandlungsbarriere, um ein besseres Verständnis der Betriebsleistung zu erhalten. Die Echtzeit-Überwachung bzw. Wasserqualitätsparameter-Darstellung sind entscheidende Aspekte eines angemessenen Risikomanagements bei Wasserwiederverwendungsprojekten.</p>
innovatiON	<p>Das digitale System wurde im Zuge der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des mMCDI-Verfahrens in einem „Zwischenstand“ des aktuellen Forschungsprojekts mit analysiert.</p> <p>Erfahrungen aus kommerziellen Projekten in der freien Wirtschaft im Vorfeld des Forschungsprojektes führten zum gewählten kostenoptimierten, webbasierten Konzept.</p> <p>Die im Forschungsprojekt neu entwickelten steuerungstechnischen Methoden und Funktionen können auf weitere Verfahren und Prozesse angewendet werden.</p> <p>Ein „Fitness-Wert“ sensibilisiert Anwender für die Notwendigkeit eines kontinuierlichen „Life-Cycle Management“.</p> <p>Unabhängig davon eröffnet die generelle Einbindung in eine per openVPN gesicherte „Steuerungs-Cloud“ mit Zugriffsmöglichkeiten für Kunden und</p>

	<p>Endanwender über „Standard-Webbrowser“ die Möglichkeit neuartiger „Service“-Konzepte z.B. durch ortsunabhängige Einbindung externer Spezialisten. Die Bereitstellung dieser Service-Möglichkeit kann als kostenpflichtige Dienstleistung monetarisiert werden.</p> <p>Anwender und Hersteller bleiben über diese „Services“ automatisch in engerem Kontakt, können frühzeitig Lösungsstrategien bei sich abzeichnenden Veränderungen erarbeiten und bauen so langfristig gestärkte Beziehungen auf.</p>
Med-zeroSolvent	<p>Die im Modell gewählte und untersuchte Vorgehensweise der Kopplung realer Prozessregelungen mit digitalen Zwillingen der späteren Anlage ist eine allgemeingültige Aufgabe bei Planung und Bau verfahrenstechnischer Anlagen. Es wird ein wesentlicher Zeitgewinn erwartet, da eigentlich aufeinander aufbauende Projektschritte parallel bearbeitet bzw. wesentlich vorbereitet werden können. Weiterhin ist der Qualitätsgewinn bei der umfassenden Prüfung der Regelungen inkl. Störfallanalyse ein hochinteressanter Aspekt, der einfach auf andere ähnliche Anwendungsfälle übertragen werden kann. Damit stellt diese Vorgehensweise ein konkretes Beispiel für den Erfolg von Digitalisierungsmethoden dar. Perspektivisch ist davon auszugehen, dass bei Planungsprozessen verfahrenstechnischer Anlagen ein digitaler Zwilling als Standardelement zur Verfügung steht und entsprechend genutzt werden kann, um den gesamten Projektablauf transparenter und effizienter zu gestalten.</p>
ReWaMem	<p>Die Prozesskette Wäscherei kann mit ihrer hohen Zahl an Prozessparametern und nichtlinearen Abhängigkeiten kaum mit klassischen, analytischen Mitteln im allgemeinen Fall behandelt werden. Nur mit einer hohen Zahl von Datensätzen und computergestützter (vielleicht KI-gestützter) Auswertung kann hier sinnvoll über bestimmte Prozesse in einzelnen Betrieben hinaus verallgemeinert werden.</p>
NERA	<p>Ziel des Projektes NERA ist es, durch die Digitalisierung eine gute Anlagenverfügbarkeit mit guter Ressourcenschonung (Personalmanagement, etc.) zu ermöglichen. Dies soll durch eine automatisierte Prozesstechnik generiert werden.</p>
WEISS4PN	<p>Das Projekt WEISS4PN adressiert die Nutzung der Potenziale der Digitalisierung zur Koppelung der Produktion mit den Prozessen der Wasserbereitstellung mit dem Ziel, die Planungssicherheit in komplexen Industriebetrieben (hier exemplarisch Stahlindustrie - integriertes Hüttenwerk) zu erhöhen. Dies soll in Form von simulationsbasierten Handlungsempfehlungen oder (teil-)automatisierter Steuerung von Prozessen realisiert werden.</p>
RIKovery	<p>Allgemeines führt das Schließen von Kreisläufen, wie in RIKovery untersucht, zu einem erhöhten Kontaminationsrisiko und einem möglichen Qualitätsverlust des Wassers oder der zurückgewonnenen Ressourcen. Wenn es sich um unternehmens- oder sektorübergreifende Wiederverwendungssysteme handelt, gewinnen diese technischen Fragen sogar an vertraglicher Bedeutung, was den Aufwand, der erforderlich ist, um sie angemessen anzugehen, vervielfachen könnte. Durch digitale Verknüpfung und Auswertung der analytischen Daten und Prozessparametern kann die Betriebssicherheit der Recyclingverfahren und dadurch die wirtschaftliche Perspektive dieser erhöht werden.</p>

3.1.2 Wasserwirtschaftliche Perspektiven

In Tabelle 7 haben die WavE-Projekte das Ressourcen- und Bedarfsmanagement in und über Wassernutzungssektoren hinweg aus ihrer Sicht dargestellt.

Tabelle 7: Ressourcen- und Bedarfsmanagement in und über Wassernutzungssektoren hinweg.

Projekt	Ressourcen- und Bedarfsmanagement in und über Wassernutzungssektoren hinweg
FlexTreat	Übergeordnetes Management von Wasserbedarf, Wasserverfügbarkeit und Wasserverteilung. KI-Module können unterstützen bei der Datenauswertung und Erstellung von Informations-Dashboards und Decision Support Systeme
Nutzwasser	Die digitale Erfassung und Steuerung der Wasserwiederverwendung bietet eine zukunftsfähige Lösung für die landwirtschaftliche Wasserversorgung unter den Herausforderungen des Klimawandels. Die Grundwasseranreicherung mit

	aufbereitetem Nutzwasser kann eine nachhaltige Ergänzung zu konventionellen Wasserquellen darstellen. Durch den Einsatz von Echtzeitdaten zur Bedarfsermittlung und Steuerung der Wasserbereitstellung kann die Ressource gezielter verteilt und saisonale Schwankungen effizient ausgeglichen werden.
innovatiON	Im Projekt konnte die energieeffiziente Entsalzung mittels mMCDI im Praxisbetrieb auf Langeoog und in Nienburg nachgewiesen werden. Speziell bei gering versalzten Wässern , die so jedoch nicht als Trinkwasser nutzbar wären ist das mMCDI-Verfahren anderen etablierten Verfahren überlegen . Webtechniken, Fernwartung & Remote-Management stellen als integrale Basistechnologien des steuerungstechnischen Konzepts den Grundstein zukünftiger Anwendungen dar. Über standardisierte Software-Schnittstellen (OPC-UA, JSON) ist eine einfache und herstellerneutrale Kopplung zu verschiedensten Systemen und Anwendungen auch außerhalb der Verfahrens- und Prozesstechnik möglich. So können z.B. über Netzwerk-Proxies unter Beachtung aktueller IT-Security-Methoden Echtzeitwerte der (Trink-)Wasseraufbereitung permanent der Öffentlichkeit online zur Verfügung gestellt werden.
ReWaMem	Mit mehr Datenpunkten ist die Erstellung eines verbesserten, allgemeinen Modells für Textilwaschbetriebe möglich. Dadurch lässt sich die Vorhersagbarkeit der Effizienz einer Filteranlage und die dadurch mögliche Wassereinsparung in Betrieben verbessern, wodurch diese Technologien und Anlagen besser beworben werden können.
NERA	Im Rahmen des Projektes NERA werden Abwasserdaten gesammelt und analysiert. Dadurch soll die Abwasserbehandlung bedarfsorientiert und ressourcenschonend erfolgen, was Wasserkreislaufführung unterstützt.
WEISS4PN	Im Rahmen von WEISS4PN werden digitale Simulations- und Prognosetools zur Vorhersage von sich abzeichnenden Wasserversorgungsengpässen entwickelt. Auf Basis digitaler Abbildungen einer betrieblichen Gesamtwasserwirtschaft sollen vorausgehende simulative Untersuchungen die Überprüfung der Wirksamkeit neu entwickelter Behandlungsverfahren zur Erschließung von Abwässern als alternative Wasserquellen zur Sicherstellung der Wasserversorgung ermöglichen. Ein weiterer Fokus der Optimierungen liegt auf der Minimierung von Verdunstungsverlusten und der Harmonisierung mit der Produktion durch ein digitales Kühlleistungsmanagement.
RIKovery	Ein ökologisch und ökonomisch tragfähiges Recycling-Verfahren von salzhaltigen Wässern steht unter Anderem vor der Herausforderung, eine kontinuierliche, tragfähige und nachhaltige Analytik für die Rezyklate bereitzustellen. Die erhaltenen analytischen Daten aus allgemeinen und speziellen Analyseverfahren können über digitale Methoden mit Prozessparametern verknüpft werden, wodurch sich ein tieferes Prozessverständnis und dadurch erhöhte Recyclingmenge ergeben könnte.

3.1.3 Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung

In diesem Unterkapitel haben die Projekte deren spezifischen Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung zusammengestellt, wie z.B. der Ökologische Fußabdruck (CO₂ Footprint) der Digitalisierung selbst bzw. den Beitrag zu einer Verringerung des ökologischen oder des Wasserfußabdrucks (water footprint).

Tabelle 8: Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung aus Sicht der WavE-Verbundprojekte.

Projekt	Nachhaltigkeitsaspekte der Digitalisierung
FlexTreat	Anwendung zur Prozessoptimierung und Anlagensteuerung führt zu Einsparungen bei Energieverbrauch und Chemikalieneinsatz
Nutzwasser	Die Digitalisierung im Projekt Nutzwasser ermöglicht eine ressourcenschonende Wassernutzung durch präzise, datenbasierte Steuerung der Bewässerung und Wasserwiederverwendung. Durch den Einsatz von Online-Monitoring und Automatisierung werden Wasserverluste minimiert und die Effizienz der Wasseraufbereitung erhöht. Langfristig trägt die digitale Infrastruktur zur nachhaltigen Sicherung der Wasserverfügbarkeit und zur Anpassung an den Klimawandel bei.

innovatiON	Das mMCDI-Verfahren ist eine Erweiterung im Portfolio energie- und ressourceneffizienter Wasseraufbereitungstechnologien . Neben „Off-Grid“-Anwendungen in Kombination mit regenerativen Energien bietet sich dieses Verfahren vor dem Hintergrund weltweit zunehmender Grundwasserversalzung generell für einen breiten Einsatz an. Durch die Anwendung langzeitverfügbarer, hochintegrierter Technologien und Komponenten sowie parallelen Nutzung bereits vorhandener Geräte wird eine Reduktion verwendeter Ressourcen insgesamt erreicht und gleichzeitig Planungs- und Investitionssicherheit gewährleistet.
ReWaMem	Neben den weiter oben erwähnten Punkten dient die als Teil des Projekts entwickelte interaktive Webseite zur Bewerbung der Entwickelten Filteranlage indem diese auf ansprechende Weise die dadurch möglichen Wassereinsparungen in einem Betrieb aufzeigt.
NERA	Durch die Möglichkeit, per Fernzugriff auf die Demo-Anlage im VW-Werk in Braunschweig zugreifen zu können, werden Betreuungsfahrten zur Anlage vermieden. Die Digitalisierung ermöglicht eine optimale Anpassung des Strombedarfes an die zu behandelnde Abwassercharge, wodurch weniger Energie verbraucht und zugleich ein besseren Behandlungsergebnis erzielt wird.
WEISS4PN	Ein durch die Digitalisierung optimiertes Wasserversorgungs-, Abwasserbehandlungs- und Kühlleistungsmanagement ermöglicht die Verringerung des hierfür erforderlichen Energiebedarfs des Stahlwerks. Des Weiteren besteht über ein digital optimiertes Recycling des Abwassers die Möglichkeit den externen Frischwasserbedarf und die Einleitungsmengen zu reduzieren und somit zur Verringerung des Wasserfußabdrucks beizutragen
RIKovery	Letztlich führt eine höhere Recyclingmenge auch höherer Nachhaltigkeit. Dies kann sich im Recyclingprozess widerspiegeln, wie auch in der Analytik und ihrer Digitalisierung

3.1.4 Know-how / Wissen in digitalen Systemen

In diesem Kapitel geht es um die Vertrauenswürdigkeit des “digitalen Wissens”, den Know-how Erhalt, sowie das Domain Knowledge / das digitale Wissen. Welchen Beitrag die Projekte hierzu leisten, ist in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Beitrag der WavE-Verbundprojekte zum Know-how / Wissen in digitalen Systemen.

Projekt	Know-how / Wissen in digitalen Systemen
FlexTreat	Anomalie-Erkennung und Bewertung ist ein wichtiges Thema für die operative Praxis. Trainierte KI-Modelle zur Anomalie-Erkennung werden mit Betreiber-Wissen „verknüpft“ und somit kann die „ Betriebserfahrung “ gesichert und effizient genutzt werden.
Nutzwasser	Interaktive Visualisierung in einem Ausstellungspavillon. Web-Seite.
innovatiON	Die Erzeugung und Verwendung des Surrogatparameters „Fitness“ ist allgemein verständlich. Somit kann ein komplexes steuerungs- bzw. verfahrenstechnisches System schnell und einfach hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit auch durch Nichtfachleute beurteilt werden. Gegebenenfalls kann der Parameter mit weiteren prozesstechnischen Faktoren (MCDI: „aktueller Differenzdruck / bestmöglicher Differenzdruck“, „erzeugte Leitfähigkeits-Differenz / bestmöglicher Lf-Differenz“, NF & UO: Permeabilität, etc.) ergänzt werden.
ReWaMem	Die mathematische Modellierung der im Projekt betrachteten Prozesse mit klassischen Methoden wie Differenz- und Differentialgleichungen erweist sich als ungeeignet verglichen mit einer Modellierung der Zusammenhänge durch computergestützte Techniken wie neuronale Netze.
NERA	Der geplante digitale Zwilling soll die Prozesssteuerung vereinfachen und unterstützen . Während des Betriebs der Anlage wird er fortlaufend mit Daten ergänzt. Dadurch wird er besser und vertrauenswürdiger . Eine alleinige Steuerung der Anlage nur über den digitalen Zwilling ist erstmal nicht geplant.

WEISS4PN	Die Entwicklung digitaler Simulations- und Prognosetools in WEISS4PN soll das Betriebspersonal des Stahlwerks bei der Optimierung des Gesamtwasser-Managements unterstützen. Der betriebliche Einsatz solcher Tools ist in diesem Bereich meist noch nicht oder nicht umfassend etabliert. Das erforderliche Know-how ist zunächst zu erarbeiten und über die Erfahrung aus dem betrieblichen Einsatz weiter auszubauen . Einbindung in Mensch-Maschine-Schnittstelle für Bedienpersonal / Anlagenfahrer
RIKovery	Das Projekt führt zum besseren Verständnis der komplexen Systeme/Zusammenhänge -im Recyclingprozess wie auch der Analytik-. Damit wird der massive Aufbau von Know-How in diesen Sektoren ermöglicht.

3.2 Künftige (Forschungs)Bedarfe

Die Projekte haben in diesem Kapitel aus ihrer Sicht zusammengefasst, welches die nächsten Schritte zum Thema Digitalisierung im Wassermanagement (in Verbindung mit den Herausforderungen/Hürden) sein und welche Themen als nächstes adressiert werden müssen.

Künftige (Forschungs-)Bedarfe ergeben sich einerseits aus der Weiterentwicklung der Digitalisierung insgesamt, andererseits aus der Wechselwirkung mit wasserwirtschaftlichen Belangen. Die Anforderungen aus der Digitalisierung insgesamt können im Wesentlichen in die drei Kategorien Datenaufnahme / -übermittlung, Datennutzung und Datenausgabe / Visualisierung unterteilt werden. Sie sind in den folgenden Abschnitten dargestellt. Abschließend sind Künftige (Forschungs-)Bedarfe aus Sicht der WavE-Verbundprojekte resultierend aus wasserwirtschaftlichen Herausforderung und Möglichkeiten der Digitalisierung zusammengefasst.

3.2.1 Datenaufnahme / -übermittlung

Erwartungsgemäß ist die Art der Datenaufnahme und Übermittlung vom Ort der Aufnahme zur Verarbeitung sehr heterogen. Die Ursache dafür liegt im niedrigen Reifegrad von Digitalisierung in der Wassertechnik, insbesondere bei der Anwendung auf Bestandssysteme. Die Quelle der Daten sind projektübergreifend Sensoren (z.B. Durchfluss, Temperatur, pH), Betriebstechnik (z.B. Drehzahlen, Stromaufnahme) und Labormessungen (z.B. Zusammensetzungen). Diese Quellen unterscheiden sich in Bezug auf Ihre Aufnahmefrequenz (typischerweise im Sekundenbereich bei Betriebsgrößen, Sekunden bis Minuten bei Sensorgrößen und Stunden bis Tage bei Laborgrößen. Ebenso unterscheiden sich die Kategorien im Grad der Digitalisierung: digitale Verfügbarkeit von nahezu 100% bei Betriebsgrößen, Sensorgrößen liegen abhängig von der Anwendung durchaus analog vor, Laborgrößen werden in vielen Fällen analog ausgelesen und händisch übertragen (analoges Laborbuch, digitale in Excel-Formaten) oder liegen in gerätespezifischen Datenformaten vor.

Obwohl diese Daten trotz der großen thematischen Streuung der in WavE II vertretenen Projekte grundsätzlich ähnlichen Kategorien zuzuordnen sind, ist eine übergreifende Analyse aufgrund fehlender Identifikationsmöglichkeiten nicht möglich. Hier besteht ein dringender Bedarf an Standardisierung und Kategorisierung von Daten durch einheitliche Datenformate und Namensgebung und Kategorisierung in Aufnahmefrequenzen.

Die Übermittlung verfügbarer Daten weist aufgrund des Prototypcharakters der Anwendungen ebenfalls eine große Streuung auf, diese sind aber durchaus charakteristisch für wassertechnische Anwendungen. Hier bestehen noch Hindernisse durch fehlende allgemeingültige Regeln für Datensicherheit bei der Übermittlung über Systemgrenzen hinweg. Ein genereller Forschungsbedarf besteht hier nur bedingt, die Regelwerke aus ISO 2700x und verwandten Normen bieten grundsätzliche Leitlinien, deren Umsetzung in den verschiedenen Anwendungen der Wassertechnik eine gewisse Bandbreite aufweisen wird.

Die Ergebnisse der verschiedenen Projekte zeigen auf, dass die Digitalisierung von Bestandsanlagen im technischen Maßstab besondere Herausforderungen stellt und die Ausstattung mit Sensorik ein limitierender Faktor sein kann. Forschungsbedarf kann formuliert werden zur Beantwortung der Frage,

welche Mindestanforderungen wassertechnische Anlagen in Bezug auf Sensorik und Instrumentierung haben.

3.2.2 Datennutzung

Auch die in den Wave-Verbundprojekten vorliegende Art der Datennutzung ist höchst heterogen und reicht von Remote-Monitoring im Feld erhobener Daten über nicht-automatisierte Muster- und Anomalieerkennung bis zu Digitalen Zwillingen für die Echtzeit-Betriebsoptimierung von Anlagen. Allen Anwendungen ist gemeinsam, dass für Darstellung und Weiterverarbeitung geeignete Datenbankstrukturen identifiziert werden müssen, die den Anforderungen der jeweiligen weitergehenden Nutzung und der nachfolgenden Ausgabe / Visualisierung gerecht werden. Bei den Anwendungen jenseits des reinen Monitorings erfolgt eine Weiterverarbeitung der Daten. Dabei kann unterschieden werden zwischen

- off-line Datenanalysen zur Korrelationsbildung zwischen Mess- und Zielgrößen und der Identifikation von Haupteinflussgrößen mit unterschiedlichen Modellen
- on-line Nutzung zur modellgestützten Prädiktion unbekannter Prozessparameter
- Echtzeit-Prädiktion von Messgrößen mit erheblichem Zeitverzug der Informationsübermittlung (hauptsächlich Labormessungen)
- Echtzeit-Assistenzsysteme und Optimierer mit Empfehlung von Stellgrößen oder Closed-Loop-Einbindung

Forschungsbedarf besteht in Bezug auf die Analyse und mögliche Standardisierung der weiterverarbeitenden Modelle. Es ist nicht zu erwarten, dass für alle wassertechnischen Applikationen ähnliche Modellfamilien identifiziert werden können. Dennoch wird es für ähnlich gelagerte Anwendungen bevorzugte Modellgruppen geben, die das typische Zeitverhalten und Anzahl von Ein- und Ausgangsgrößen haben. Das könnte die Grundlage für zukünftige standardisierte Workflows darstellen und die Implementierung digitaler Modelle in horizontaler und vertikaler Richtung wassertechnischer Vorrichtungen stark vereinfachen.

Eine Schnittmenge aus den Wave II Projekten in Bezug auf die Digitalisierung betrifft die Validierung der in den Einzelvorhaben implementierten Nutzungen und die Quantifizierung des wissenschaftlichen und oder wirtschaftlichen Nutzens. Ein wichtiger Aspekt ist dabei auch die Robustheit der digitalen Systeme beim Übergang vom Versuchsbetrieb innerhalb Forschungsvorhaben mit typischerweise erhöhter Personalverfügbarkeit in einen Regelbetrieb.

3.2.3 Datenausgabe / Visualisierung

Naturgemäß richtet sich die Ausgabe und Visualisierung von aufgenommenen, verarbeiteten und in den Modulen der Datennutzung neu erzeugten Daten sowohl nach der jeweiligen Anwendung als auch den Adressaten. Die Visualisierung ist dabei aus Akzeptanzgründen auch für solche Anwendungen sinnvoll und notwendig, deren Daten prozessintern bleiben und zur Echtzeit-Optimierung von Prozessgrößen verwendet werden.

Auch in der Ausgabe und Visualisierung erscheint eine Standardisierung von Dashboards sinnvoll, um den verschiedenen Nutzergruppen schnellen und intuitiven Zugang zu großen Datenmengen und den daraus gewonnenen Informationen zu gewähren. Die Nutzergruppen können eingeteilt werden in

- Anlagenbediener, dazu gehören auch Monitoringfunktionen
- Servicepersonal der jeweiligen Systeme
- Leitungsebenen der Anlagen Betreiber, Ausgabe in ERP / MIS-Systeme, ...
- Wasserverbände als Empfänger wechselnder Überschuss-Wasserlasten aus den jeweiligen Systemen
- Überwachungsbehörden
- Öffentlichkeit

Dafür spielen einerseits geeignete und möglichst standardisierte Authentifizierungssysteme eine Rolle, aber auch die Aggregation und automatisierte Bereitstellung von Daten für die nicht authentifizierungspflichtige öffentliche Nutzung. Aus Sicht einer größtmöglichen Transparenz und

öffentlichen Akzeptanz z.B. der Vorhersage von Wasserverfügbarkeiten ist eine weitestgehend einheitliche Darstellung (verbands- und länderübergreifende Standards) sinnvoll. Für die Art der Dokumentation und Bereitstellung müssen auch wasserrechtliche Aspekte berücksichtigt werden.

Aus technischer Sicht bedeutet dies, dass die digitalen Systeme mit Ausnahme der anlageninternen Echtzeit-Optimierer notwendigerweise cloudfähig sein müssen. Hinsichtlich der technischen Umsetzung unter Berücksichtigung skalierungsfähiger Lösungen für die Wassertechnik besteht weitergehender Forschungsbedarf.

Dokumentation unter Berücksichtigung wasserrechtlicher Anforderungen.

3.2.4 (Forschungs)Bedarfe aus wasserwirtschaftlichen Herausforderungen

Tabelle 10: Künftige Bedarf (F&E, ...) aus Sicht der WavE-Verbundprojekte, induziert aus wasserwirtschaftlichen Herausforderungen

Projekt	künftige Bedarf (F&E, ...): induziert aus wasserwirtschaftlichen Herausforderungen
Übergreifende Bedarfe	Wie kann die Digitalisierung das Risikomanagement in der Bewertung und dem Management (Betrieb) einer Wasserwiederverwendung unterstützen? Wie kann Digitalisierung das Stakeholdermanagement unterstützen / transparentere Informationsplattformen schaffen / Akteure /Sektoren (Wasser, Energie, ...) verbinden? Festhalten und digitalisieren von Betreiberwissen/-information (Know how Erhalt).
FlexTreat	Überprüfung der KI-Module im Betriebsalltag. Herstellung einer Akzeptanz zur Nutzung von KI. „Schrittweise“ Einführung der Entwicklungen in den operativen Alltag.
Nutzwasser	Untersuchung von Möglichkeit und Auswirkungen der Grundwasseranreicherung auf die lokalen Grundwasserkörper (Hydrologie und Qualität) um sicheren Betrieb zu ermöglichen → Weiterbetrieb der Messeinrichtungen erforderlich, um vergleichbare Aussagen zu bekommen. Planung einer Fernsteuerung, z.B. der Bewässerungseinrichtungen, um die Bewässerung von Landwirten zu koordinieren (versetzte Bewässerung). Untersuchung weiterer Anwendungen von Nutzwasser, z.B. im städtischen Bereich.
innovatiON	Bezüglich der Differenzierung chemischer Selektivität besteht nach wie vor Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der mMCDI. Die Ermittlung von Betriebswerten über längere Zeiträume (mehrere Jahre) würde neben besseren Erkenntnissen zum Konzept der „Anlagen-Fitness“ auch wichtiges Feedback für eine optimierte Fertigung der mMCDI-Komponenten liefern. Technologische Entwicklungen in Bereichen des „Internet of things“ und weitere Standardisierungen zwingen zu einer fortwährenden Überprüfung und Adaption.
Med-zeroSolvent	Die technologische Anpassung (bspw. Standardisierung) bei den verwendeten Softwarelösungen sowie das Zusammenspiel mit Standardprogrammiersprachen bei der Automatisierung der Prozessregelung sind die aktuellen Fragestellungen, die für eine praxisnähere und niedrigschwelligere Anwendung der Methodik beantwortet werden müssen. Dazu zählen auch die Vereinfachung der Erstellung und Nutzung der digitalen Zwillinge bis hin zu einer entsprechenden Ausbildung nicht nur im Bereich der Automatisierungstechnik, sondern auch im verfahrenstechnischen Bereich. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass solche Elemente auch in den Fokus des BIM (Building Information Modelling) rücken, um nicht nur die Bauwerke und Anlagen an sich in eine digitale Umgebung zu überführen, sondern auch die Daten und die digitale Infrastruktur.
ReWaMem	Mehr Datenpunkte aus verschiedensten Textilwaschbetrieben zur Erstellung eines möglichst exakten allgemeinen Modells für die “Prozesskette Wäscherei”

NERA	Die Kopplung der Abwasserbehandlungsdaten bzw. den Daten des digitalen Zwillings mit den Produktionsdaten liefert Erkenntnisse und Hinweise zur prognoseorientierten Wasserbehandlung und Prozesswasserverfügbarkeit .
WEISS_4PN	Die Projektarbeiten in WEISS4PN zeigen, dass die Verfügbarkeit erforderlicher Produktions- und Prozessdaten in ausreichend hoher Datendichte eine Herausforderung darstellt, die für die Nutzung der digitalen Tools und Simulationen darstellt. Hier müssen bedarfsmäßig Online-Messsysteme (z.B. für Volumenströme, Temperatur, Leitfähigkeit und pH) nachgerüstet und Analysetechniken für die Beschreibung der Wasserqualität (z.B. Chlorid, Fluorid, Sulfat) auf eine höhere Messfrequenz optimiert werden. Des Weiteren muss das Vertrauen in die digital generierten Prognosen und Handlungsempfehlungen zunächst durch einen schrittweisen Einsatz dieser Tools aufgebaut werden (z.B. offline-Nutzung, Schulungen, Plausibilitätsprüfung durch Betriebspersonal) bevor eine teil- oder vollautomatisierte Steuerung der Prozesse umgesetzt werden kann.
RIKovery	Das Projekt führt zu höherer Transparenz insbesondere im Rahmen der sektorübergreifende Wiederverwendungssysteme .

3.2.5 (Forschungs)Bedarfe aus Möglichkeiten der Digitalisierung

Tabelle 11: Künftige Bedarf (F&E, ...) aus Sicht der WavE-Verbundprojekte - induziert aus den Möglichkeiten der Digitalisierung.

Projekt	künftige Bedarf (F&E, ...): induziert aus wasserwirtschaftlichen Herausforderungen
Übergreifende Bedarfe	Die digitale Auswertung verfügbarer Informationen erlaubt frühe Hinweise auf sich entwickelnde Ereignisse/Situation die aus direkten Messungen (noch) nicht ablesbar sind, z.B. Predictive Maintenance/Management/... Digitale Tools können eine weitere Optimierung von Wasserbehandlungsprozessen, Betriebs- /Fahrweisen eröffnen
Nutzwasser	Die Digitalisierung ermöglicht eine vorausschauende Steuerung der Wasserwiederverwendung , indem Echtzeitdaten zu Verbrauch, Wetterlage und Grundwasserstand für präzise Prognosen genutzt werden. Dies erlaubt eine bedarfsgerechte und effiziente Nachspeisung des Grundwasserleiters , um Wasserverluste zu minimieren. Darüber hinaus eröffnet die Digitalisierung neue Perspektiven für eine adaptive Wassermanagementstrategie , die automatisierte Steuerung, frühzeitige Risikoerkennung und eine optimierte Ressourcennutzung integriert
innovatiON	Im zeitlichen Kontext variieren zahlreiche Parameter in nicht vorhersagbarer Weise und wirken auf die Kapazität der MCDI ein. Durch eine bereits integrierte Ermittlung von Strom und Spannung im zeitlichen Verlauf werden bereits Prozessparameter (Schrittzeiten) automatisch systemintern an geänderte reale Gegebenheiten angepasst. Auf Alterung basierende Ausfälle und unvorhersehbare Effekte können so erkannt werden und durch das Remotekonzept ortsunabhängig adressiert werden. In Kombination mit der ebenfalls integrierten Ermittlung und Zählung von Schaltvorgängen und Fehlerzuständen könnten Anlagen-, Standort- und Betreiberübergreifende Service-, Betreuungs- und Retrofitkonzepte entwickelt und angeboten werden. Eine darauf aufbauende Plattform könnte als "Service-as-a-Service"-Provider auf dem Markt agieren und einen Beitrag zu in der Praxis immer knapper werdender Fachkompetenz leisten: eine gebündelte, zeitlich und räumlich optimierte Zuteilung der "Ressource Mensch" wäre dadurch möglich.
ReWaMem	Besseres allgemeines Modell der "Prozesskette Wäscherei" erlaubt weitere analytische Untersuchungen zu Wassereinsparungen, z.B. die Wechselwirkung zwischen bestimmten Textiltypen, deren Verschmutzung und der Art des verwendeten Waschmittels
NERA	Die Erkenntnisse aus der prognoseorientierten Wasserbehandlung lassen sich u.a. für Produktionsänderungen oder Harvarie- und Notfallsituationen nutzen, um die Abwasserbehandlung vorausschauend zu betreiben und die Prozesswasseraufbereitung aus dem behandelten Abwasser abzusichern.

WEISS4PN	Die aus den digital prognostizierten Informationen bzgl. Wasserverfügbarkeit (externe Frischwasserversorgung, recyceltes Abwasser) und dem produktionstechnisch bestehendem Brauchwasserbedarf können u.a. für eine situationsbedingte und vorausschauende Anpassung der Produktionsplanung und Prozesswasseraufbereitung eingesetzt werden. Für den exemplarischen Fall einer prognostizierten Einschränkung der externen Frischwasserversorgung (Menge, Qualität) aus Oberflächengewässern könnten vorzeitig zusätzliche Wasser- und Abwasserbehandlungsanlagen zur Erzeugung von Brauchwasser in der erforderlichen Qualität aktiviert (z.B. Entsalzung) und Szenarien für die eventuell notwendige Abschaltung von Betriebs- und Produktionseinheiten entwickelt werden. Darüber hinaus ermöglicht ein digitales Kühlleistungsmanagement in Verbindung mit den Informationen zur Wasserverfügbarkeit Prognosen zur Verringerung des hierfür erforderlichen Energiebedarfs des Stahlwerks.
RIKovery	Die Digitalisierung der Analytik ermöglicht kurz-, mittel- und langfristig die Möglichkeit der Anomalieerkennung und rechtzeitige Maßnahmen (z.B: im Recyclingprozess) ergreifen zu können.

4 Literatur

van der Valk H., Haße H., Möller F., Otto B. (2022) Archetypes of Digital Twins. Bus Inf Syst Eng 64(3):375–391 (<https://doi.org/10.1007/s12599-021-00727-7>)



INNOVATIONSATLAS WASSER

Hier finden Sie innovative Produkte aus der BMBF-geförderten Wasserforschung. Die Produkte umfassen neben Technologien und Verfahren auch Managementkonzepte, Software-Tools und Bildungsmaterialien zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser.

www.innovationsatlas-wasser.de

