Bewertung der Kanalnetzperformance anhand der CSB- und Ammonium-Variabilität auf Kläranlagen

Systeme zur dynamischen Regelung von Kanalnetzen finden zunehmend Akzeptanz und werden zur Verbesserung der Kanalnetzfunktion öfters eingesetzt. Nebst der konventionellen Umsetzung, wobei im Automationssystem mittels Verknüpfungen und Regeln auf der SPS-Ebene tendenziell simple Dynamik und Stufen-Abhängigkeiten zum Einsatz kommen, werden von unterschiedlichen Firmen auch Modell- oder Algorithmus-basierte Kanalnetzregler angeboten.

Die Entscheidungsgrundlage, welcher Ansatz gewählt werden sollte, respektive welches System unter den entsprechenden Voraussetzungen wie gut funktioniert, bleibt derweil undurchsichtig, weil die Möglichkeiten zur Funktionsbewertung oft nicht bekannt sind, nicht im ausreichenden Ausmass durchgeführt oder zumindest nicht veröffentlicht werden.

Stebatec bietet das Algorithmus-basierte INKA-System an und veröffentlicht regelmäßig Messdaten, welche Aufschluss über die Funktionalität des Systems geben. Zur Herstellung einer gewissen Vergleichbarkeit mit anderen Systemen hat das Unternehmen nun einige Bewertungsmöglichkeiten entwickelt, die sowohl ungeregelte mit dynamischen, aber auch den Vergleich von unterschiedlichen dynamischen Systemen ermöglichen.

Kanalnetzbewirtschaftung mit dem INKA-System

INKA (INtegrale Regelung von KAnalnetzen und Abwassereinigungsanlagen) ist ein Kanalnetzbewirtschaftungstool, das Weiterleitmengen im Kanalnetz dynamisch möglichst so verändert, dass Entlastungen und Beckenbefüllungen solange verhindert werden, bis die ARA komplett ausgelastet ist. Der INKA Regler erhöht oder beschränkt dazu die Ablaufmengen an den unterschiedlichen Stellen im Einzugsgebiet. **Bild 1** zeigt klar, wie der Regler in der Gemeinde Flawil, Schweiz, die Ablaufmengen eines Beckens erhöht, um so die ARA besser auszulasten, und um die Beckenbefüllung zu verzögern und Entlastungsmengen zu verhindern. In diesem Beispiel greift der INKA-Regler ein, um die ARA so gut wie möglich auszulasten, bevor Beckenvolumen in Anspruch genommen werden.

Im Beispiel auf der linken Seite von **Bild 1** wird, sobald die Abflussmengen über 70 % von Q_{max} steigen, der Abflusssollwert erhöht, um mehr Wasser auf die ARA zu bringen, statt dieses zu speichern. Die Zulaufmengen auf die ARA steigen somit rasch. Trotz erhöhter Weiterleitmengen füllt sich das Becken Töbeli wenig. Der Regler schaltet in einen anderen Modus, wobei dieser versucht die Becken so gleichmässig wie möglich zu befüllen.

Auf der rechten Seite von **Bild 1** steigt am Anfang des Ereignisses der Abfluss vom Becken Töbeli sehr stark an. Der Regler leitet mehr Wasser auf die ARA, um eine Beckenbefüllung zu verhindern. Beim Becken Eschenhof steigt der Ablauf ebenfalls, auch hier werden die Weiterleitmengen erhöht, um die Beckenbefüllung zu verhindern. Das Becken Töbeli füllt sich trotz erhöhten Weiterleitmengen. Dies hat zur Folge, dass das Becken Eschenhof herunter regelt, um in der Kanalisation Platz zu machen für

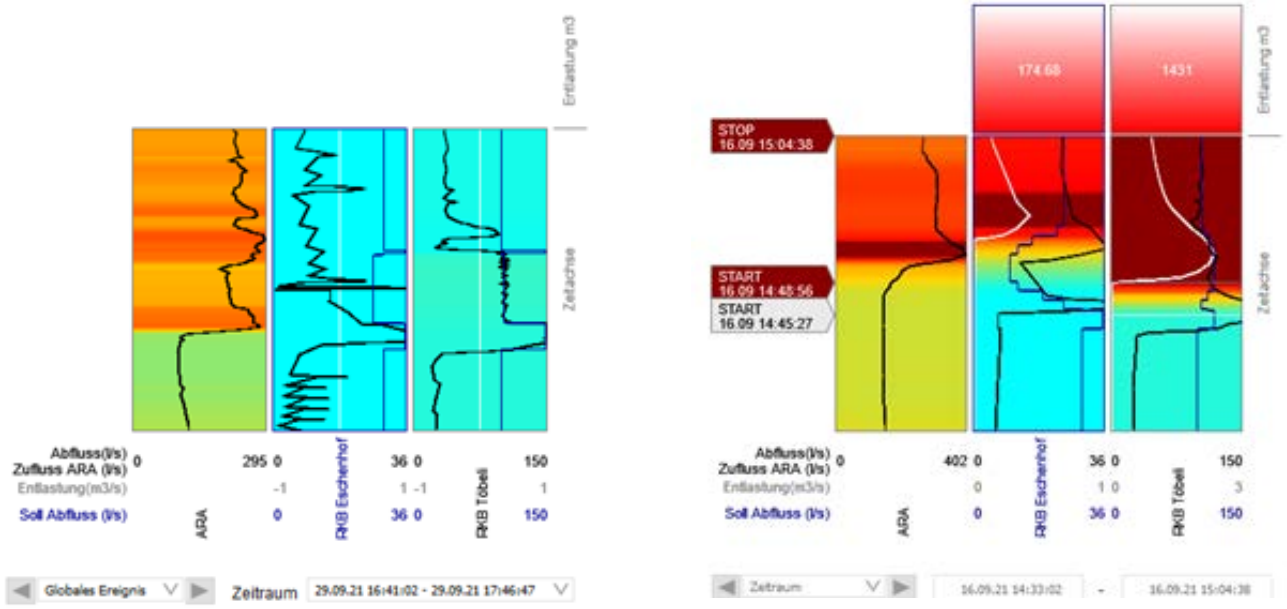

Bild 1: Beispiel wie der INKA-Regler eingreift, um die ARA so gut wie möglich auszulasten, bevor Beckenvolumen genutzt werden. Die Zeitachse verläuft von unten nach oben. Die Farben deuten die ARA-Auslastung oder Beckenbefüllung an. Die Ganglinien zeigen den Zufluss (ARA), oder Abfluss des Bauwerks (schwarz), den Sollwert (blau) und die Entlastungsmengen (weiß).

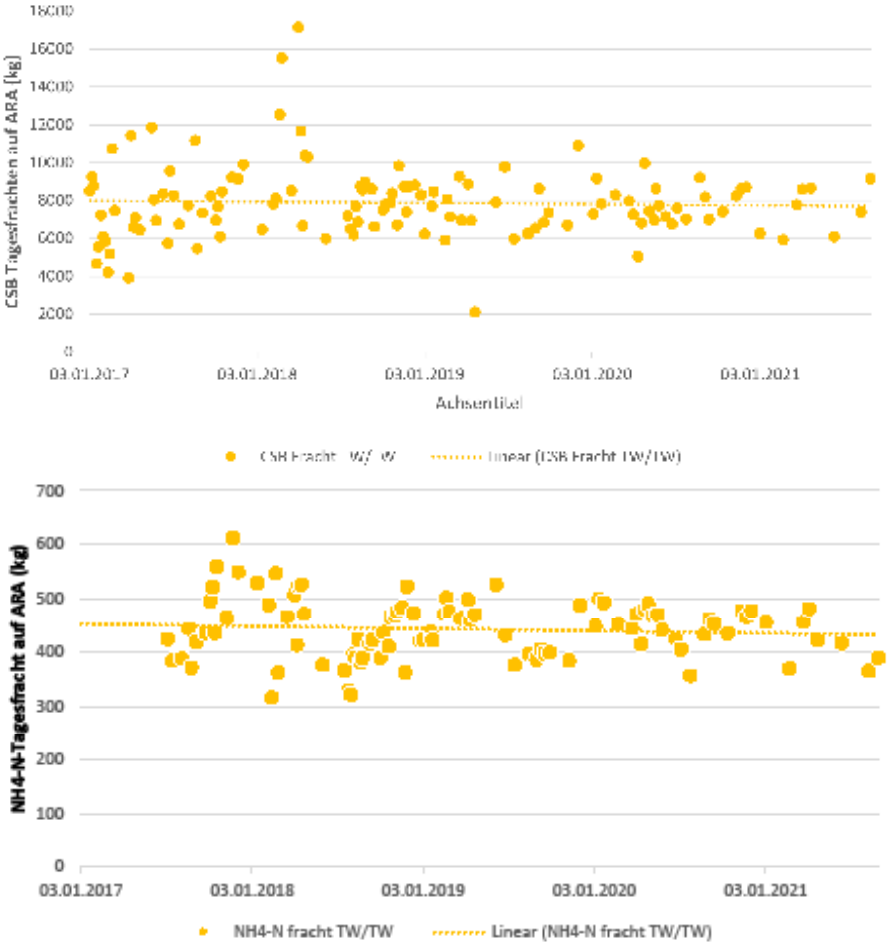

Bild 2: Zulauffrachten ARA Winznau über die Periode von Jan 2017 - Aug 2021, während Trockenwetter, ohne Regen am Vortag. Oben: CSB, unten NH_4-N

das Wasser vom Becken Töbeli. RKB Töbeli leitet ungefähr 17 % mehr Wasser weiter während der Beckenbefüllung. Trotzdem konnten bei diesem Ereignis Entlastungen nicht verhindert werden, welche aber in wesentlich geringerem Ausmaß waren als ohne Regelung. Wenn die ARA ausgelastet ist, ändert INKA die Strategie und versucht die zur Verfügung stehenden Beckenvolumen so gut wie möglich zu nutzen.

Problematik der Wirkungsgradanalyse

Um die Wirkung dynamischer Kanalnetzregler bestimmen zu können, wurden in vorherigen Studien die Entlastungsmengen während einer Periode mit und ohne aktivem INKA-Regler verglichen. In der Analyse der Vergleichsperiode wurde festgestellt, dass in der Periode mit aktivem Reger, 15-20 % mehr Wasser auf die ARA geleitet wurde. [1] Nun ist es wegen den verschieden Regenereignissen (Intensität, Ausdehnung) schwierig diese miteinander zu vergleichen. Um diesen Vergleich aussagekräftig zu gestalten, braucht es viel mehr Regenereignisse vom gleichen Typ, während der Regler aktiv und auch inaktiv war [2].
Kanalnetzbetreiber verfügen oft nicht über zuverlässige historische Messdaten und aufgezeichnete Regenereignisse die als Vergleichswerte im ungeregelten Status Verwendung finden könnten. Nun wollen Kunden nach Kauf und Implementierung einer dynamischen Kanalnetzsteuerung diese gerne umgehend in Betrieb nehmen und nicht erst monatelang Daten sammeln, während der Regler deaktiviert bleibt, um diese später mit dynamische geregelten Ereignissen vergleichen zu können.
Eine Alternative dazu wäre die Anwendung von Modellen, wobei der Vergleich gegenüber einem theoretischen ‚Was-Wäre-Wenn'-Szenario gemacht würde. Dieser Ansatz ist zwar sehr interessant, die meisten Kanalnetzbetreiber haben aber nicht die Möglichkeit diese Analyse durchzuführen.

Auswertung der CSB- und Ammonium-Verluste

Einzugsgebiete verändern sich nur langsam (Zuwanderung von Personen und Industrien) weshalb die Zulauffrachten CSB und NH_4-N (Ammonium-Stickstoff) über längere Perioden relativ konstant bleiben. Abgesehen vom normalen Tages- / Wochengang und saisonalen Änderungen (z. B. Ferienzeit) unterscheiden sich die Tagesfrachten im Wesentlichen zwischen Trocken- und Regentagen, da ein Teil der Fracht über mehrere Trockenwettertage in der Kanalisation liegen bleibt, die dann bei Regen (First Flush) zur ARA oder ggf. in die Überläufe gespült wird. An Regentagen werden somit normalerweise höhere Zulauffrachten registriert als an Trockenwettertagen, sofern diese im Kanalnetz nicht über die Entlastungen entweichen. Und wiederum

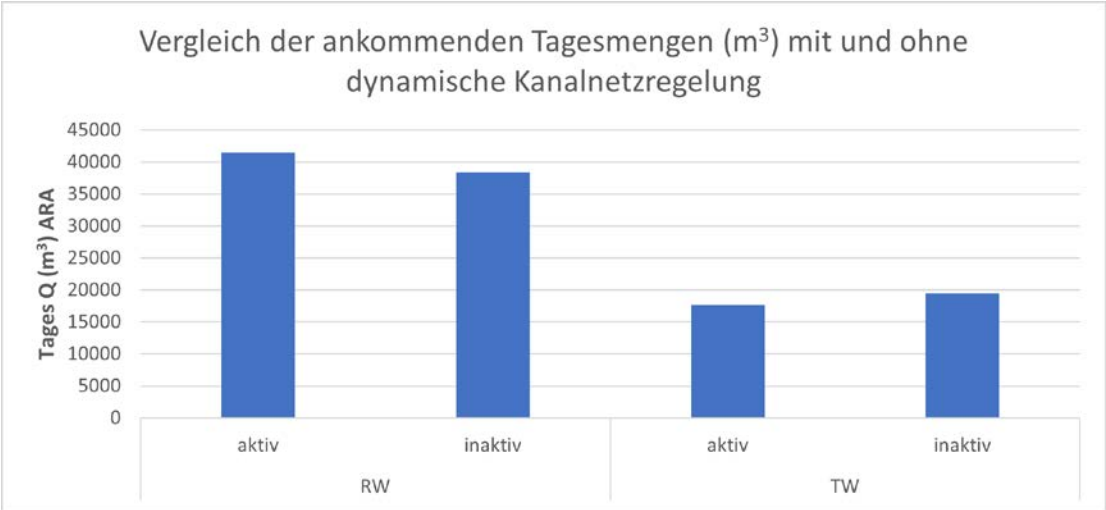

Bild 3: Zulaufmengen pro Tag bei Regenwetter und Trockenwetter, mit aktivem und inaktivem Regler, wobei der Regler bei Trockenwetter keine Relevanz hat.

wird am ersten Regentag mehr Zulauffracht gemessen als an den darauf folgenden Regentagen.

Die Variabilität der auf der ARA gemessenen Zulauffracht ist somit ein Bewertungsparameter für die Kanalnetzfunktion. In Relation zur Anzahl vorausgehender Trockenwettertage gestellt, ist die Zulauffracht ein Parameter zur Beurteilung wie viel Abwasser das Kanalnetz zur ARA liefert und wie viel an den Überläufen entlastet wird. Ohne dass dabei Messungen an den Überläufen durchgeführt werden müssen.

Um den Nettoverlust der Zulauffrachten auf der ARA verlässlich zu analysieren, sollten die Werte täglich oder sogar mittels Onlinemessungen festgestellt werden. Grundsätzlich kann mit der Frachtspitze eine gewisse Vergleichbarkeit mit andern Kanalnetzen hergestellt werden. Um die Effektivität einer dynamischen Kanalnetzregelung bewerten zu können, können die Frachtspitzen aus einer Periode ohne Regler resp. bei statischen Einstellungen (historische Daten) mit einer Periode mit aktiviertem Regler verglichen werden.

Vorgehensweise ARA Winznau, die den Kanalnetzregler betreibt

ARAs sind schon seit langem verpflichtet die Zulauffrachten zu messen (Beispiel Schweiz: meistens in einer 5-Tage-Probe) und zu rapportieren – diese Messdaten stehen daher für einen Vergleich mit der Vergangenheit den meisten Kläranlagen zur Verfügung. Wenn keine Tagesfrachten gemessen werden, sondern lediglich Sammelproben über mehrere Tage zur Verfügung stehen, kann die Kanalnetzfunktion über zwei vergleichbare Perioden bewertet werden.

Beim Zweckverband Abwasserregion Olten, Schweiz, ist das Kanalnetzbewirtschaftungstool erfolgreich im Einsatz. Im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 31.08.2021 wurden die Messdaten der ARA Winznau/Olten ausgewertet. Daten, die innerhalb der Q25-1.5 x IQR und Q75+ 1.5 x IQR[1] fielen, wurden als Ausreißer eingestuft und ausgeschlossen. In dieser Periode war der

1 Q25 ist das 25. Perzentil, Q75 ist das 75. Perzentil, IQR ist Inter Quantil Range (Q10-Q90)

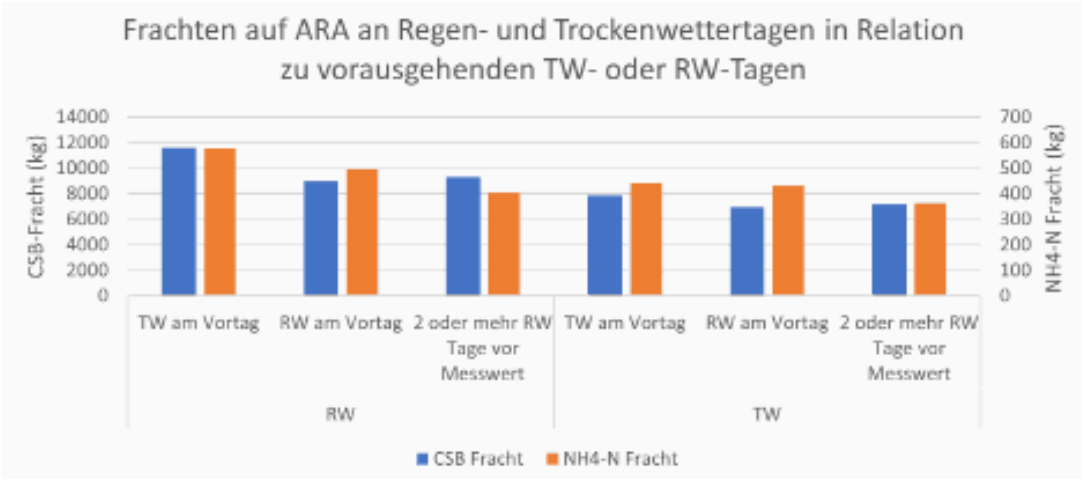

Bild 4: First-Flush-Effekt auf die gemessene CSB Fracht und NH_4-N. Nach Regentagen kommt weniger Fracht auf der ARA an. Dieser Effekt ist nach zwei oder mehr Regentagen vor der Messung größer als am ersten oder zweiten Regentag.

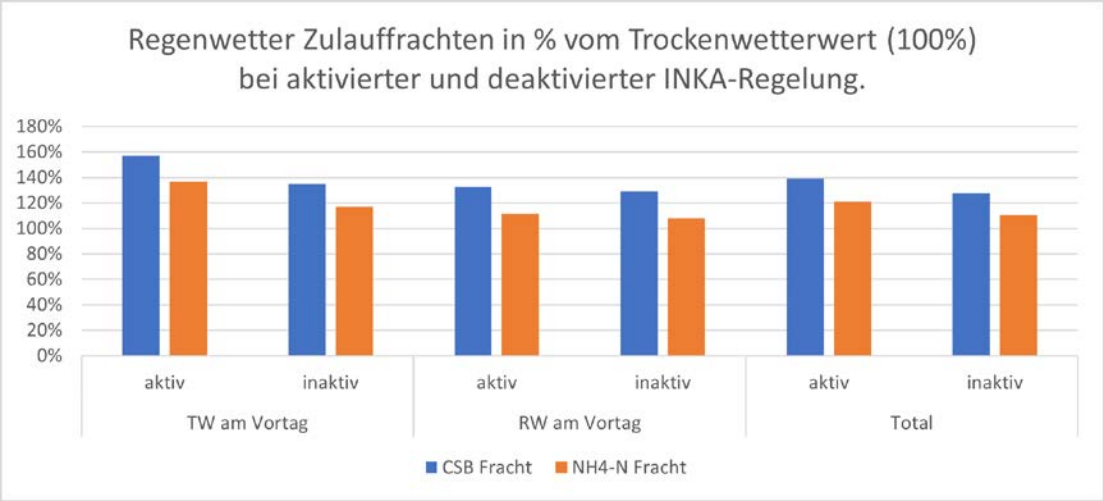

Bild 5: Vergleich Zulauffrachten bei RW mit aktivem oder inaktivem Regler für CSB und NH_4-N als % von TW Frachten

Regler vom 01.01.2017 bis zum 13.05.2018 und vom 09.05.2019 bis zum 21.08.2019 inaktiv. Der Rest der Zeit war der Regler aktiv. Die CSB und NH_4-N Zulauffrachten blieben während der Trockenwettertage relativ konstant, es war kein klarer Trend zu erkennen (**Bild 2**). Die ARA hat Tagesproben mengenproportional gesammelt und diese für den Jahresbericht analysiert. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Perioden wurde immer im Vergleich zum Trockenwetter (TW) gemacht (Gl. 1).

$$\frac{RW_{Fracht}}{TW_{Fracht}} \cdot 100\% \qquad (1)$$

Die maximale Aufnahmekapazität der ARA ist 900 l/s. Tage, wo der Q_{max} auf der ARA über 700 l/s lag, wurden als Regenwettertage (RW) eingestuft. Somit wird das Wasser, welches während der Regenbeckenentleerung auf die ARA gebracht wird, auch unter Regenereignisse eingerechnet.

Erkenntnisse

Die ARA-Zulaufmengen waren an Regentagen durchschnittlich 2,2-mal höher als bei Trockenwetter, mit aktiver Kanalnetzregelung sogar 2.4-mal höher und ohne aktiven Regler zweimal höher (**Bild 3**).

Bei Regen wurde mit aktivem INKA-Regler durchschnittlich 139% respektive 121 % der TW-Fracht CSB und NH_4-N Frachten auf die ARA gebracht, während der Periode mit inaktivem Regler war dies 128 und 111 %, somit ein Unterschied von 11 und 10 % für CSB und NH_4-N. Am ersten Regentag war der Unterschied sogar 22 % (157 % aktiv, 135 % inaktiv) und 20 % (137 % aktiv, 117 % inaktive) für CSB und NH_4-N, was darauf hindeutet, dass der Regler den First-Flush erfolgreich auf die ARA geleitet hat (**Bild 5**).

Erläuterungen

INKA ist eine dynamische Kanalnetzsteuerung, die als Standardsoftware angewendet wird und in der Anwendung benutzerfreundlich ist. Nach Implementierung im entsprechenden Kanalnetz ist die Parametrierung und damit der Optimierungsprozess einfach umsetzbar. Mit dieser Parametrierung wird der Spielraum des Reglers, die Priorisierung der Bauwerke und die Reaktionszeiten des Reglers festgelegt.

Diese Analyse zeigt, wie wichtig es ist den First-Flush auf die ARA zu bringen. Mit der Strategie des INKA-Reglers ist es nicht nur gelungen einen größeren Anteil der totalen Fracht, sondern auch den First-Flush und größere Wassermengen auf die ARA zu bringen, was ohne Regelung nicht möglich gewesen wäre.

Dynamische Steuerungen haben das Ziel die Entlastungsmengen und -frachten zu minimieren, um die Umwelt zu schützen. Die Effektivität ist aber wegen mangelnder Daten(-qualität) schwierig zu bestimmen. Mit Nutzung der ARA-Zulaufdaten wird die Datengrundlage vergrößert, da die Analyse von den meisten ARAs alle fünf Tage erfolgt. Dazu kommt, dass die Datenqualität mehrmals pro Jahr von externen Labors kontrolliert wird.

In diesem Bericht wird eine einfache Methode angewendet, um die Effektivität einer dynamischen Regelung zu bestimmen, welche auf die meisten Kanalnetze (und ARAs) angewendet werden kann. Durch die proportionale Darstellung der Daten von Regenwetter und Trockenwetter während einer gleichen Periode wird für eventuelle Änderungen im Einzugsgebiet automatisch korrigiert.

Literatur:

[1] K. Dubois, BG-Engineering

[2] L. Barth, M.Sc, EAWAG 2021

Autor:
Kilian Hesse
STEBATEC AG
info@stebatec.ch
www.stebatec.ch