SYNERGIEN MIT ANDEREN TECHNOLOGIEN

TRINK- & ABWASSER

Die wichtigsten Technologien im Zusammenhang mit ANCS sind Sensortechnologien, insbesondere Sensoren, die unterschiedliche Arten von Kommunikationssystemen (wie Feldbusse oder OPC) nutzen. Sie sind notwendig, um ANCS anzuwenden, aber können auch von der KNN-Technologie verbessert werden. So berechnen virtuelle Messgeräte virtuelle Signale basierend auf einfachen und robusten Messungen und können so Labormessungen ersetzen. Sie sind besonders interessant für Signale, deren Erhebung kostenintensiv ist, wie z.B. der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB). Aus den Ersatzsignalen, die mit dem benötigten (nicht-linearen) Signal korrelieren, können Einschätzungen durch KNN berechnet werden, die oft präziser sind als das entsprechende Ergebnis der Laboranalysen.

FALLSTUDIEN

OPTIMIERUNG DES BIOLOGISCHEN BEHANDLUNGSCHRITTS FÜR DIE KLÄRANLAGE KÖLN-STAMMHEIM

Die Abwasserbehandlungsanlage Köln-Stammheim ist mit einer Kapazität von 1.4 Mio. Bevölkerungseinheiten eine der größten Deutschlands. Die Anlage behandelt eine Mischung aus Stadt- und Industrieabwasser. Die biologische Behandlungsstufe besteht aus Hochlastbelebung, Zwischenklärung, Schwachlastbelebung und Nachklärung. Die Stickstoffelimination erfolgt nach dem Verfahren der sog. „vorgeschalteten Denitrifikation“ in der Schwachlastbelebung mittels Druckbelüftung. Schwachlastbelebung und Nachklärung sind in Beckengruppen aufgeteilt, die unterschiedliche Randbedingungen aufweisen.

Die Optimierungsaufgabe

Schwachlastbelebung und die Nachklärung wurden zur Optimierung ausgewählt. Die Optimierungsstrategie zielt darauf ab, in jedem Betriebszustand die Stellgrößen Luftzufuhr, Rezirkulationsvolumenstrom und Fällmitteldosierung so einzustellen, dass das gewünschte Behandlungsergebnis unter minimalem Einsatz der entsprechenden Ressourcen (Energie, Chemikalien) erreicht wird. Dafür wurde ein ANCS eingesetzt, dass auf die lokalen Bedingungen abgestimmt war. Als Besonderheit verfügt das System über einen „Flugsimulator“, mit dem „Was-wäre-wenn-Szenarien“ durch manuelle Eingabe von Werten für Stellgrößen durchgespielt werden können.

Ergebnisse

Die Optimierung führte zu einer Energieeinsparung von 15% für die Abwasserbehandlungsanlage unter Trockenwetterbedingungen. Unter Regenwetterbedingungen wurde die Optimierungsstrategie umgeschaltet, um Grenzwerte einzuhalten, hierbei wird die Energieeffizienz in den Hintergrund gestellt.

IWaNET – INTELLIGENTE WASSERNETZWERKE: LECKSUCHE IM WASSERVERSORGUNGSNETZWERK IN BELM, DEUTSCHLAND

Die Gemeindewerke Belm betreiben ein vergleichsweise kleines Verteilernetzwerk für Trinkwasser. Die Gesamtlänge des Netzwerkes beträgt 110 km und erstreckt sich über 10 x 8 km mit einer jährlichen Wasserversorgung von ungefähr 0,72 Mio m^3. 3.600 Haushalte mit circa 14.000 Einwohnern werden von dem System versorgt. Zentrale Wasserversorgungssysteme stellen komplexe Anforderungen in Bezug auf die betriebliche Überwachung und einer optimierten Betriebssteuerung dar, da sie folgendes sicherstellen müssen:

- die Versorgung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser an jeder Entnahmestelle mit ausreichendem Druck und in ausreichender Menge,
- der energetisch optimale Betrieb des ganzen Systems, und
- die Kontrolle von Störfällen, um Kundenzufriedenheit und Vertrauen sicher zu stellen.

Die Optimierungsaufgabe

Die Reaktion des Systems an verschiedenen Entnahmepunkten kann zur Annäherung an das Verhalten des ganzen Systems genutzt werden. Das eingesetzte ANCS nutzt daher Überwachungsdaten von wenigen Entnahmepunkten zur Simulierung und für die Optimierungsempfehlungen für den Betrieb des Wasserversorgungsnetzwerks.

Ergebnisse

Das IWaNet System ist in der Lage aufzuzeigen, welche Störfälle voraussichtlich geschehen können. Bei der ersten Anwendung konnte das System ein Leck feststellen und dieses innerhalb weniger hundert Meter lokalisieren mit nur begrenzten Informationen zu Druck und Durchfluss. Das System warnt, sobald die vom Nutzer bestimmten Grenzwerte erreicht werden. Auch kann eine Prozessoptimierung im Bezug auf den Energieverbrauch durchgeführt werden.

http://demeau-fp7.eu/

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE UMSETZUNG

CHANCEN FÜR DIE UMSETZUNG

- **Upscaling**: Membranfiltrationsverfahren weisen sehr reproduzierbares Verhalten auf. Erfahrungen von Forschungs-projekten wie DEMEAU unterstützen daher die Anwendung des KNN-Ansatzes auf ein breites Größen-spektrum von (Trink)wasserbehandlungsanlagen.
- **Prozessoptimierung**: Die Anwendung von KNN in etablierten Membran-filtrationsverfahren kann die Verfahrensproduktivität um 4–15% steigern. Für die bestehenden Membran-filtrationsanlagen in Europa besteht ein großes Potential, erhöhte ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit zu erreichen.
- **Flexibilität:** Da KNN auf viele verschiedene Technologien anwendbar ist, sind die Möglichkeiten für die Umsetzung groß.

HINDERNISSE FÜR DIE UMSETZUNG

- **Rechtliche und/oder regulatorische Hindernisse**: Trinkwasserunternehmen müssen entsprechend der Trinkwasserrichtlinie sicherstellen, dass die Wasserqualität des behandelten Trinkwassers den Anforderungen der Richtlinie entspricht. Die KNN-Technologie unterstützt die betriebliche Einhaltung von Normen, da das System kontinuierlich den Prozess durch aktuelle Umweltdaten überwacht und steuert.
- **Ökonomische Hindernisse**: Die Anlagengröße bestimmt die Rendite, daher sind größere Anlagen kosteneffizienter als kleinere Anlagen. Der potentielle Einfluss der KNN-Anwendung kann genauestens abgeschätzt werden. Daher können Fälle bereits im Vorhinein bestimmt werden, für die die Investition angemessen ist (z. B. in Bezug auf die geplante Amortisierungszeit).
- **Wartung**: Optimierung ist eine langfristige Aufgabe und die Modelle, besonders wenn lebende (biologische) Organismen involviert sind, neigen zur Alterung. Wartung ist daher ein wichtiger Aspekt bei Umsetzung von KNN. Das System benötigt sogenannte “re-trainings“ – oder “Nachtrainings”. Diese können von aquatune, dem Betreiber, oder automatisch vom System durchgeführt werden. Welche Methode angewandt wird, hängt von mehreren technischen und ökonomischen Parametern ab. aquatune bietet attraktive Dienstleistungsvereinbarungen mit allen denkbaren Optionen um laufende Instandhaltung zu garantieren.

Die weltweit größte, zwei-stufige UF der WAG Roetgen: 1. Stufe der Trinkwasserproduktion (X-Flow, 7,000 m^3/h)

Fotos:
IWW Zentrum Wasser

Abbildungen:
Jörg Gebhardt (aquatune)

Cover design and layout: **broon**design - www.broon.de

Autoren:
Jörg Gebhardt (aquatune)
Evelyn Lukat (Ecologic Insitute)

DEMEAU

DEMONSTRATION OF PROMISING TECHNOLOGIES TO ADDRESS EMERGING POLLUTANTS IN WATER AND WASTE WATER

AUTOMATISCHE PROZESSFÜHRUNG MIT KÜNSTLICHEN NEURONALEN NETZEN

Die weltweit größte, zwei-stufige UF der WAG Roetgen: 2. Stufe: Behandlung des Reinigungswassers (Multibore®, 630 m^3/h)

Künstliche Neuronale Netze und Genetische Algorithmen können einen wesentlichen Beitrag zum energetischen und wirtschaftlich optimierten Betrieb von Anlagen zur Wasseraufbereitung leisten. Nach dem aktuellen Stand der Technik beruht die Steuerung und Regelung von Anlagen meistens auf einfachen Konzepten, wie z.B. Umschaltungen mit festem Zeitraster oder in Abhängigkeit vom Erreichen eingestellter Grenzwerte (z.B. Druckwerte). Der dadurch verursachte Energieaufwand für den Betrieb kann deutlich höher liegen als notwendig.

PROGNOSE VON ZIELGRÖSSEN MITTELS KÜNSTLICHER NEURONALER NETZE

Viele Prozessgrößen, wie z.B. die Permeabilität einer Membran für die Aufbereitung von Trinkwasser, hängen in komplexer Weise von vielen verschiedenen Parametern ab. Die Technologie der Künstlichen Neuronalen Netze (KNN) ermöglicht die Prognose solcher Prozessgrößen. Auf Basis der Prognosen können dann verfahrenstechnisch und wirtschaftlich optimale Einstellungen des Prozesses ermittelt werden.

BERECHNUNG VON OPTIMALEN EINSTELLUNGEN FÜR PROZESSGRÖSSEN MITTELS GENETISCHER ALGORITHMEN

Aufgrund der hohen Zahl der gleichzeitig wirkenden Einflüsse auf die Prozessqualität und –effizienz ist die Suche nach einer optimalen Lösung extrem aufwendig. Hier haben sich die Genetischen Algorithmen bewährt, deren Funktion ebenfalls nach dem Vorbild der Natur entwickelt wurde. Im Rahmen des Projekts DEMEAU, das im „siebtes Rahmenprogramm (RP7) der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration“ gefördert wurde, konnten Einsparmöglichkeiten im Betrieb einer Membrananlage zur Trinkwasseraufbereitung demonstriert werden.

Dieses Projekt wurde vom siebten Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration mit der Zuwendungsnummer 308339 gefördert.

EINFÜHRUNG

Künstliche Neuronale Netze (KNN) gewinnen zunehmend an Bedeutung im Betrieb von Trinkwasseraufbereitungs- und Abwasserbehandlungsanlagen. Es ist eine Technologie, die auf Beobachtungen des menschlichen Gehirns basiert. In den letzten 60 Jahren haben Wissenschaftler aus einfachen mathematischen Modellen leistungsstarke Software entwickelt, die mit Nichtlinearität umgehen kann und von Daten „lernt". Letzteres stellt auch den größten Vorteil von KNN dar, da diese bei Problemen auf Grund ihres Erfahrungsschatzes Lösungen entwickeln können. KNN arbeiten in Verbindung mit einem Algorithmus, der die beste Prozesskonfiguration anstrebt. Die beiden Komponenten bilden zusammen Automatic Neural Net Control Systems (ANCS) – Automatische Neuronale Netz Steuerungssysteme.

AUTOMATIC NEURAL NET CONTROL SYSTEMS ZUR OPTIMIERUNG VON WASSERAUFBEREITUNGSANLAGEN

In erster Linie ist ANCS ein Computer-basiertes System, welches Lösungen sucht, um einen Prozess zu optimieren. Dabei nutzt es Eingangssignale von technischen Prozessen wie z. B. den Sensordaten einer Wasseraufbereitungsanlage. ANCS nutzt diese Eingangsinformation, um die optimale Leistung des Prozesses zu ermitteln. Im Fall einer Trinkwasseraufbereitungsanlage kann dieser Prozess ein Membranfiltrationsverfahren sein, wobei das System auf die Optimierung seiner Vorgabeparameter abzielt, bspw. Permeabilität, Energieverbrauch oder Kosteneffizienz. Künstliche Neuronale Netze, bestehend aus Berechnungsmustern, simulieren, wie die von einem Sensor erfassten Eingangssignale in Ausgangsdaten umgewandelt werden (Abb. 1). Während der Lernphase werden die berechneten Ausgangsdaten mit gemessenen Ausgangswerten verglichen um KNN zu kalibrieren. Unter Nutzung ihres Algorithmus verbindet die Technologie die Auslöser mit ihrer Wirkung – eine Veränderung der Eingangssignale führt auch zu einer Veränderung der Ausgangs(Ziel) signale, die von KNN abgebildet werden. Sobald das System ausgereift ist, werden die entstandenen Vorhersagen mit einem Optimierungsalgorithmus verbunden, um die optimale Einstellung für die Prozessparameter zu finden. ANCS wurde im EU LIFE finanzierten Projekt „Purifast" entwickelt.

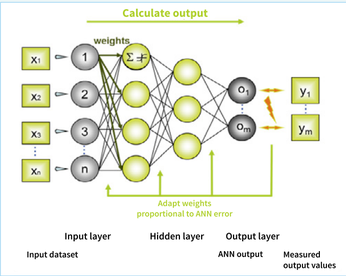


Abb. 1: *KNN-Struktur: Abbildung von Eingangssignalen (z.B. Durchfluss, Temperatur, pH) auf Zielgrößen (Permeabilität, Effizienz)*

AUTOMATIC NEURAL NET CONTROL SYSTEMS ANGEWANDT AUF FILTRATIONSPROZESSE

Membranfiltrationsprozesse bestehen aus abwechselnden Perioden von Filtrierung und Rückspülung. Die volle Prozessleistung hängt von der Rohwasserqualität und den verschiedenen Einstellungen der Betriebsvariablen ab. Die von einem abgeschlossenen Filtrationszyklus gewonnenen Verfahrensdaten werden vom KNN genutzt, um die optimalen Betriebseinstellungen für den folgenden Zyklus zu identifizieren.

Membranpermeabilität wurde als einziger repräsentativer Parameter für die Effektivität des Filtrations- und Rückspülungszyklus bestimmt. Um die Entwicklung der Permeabilität bestimmen zu können werden Informationen zu den Einflussfaktoren Filtrations- und Rückspülungsfluss, sowie Filtrations- und Rückspülungsdauer benötigt. Dieses sind gängige Parameter um den Betriebsstatus einer Filtrationsanlage zu beschreiben.

Konstant hohe Membranpermeabilität weist auf hohe Ertragsbedingungen als auch die Abwesenheit von irreversibler Membranverschmutzung hin. Die Betriebsbedingungen sowie die chemisch-physikalischen Prozesse unterscheiden sich für Filtration und Rückspülung wesentlich. Daher müssen zwei spezialisierte KNN-Modelle entwickelt werden, um den Filtrationsprozess zu reproduzieren und effektiv vorherzusagen. Diese individuell ausgebildeten Modelle werden kombiniert, um ein verbundenes Modell zu schaffen, welches als eigenständige KNN-Struktur betrachtet werden kann, obwohl es weiterhin zwei Ausgabeparameter ermittelt.

Durch die Anwendung von ANCS für Membranfiltration wird, durch die optimal angepassten Betriebsparameter, die Betriebsleistung stabil gehalten. Die Optimierung basiert auf der Annahme, dass die in einem Filtrationszyklus vorgefundene Rohwasserqualität innerhalb gewisser Grenzen mit der Qualität der folgenden Filtrationsprozesse übereinstimmt. Folgende Wasserqualitätsparameter können genutzt werden, um die chemisch-physikalische Rohwasserzusammenstellung zu definieren: Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit und Trübung. Letzteres kann, abhängig von der bereitgestellten Messart je nach Standort variieren.

OPTIMIERUNG EINES TECHNISCHEN PROZESSES NACH REGELN DER EVOLUTION: EIN GENETISCHER ALGORITHMUS

Das durch das siebte Rahmenprogramm (RP7) der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration finanziertes Projekt DEMEAU arbeitet zurzeit an der Demonstration von Optimierungsalgorithmen, sogenannten Genetischen Algorithmen (GA). Genetische Algorithmen sind von Darwins Evolutionstheorie inspiriert, insbesondere von der Theorie zur natürlichen Selektion. GA helfen dabei effizient eine funktionsfähige Lösung zu finden, was mit anderen Techniken eine zeitaufwendige Aufgabe wäre. GA bieten praktikable, mathematisch annähernd optimale Lösungen für Optimierungsprobleme mit verschiedenen Variablen. Mögliche Prozessumgebungen wie Durchlauf oder Temperatur werden als Chromosomen kodiert, mit denen der Algorithmus arbeitet. Der GA sucht die beste Lösung des Optimierungsproblems über eine definierte Anzahl von Generationen (Vergleichsrunden). Chromosomen überleben eine Generation, wenn die Umstände, die sie repräsentieren, zu besseren Ergebnissen im KNN führen, als die jeweilig anderen Chromosomen. KNN repräsentiert dabei das zu optimierende System. Während des Prozesses werden die Chromosomen entweder in die nächste Generation vererbt oder fallen aus dem Prozess heraus. Die Funktionen der Mutation und Kreuzung simulieren nicht-lineares Denken (siehe Abb. 2), was einen weiteren Grad der Komplexität im Selektionsprozess zulässt. Die Funktionen fügen neue Eigenschaften, sprich Systemeinstellungen, zu dem Prozess hinzu und gestalten GA damit effizienter. Während des Optimierungsprozess können mehrere mögliche Bedienungspunkte in einer kurzen Zeit getestet werden, um das fitteste Chromosom und damit auch die optimalen Systemeinstellungen innerhalb eines Parameterspektrums zu ermitteln.

Bei der Nutzung von KNN zusammen mit einem genetischen Optimierungsalgorithmus, werden die Eingangsparameter in zwei Arten von Variablen geteilt, Konstanten (oder Störgrößen) und manipulierbare Variablen, und dann für das vorliegende Problem optimiert. Dafür wird eine Zielfunktion definiert, welche die manipulierbare Variable beinhaltet. Für manipulierbare Variablen muss ein Bereich festgelegt werden, in dem die Variable verändert werden kann. Daher sollte der gewählte Bereich innerhalb der Trainingsparameter liegen, wobei sicher zu stellen ist, dass keine Extrapolation möglich ist. Extrapolierte Prognosen können aufgrund gewisser mathematischer Eigenschaften von KNN extrem falsch liegen und müssen deshalb unterdrückt werden. Logische oder operative Bedingungen bzw. Schranken sollten als Grenzen für den Suchbereich berücksichtigt werden. Sobald eine größere Leistungsfähigkeit erreicht ist, werden die Chromosomen dekodiert, um die Prozesseinstellungen zu erhalten.

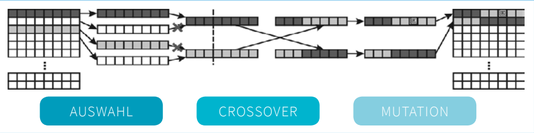
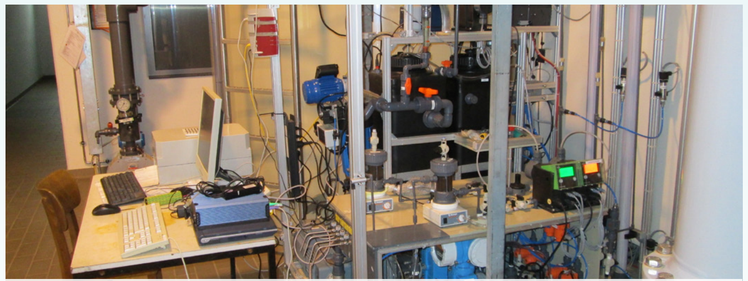


Abb. 2: *KNN-Struktur: Abbildung von Eingangssignalen (z.B. Durchfluss, Temperatur, pH) auf Zielgrößen (Permeabilität, Effizienz)*



Pilotanlage zur Behandlung des Reinigungswassers (Sep. 2014–Feb. 2015) mit zwei Reinigungsteilprozessen, UF-Module Lab 1.5 MB 1.0 (Multibore®), Membranfläche 1m² (kleine Fläche/komplette Länge), 7 Kapillare pro Element, Innendurchmesser 1.5mm, Außendurchmesser 6.0mm, Porengröße ca. 0.02 µm, Material: PESM

ANWENDUNG DER TECHNOLOGIE

ERFORDERLICHE BEDINGUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG

- Um KNN kosteneffizient anzuwenden, sollte der zu steuernde oder optimierende Prozess hinreichend komplex sein. Prozesse, bei denen KNN angewandt werden können, sind z.B. Belebtschlammreaktoren kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen oder Reinigungsverfahren in Wasserwerken. Weiterhin muss ein minimales Produktionsvolumen beachtet werden. In der durchschnittlichen Abwasserbehandlungs-anlage liegt die Mindestgröße bei ungefähr 30.000 Einwohnerwerten (EW).
- Die Vorteile der Technologie erhöhen sich mit zunehmender Komplexität der zu überprüfenden und/oder zu optimierenden Verfahren. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von Daten, welche bei modernen, automatisierten Systemen, die Sensordaten für den fehlerfreien Betrieb benötigen, gegeben ist.
- ANCS kann mit verschiedenen Messsystemen und Steuerungstechnologien kombiniert werden und ist daher sehr anpassungsfähig.

SKALIERBARKEIT

- Allgemein können ANCS auf alle Systemgrößen angewandt werden. Allerdings beeinflusst die Systemgröße die ökonomische Rentabilität in Bezug auf Amortisierung. Je größer das System ist, desto kürzer dauert es, bis die Kosten amortisiert sind.
- Die Skalierbarkeit hängt von dem Verfahren und dem Design der Lösungen ab, für die KNN eingesetzt werden. Verfahren in Abwasserreinigungsanlagen hängen z.B. von der Fitness des Belebtschlamms (Mischgesellschaft von Mikroorganismen) ab. Da Mikroorganismen sehr individuelles Verhalten haben, sollte für jeden Fall ein spezielles Modell gefertigt werden, für die generelle Designprinzipien skaliert werden können.
- Das vom DEMEAU-Projekt demonstrierte Filtrationsverfahren basiert auf Membran-Modulen, deren Verhalten gut reproduziert werden kann. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse von einem Pilotprojekt zu einer Großanlage stellt daher keine größeren Probleme dar. Die Signale, die als Eingangs- und Ausgangsdaten des Modells genutzt werden, müssen größenunabhängig definiert sein.

BEISPIELE URBANER ANWENDUNG

- Trinkwasseraufbereitung (z. B. Dosierung von Flockungshilfsmitteln, Filtration),
- Trinkwasserversorgung (z. B. Management der Übergabebehälter, Energierückgewinnung mit Turbinen, Verbrauchsprognose, Lecksuche),
- Steuerung urbaner Entwässerungsysteme,
- Abwasserbehandlung (z. B. Belebtschlammanlagen, anerobe Reaktoren, Prozesswasseraufbereitung),
- Management von Faultürmen, Biogasanlagen, Dosierung von Co-Substraten.

VORTEILE BEI DER ANWENDUNG DER TECHNOLOGIE

- KNN können für Multi-Parameter-Steuerungen angewandt werden, was einen wesentlichen Vorteil gegenüber konventionellen Steuerungsalgorithmen darstellt.
- KNN bieten die Möglichkeit, nicht-lineare Signale zu bewältigen. Konventionelle Steuerungs- und Statistiksysteme sind lineare Systeme. Dies begrenzt ihre Leistung in vielen, sich nicht-linear verhaltenden Umweltprozessen.
- KNN können mit historischen Betriebsdaten "trainiert" werden. Im Vergleich zu explizit programmierten Lösungen ist dies kosteneffizient, da das Training ein maschinell automatisierter Prozess ist. KNN sparen daher sowohl Zeit als auch Kosten im Vergleich zu konventionellen, modellgestützten Steuerungssystemen.
- Genetische Algorithmen sind sehr effizient bei der Ermittlung von Lösungen, wenn der Suchumfang sehr groß ist. Dies ist bereits der Fall, wenn die Anzahl der steuerbaren Variablen im Verfahren größer als drei ist. Beispielsweise bei Filtrations verfahren müssen die Parameter Durchfluss, Filtrationszeit, Rückflussvolumen und Rückflusszeit optimiert werden, um den Gesamtenergieverbrauch zu minimieren und die Produktivität bei 95% zu halten.
- In konventionellen Prozessen kann die Anwendung von KNN zu hohen Kosteneinsparungen durch niedrigere Instandhaltungskosten und zu geringeren Umweltauswirkungen durch Einsparungen bei Reinigungschemikalien führen. Im Bezug auf das Filtrationsverfahren können KNN die Rückspül-frequenz verringern, gleichzeitig die Produktivität der Anlage erhöhen und die Nutzung von Chemikalien für das Rückspülungsverfahren verringern.

DEMEAU