

Machbarkeitsstudie zur energetischen Kläranlagenoptimierung mit Instrumenten der künstlichen Intelligenz

Zeitraum:

10/2024 - 11/2025

Auftraggeber:

VGW Bernkastel-Kues | Ansprechpartner: Wolfgang Hauth (Werkleiter) | w.hauth@bernkastel-kues.de | 06531 54-210

Projekt:

Die Verbandsgemeindewerke Bernkastel-Kues betreiben 13 Kläranlagen, wobei die Zentralkläranlage (ZKA) Bernkastel-Kues mit einer Ausbaugröße von 33.360 EW und 40.000 EW_{CSB} die größte Anlage ist. Die Kläranlage ist gleichzeitig ein Schlammbehandlungscenter (SBC) für die gesamte Verbandsgemeinde (70.630 EW) mit Anlieferung, Speicherung und Entwässerung des Klärschlammes. Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, die energetische Optimierung der Kläranlage durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) und investiven Maßnahmen zu untersuchen. Der Fokus liegt auf der Senkung der Energiekosten und der Verbesserung der Energieeffizienz bei Erhaltung der vorgeschriebenen Reinigungsleistung. Die ZKA Bernkastel-Kues soll in den Bereichen Strom und Wärme bilanziell autark und eine Auskoppelung von Energie möglich werden. Es soll ein Energiekonzept gefunden werden, mit welchem ebenfalls das Moselbad und weitere umliegende Liegenschaften sowohl mit Wärme, als auch mit Strom, versorgt werden können. Zentraler Baustein dafür ist eine KI-gestützte energetische Flexibilisierung der Anlage. Die Ergebnisse dienen auch als Vorlage für andere Kläranlagen, insbesondere hinsichtlich Grundlagen und Wegen zur praktischen Implementierung von Methoden des maschinellen Lernens als hier relevante Unterkategorie von künstlicher Intelligenz.

Projektdetails:

Handlungsbedarf:

- Die ZKA verbraucht jährlich ca. 900.000 kWh Strom, davon werden 30-40 % regenerativ erzeugt (KWK und PV)
- Es bestehen ungenutzte Potenziale bei der Nutzung/Erzeugung von Faulgas sowie PV-Strom
- Wärmpotenziale aus der Belüftung und im Abwasser werden bislang nicht genutzt
- Unzureichende messtechnische Ausstattung und Datenbewirtschaftung, -speicherung, und -schnittstellen
- Die Flexibilisierung der Energieerzeugung und Energienutzung ist notwendig, um auf dynamische (Markt-)Signale reagieren zu können und Kosten zu senken

Untersuchte technische Maßnahmen:

Künstliche Intelligenz

- Schritt für Schritt-Leitfaden zur KI-Implementierung: die Kläranlage muss „KI-Ready“ werden
- PV-Prognose zur Vorhersage volatiler erneuerbarer Energieerzeugung und damit Optimierung des Eigenverbrauchs und Steuerung der Gasverwertung
- Voraussetzung: Einheitliche Datenplattform und Schnittstellen mit Beachtung der Datensicherheit in der kritischen Infrastruktur

Energetische Optimierung

- Ausbau und Flexibilisierung der Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW): 50 kW_{el} Miet-BHKW durch zwei 50 kW_{el}-BHKWs ersetzen zur optimalen Nutzung des Klärgases und zur Reduktion von Fackelverlusten
- Dämmung des Faulbehälters zur Steigerung der Effizienz (große Wärmeverluste im Winter)
- Zugabe von Co-Substraten kann die Gasproduktion steigern und den fehlende Primärschlamm ausgleichen
- Steigerung der PV-Produktion: insb. Realisierung eine 110 kWp Freiflächenanlage mit neuer Trafostation
- Wärmerückgewinnung: Nutzung der Abwärme aus der Belüftung und dem Abwasser mittels Wärmetauscher und Wärmepumpe

Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz:

- Die Maßnahmen führen zu einer deutlichen Reduktion der Betriebskosten und des CO₂-Ausstoßes
- Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Maßnahmen hängt von der Möglichkeit ab, überschüssige Wärme an umliegende Verbraucher, wie das Moselbad, abgeben zu können
- Wirtschaftlichkeit hängt auch von möglichen Förderungen für die untersuchten Maßnahmen ab

Empfohlene Prioritäten:

- Sofort-Maßnahmen:** Zusammenstellung europäische und nationale Anforderungen als Handlungsgrundlage, Betriebsoptimierungen und Energieeinsparungen, Überprüfung und Anpassung der messtechnischen Ausrüstung und Datenbewirtschaftung, -speicherung, und -schnittstellen (inkl. Datenbasis für marktverfügbare KI Anwendungen -> Erstellung digitaler Zwilling), Aufstellung Wärmekonzept für ZKA, Moselbad und umliegende Liegenschaften, Planung und Ersatz des Miet-BHKWs, Realisierung der PV-FFA (in Umsetzung) mit Nutzung der KI-basierten PV-Prognose, Prüfung der Möglichkeiten zur Eigenstromerzeugung am/um das Moselbad, Prüfung Substratverfügbarkeit für Co-Vergärung, Testausfaltung von teilstabilisierten Schlämmen anderer KAs, Prüfung der Randbedingungen zur Förderung und Finanzierung aller Maßnahmen

- Kurzfristige-Maßnahmen:** Bilanzkreisentwicklung, Marktanalyse verfügbarer KI-Anwendungen. PV-Prognose in Verbindung mit Gasspeicherbewirtschaftung fortschreiben, Erneuerung Dämmung Faulturm zur ganzjährigen Stabilisierung des Faulprozesses
- Abhängige-Maßnahmen:** Vergrößerung des Gasspeichervolumens, Planung und Realisierung einer Co-Vergärung, Planung und Realisierung einer Stromspeicherung, Planung und Realisierung Wärmerückgewinnung Belüftung Biologie, Planung und Realisierung Wärmetauscher Abwasserreinigungsprozess, Prüfung Wirtschaftlichkeit maschinelle Überschussschlammwindung, Planung und Realisierung Ultraschallintegration für den Überschussschlamm, Schrittweise Implementierung von KI-Anwendungen

Fazit:

Die Studie zeigt, dass durch die Kombination aus technischen Maßnahmen (BHKW, PV, Dämmung, Wärmerückgewinnung, Co-Substrate) und digitaler Optimierung (Datenplattform + KI) eine bilanzielle Energieneutralität durch Flexibilisierung und erhebliche CO₂-Einsparungen möglich sind. Auf der Anlage besteht das Potenzial, eine Wärmemenge von ca. 1.600 MWh_{th}/a mit niedrigen spezifischen Gestehungskosten auszukoppeln und damit das nahegelegene Moselbad mit einem Wärmebedarf von ca. 750 MWh_{th}/a bilanziell mitzuversorgen. Neben dem Moselbad können perspektivisch noch weitere Liegenschaften mit Wärme versorgt werden.

Die ZKA Bernkastel-Kues kann eine Modellanlage mit einem KI-gestütztes Energiemanagement werden und von einer reinen Abwasserreinigungsanlage zu einem Energielieferanten werden. Dabei besteht die Herausforderung, die KI mit der MI (menschlichen Intelligenz) des Betriebspersonals zu verknüpfen und zielgerichtet einzusetzen.

In Zusammenarbeit mit:

- AUTEC GmbH, In der Sandgrube 2, 66583 Spiesen-Elversberg
- Zahnen Technik GmbH, Bahnhofstraße 24, 54687 Arzfeld

Mit Unterstützung durch:

- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Außenstelle Trier, Universitätsring 15, 54296 Trier
- Hochschule Trier, Umwelt-Campus-Birkenfeld, Campusallee Gebäude 9914, 55768 Hoppstädten-Weiersbach

Gefördert durch:

- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz, Kaiser-Friedrich-Straße 1, 55116 Mainz

