

Ermittlung und Bewertung der biologischen und chemischen Phosphorelimination bei der Simultanfällung

Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.2 „Abwasserreinigung durch Fällung und Flockung“^{*)}

Zusammenfassung

Die DWA-Arbeitsgruppe KA-8.2 beschreibt in einem Arbeitsbericht eine Auswertemethode für Betriebsdaten im Jahresgang, die eine Abschätzung des biologischen und des chemischen Anteils an der P-Elimination bei der Simultanfällung ermöglicht. Neben Anlagen mit Simultanfällung können auch Anlagen mit Vorfällung und nachfolgenden Verfahren (Flockungsfiltration/Nachfällung) bewertet werden. Zusätzlich wurde eine Arbeitshilfe in Form einer Excel-Tabelle erstellt. Damit können die Betriebsdaten von Kläranlagen mit biologischer und chemischer Phosphorelimination nach der beschriebenen Methode auf einfache Art und Weise ausgewertet werden.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Phosphatelimination, biologisch, chemisch, Fällung, simultan, Betriebsdaten, ATV-DVWK-A 131, DWA-A 202, Bilanzierung, Fällungsmittel, Flockungsfiltration

DOI: 10.3242/kae2011.05.003

Abstract

Determination and Assessment of Biological and Chemical Phosphorus Removal during Simultaneous Precipitation Report by DWA Working Group KA-8.2 “Wastewater Treatment by Precipitation and Flocculation”

In its report, DWA working group KA-8.2 describes an evaluation method for operating data collected over a year, which can be used to estimate the share of biological and chemical phosphorus removal during simultaneous precipitation. In addition to simultaneous precipitation plants, also plants with preliminary precipitation stages and different downstream methods (flocculation filtration/secondary precipitation) can be evaluated by this method. In addition, an Excel sheet was developed as a work tool. With this method, the operating data from wastewater treatment plants with biological and chemical phosphorus removal can be evaluated fairly easily.

Key words: wastewater treatment, municipal, phosphorus removal, biological, chemical, precipitation, simultaneous, operating data, ATV-DVWK-A 131, DWA-A-A 202, stocktaking, precipitant, flocculation filtration

1 Einführung

Die chemische P-Elimination aus kommunalem Abwasser durch Fällung der Phosphate mittels Zugabe von Metallsalzen wurde vielfach als ein von den biologischen Prozessen unabhängig ablaufender Verfahrensschritt angesehen. Insbesondere bei der Simultanfällung tritt jedoch regelmäßig ein Nebeneinander von biologischen und chemischen Prozessen der P-Elimination auf. Dem Kläranlagenbetreiber ist in aller Regel nicht bekannt,

zu welchem Anteil die chemische Fällung zur P-Elimination beiträgt und zu welchem Anteil die biologische P-Elimination dafür verantwortlich ist.

Dieser Arbeitsbericht beschreibt eine Auswertemethode für Betriebsdaten von Kläranlagen mit geforderter P-Elimination, die eine Abschätzung des biologischen und chemischen Anteils an der P-Elimination ermöglicht.

Ziele dieser Auswertung sind:

1. Bewertung der biologischen P-Elimination im Jahresgang und Vergleich mit den Ansätzen gemäß Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131
2. Abschätzung eines möglichen Einsparpotenzials für Fällmittel

Die beschriebene Auswertung der Betriebsdaten lässt sich mithilfe einer Excel-Tabelle ohne großen Aufwand durchführen.

^{*)} Mitglieder der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.2 sind: Dipl.-Ing. Wolfgang Drobig (Radolfzell), Dr.-Ing. Bernd Heinzmann (Berlin, Sprecher), Prof. h. c. Dipl.-Ing. Erhard Hoffmann (Karlsruhe), Dr. sc. nat. ETH Markus Koch (Neftenbach/Schweiz), Dr.-Ing. Stefan Langer (Egelsbach), Prof. Dr.-Ing. H. Johannes Pöpel (Darmstadt), Dipl.-Ing. Thomas Sawatzki (Dresden), Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Scheffer (Lohfelden), Dipl.-Ing. Georg Schwimbeck (Weilheim i. OB), Dipl.-Ing. Gerhard Spatzierer (Eisenstadt/Österreich). – Kontakt in der DWA-Bundesgeschäftsstelle: Dipl.-Biol. Sabine Thaler, E-Mail: thaler@dwa.de

Diese Excel-Tabelle steht für DWA-Mitglieder zum kostenlosen Download bereit: www.dwa.de

Voraussetzungen für eine fundierte Erhebung der Daten sind:

- Messeinrichtungen für die Ermittlung der Abwasser- und Fällmittelmengen sowie der Temperatur in der Belebung,
- Probenahmegeräte an den Messstellen: Zulauf Kläranlage, Zulauf biologische Stufe, gegebenenfalls Zulauf nachgeschalteter Verfahren (Flockungsfiltration/Nachfällung) und Ablauf Kläranlage,
- Laborausstattung für die Analyse der Parameter P_{ges} , BSB_5 , CSB , N_{ges} , NH_4-N , NO_3-N .

Ein verlässliches Auswertungsergebnis hängt maßgeblich von der Häufigkeit und der Qualität der Laboruntersuchungen sowie der Genauigkeit der Messeinrichtungen ab. Zumindest eine Untersuchung pro Woche wird hierbei als erforderlich erachtet.

2 Abschätzung der biologischen P-Elimination

2.1 Grundlagen

Bei der Entfernung von Phosphor auf biologischem Weg ist zu unterscheiden zwischen

- dem Einbau des Phosphors in die Mikroorganismen, entsprechend dem Phosphorbedarf für den Zellaufbau, sowie
- der Speicherung von Phosphor in den Mikroorganismen als Polyphosphat (vermehrte biologische P-Elimination, auch als Bio-P bezeichnet).

Der endgültige Austrag des Phosphors aus der biologischen Stufe erfolgt in beiden Fällen durch den Überschussschlammabzug. Der Anteil des für das Zellwachstum der Mikroorganismen im belebten Schlamm erforderlichen Phosphors X_{PBM} ergibt sich aus der Stöchiometrie des Assimilationsprozesses. Eine Abschätzung kann nach ATV-DVWK-A 131 unter Bezugnahme auf die BSB_5 - oder CSB -Konzentration im Zulauf zur Belebung erfolgen:

$$X_{PBM} = 0,01 \cdot C_{BSB,ZB} = 0,005 \cdot C_{CSB,ZB} \quad [g/m^3] \quad (1)$$

Die weiteren Berechnungen beruhen nur auf dem biochemischen Sauerstoffbedarf BSB_5 . Bei fehlenden BSB_5 -Messungen wird eine näherungsweise Berechnung aus den CSB -Werten wie folgt vorgenommen:

$$C_{BSB,ZB} = 0,5 \cdot C_{CSB,ZB} \quad [g/m^3] \quad (2)$$

Die vermehrte biologische P-Elimination wird durch den Wechsel von anaeroben und aeroben Bedingungen, in der Regel durch Vorschaltung eines Anaerobbeckens, erreicht. Beobachtungen belegen jedoch, dass oftmals auch ohne vorgeschaltetes Anaerobbecken eine vermehrte P-Aufnahme der Mikroorganismen bei der Denitrifikation stattfindet. Hier wirkt sich der Wechsel zwischen anoxischen und aeroben Bedingungen begünstigend auf die biologische P-Elimination aus.

Das Ausmaß der vermehrten biologischen P-Elimination ist neben der Abwassertemperatur vor allem von der Konzentration



Füllstand
zuverlässig messen.



Prosonic T FMU30

Mit exzellenten Produkten unterstützen wir die Prozesse unserer Kunden. Mit dem berührungslos arbeitenden Ultraschallmessgerät Prosonic T lassen sich Füllstandanwendungen zuverlässig und kostengünstig realisieren. In Flüssigkeiten und Pasten genauso wie in grobkörnigen Schüttgütern. Besonders in Lagerbehältern oder an offenen Becken mit Regen- und Abwasser sind die kompakten Sensoren zu Hause.

Das leicht ablesbare, grafische Display mit Klartextanzeige und zusätzlicher Hüllkurvendarstellung ermöglicht eine Diagnose vor Ort. Die Zweidraht-Sensoren sind sehr bedienungs-, service- und wartungsfreundlich, wodurch Sie Zeit und Geld sparen.

www.de.endress.com/fmu30

Endress+Hauser
Messtechnik GmbH+Co. KG
Telefon 0 800 EHVERTRIEB
oder 0 800 348 37 87
Telefax 0 800 EHFAXEN
oder 0 800 343 29 36

Endress+Hauser

People for Process Automation

on leicht abbaubarer organischer Kohlenstoffverbindungen im Abwasser abhängig. Die vermehrte biologische P-Elimination $X_{p,Bio-P}$ kann demzufolge in Abhängigkeit von der BSB_5 -Konzentration im Zulauf zur Belebung abgeschätzt werden:

$$X_{p,Bio-P} = f_{p,Bio-P} \cdot C_{BSB,ZB} \quad [g/m^3] \quad (3)$$

Der Faktor $f_{p,Bio-P}$ wird von den verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Nach ATV-DVWK-A 131 können bei üblicher Zusammensetzung von kommunalem Abwasser folgende Werte angenommen werden:

- bei vorgeschaltetem Anaerobbecken: $f_{p,Bio-P} = 1,0$ bis $1,5 \%$ (4)
- bei Denitrifikation: $f_{p,Bio-P} \leq 0,5 \%$ (5)

Nach der Berechnung der beiden biologischen Anteile der P-Bindung ist nun der Beitrag der chemischen P-Elimination zu ermitteln. Bei der Vorfällung und Flockungsfiltration oder Nachfällung besteht im Gegensatz zur Simultanfällung keine Konkurrenz zwischen biologischen und chemischen Prozessen der P-Elimination. Bei der Simultanfällung laufen beide Prozesse, die biologische P-Bindung und die Phosphatfällung, nebeneinander ab.

Das Fällmittel verbleibt für die Zeit des Schlammalters in der Belebungsstufe. Dadurch ist eine weitestgehende Wirksamkeit des Fällmittels gewährleistet. Somit kann angenommen werden, dass dieses zu 100 % zur Phosphatfällung ausgenutzt wird (inklusive Metallhydroxidfällung, Mitfällung und Einbindung von partikulärem Phosphor). Nach dieser Festlegung wird bei der Dosierung von einem Mol Metall ein Mol P gebunden, das heißt, das molare Verhältnis β_{Fall} beträgt 1. Der (maximal) durch Fällung eliminierbare Phosphoranteil $X_{p,Fall}$ ergibt sich zu:

$$X_{p,Fall} = \frac{FM_d \cdot 31}{\beta_{Fall} \cdot Q_d} = \frac{FM_d \cdot 31}{1 \cdot Q_d} \quad [g/m^3] \quad (6)$$

mit:

- FM_d [mol Me/d] Fällmittelmenge (mol Wirksubstanz) pro Tag
- Q_d [m³/d] Abwassermenge pro Tag
- 31 [g/mol] Molmasse Phosphor

Die Aufteilung des der biologischen Stufe zugeführten Phosphors $C_{p,ZB}$ auf die zuvor beschriebenen Anteile und die Einbe-

Anlagentyp	Erfahrungswerte K_p [mol Me/kg P]
Bio-P-Anlagen ^{*)}	11
Stabilisierungsanlagen	17
Anlagen mit Denitrifikation	23
Chem.-P-Anlagen ^{**)}	30

- ^{*)} Anlagen mit separater Anaerobstufe
- ^{**)} Anlagen mit ausschließlicher P-Fällung

Tabelle 1: Erfahrungswerte für die Kennzahl K_p (DWA-A 202, Ausgabe 2011)

ziehung der P-Konzentration im Ablauf der Nachklärung $C_{p,AN}$ lässt sich wie folgt darstellen:

$$C_{p,ZB} = X_{p,BM} + X_{p,Bio-P} + X_{p,Fall} + C_{p,AN} \quad [g/m^3] \quad (7) \text{ bzw.}$$

$$X_{p,ZB} = C_{p,ZB} - C_{p,AN} = X_{p,BM} + X_{p,Bio-P} + X_{p,Fall} \quad [g/m^3]$$

Der insgesamt der Kläranlage zugeführte Phosphor $C_{p,Z}$ umfasst noch den in der Vorklärung entfernten Anteil $X_{p,VK}$ sowie gegebenenfalls den in nachgeschalteten Verfahren (Nachfällung, Flockungsfiltration) eliminierten Anteil $X_{p,NV}$:

$$C_{p,Z} = X_{p,VK} + X_{p,BM} + X_{p,Bio-P} + X_{p,Fall} + X_{p,NV} + C_{p,PA} \quad [g/m^3] \quad (8)$$

In Gleichung (8) steht $C_{p,PA}$ für die P-Konzentration im Kläranlagenablauf. Die Bilanzierungsanteile lassen sich in Form von Säulendiagrammen anschaulich darstellen (siehe Kapitel 3, Beispiele).

2.2 Vorgehensweise bei der Betriebsdatenauswertung

Auf Basis der gemessenen Zu- und Ablaufwerte und bei Festlegung $\beta_{Fall} = 1$ kann aus der Bilanzierung der P-Anteile der Anteil der vermehrten biologischen P-Elimination $X_{p,Bio-P}$ abgeschätzt werden:

$$X_{p,Bio-P} = C_{p,ZB} - X_{p,BM} - X_{p,Fall} - C_{p,AN} \quad [g/m^3] \quad (9)$$

Bei der chemischen P-Bindung mit $\beta_{Fall} = 1$ führt der so ermittelte $X_{p,Bio-P}$ -Anteil zu einer errechneten, darüber hinaus verbleibenden Bio-P-Wirkung. Der Faktor $f_{p,Bio-P}$ wird wie folgt ermittelt:

$$f_{p,Bio-P} = \frac{X_{p,Bio-P}}{C_{BSB,ZB}} \quad (10)$$

Beispiel	Ausbaugröße	Bio-P + Denitrifikation (Anteil an der Belebung)	Fällmittel
Anlage mit P-Fällung „Chem-P“	< 10 000 EW	0 %	Eisen(III)-chloridsulfat
Bio-P-Anlage „Bio-P“	> 100 000 EW	50 % (vorgeschaltete Denitrifikation)	Eisen(II)-chlorid
Anlage mit Denitrifikation	> 100 000 EW	25 % (vorgeschaltete Denitrifikation)	Eisen(III)-chloridsulfat
Bio-P-Anlage mit zusätzlicher Flockungsfiltration	> 20 000 EW < 50 000 EW	50 % (intermittierende Denitrifikation)	Aluminium-Eisen(III)-chlorid

Tabelle 2: Die ausgewählten Beispiele in der Übersicht

Mit dem Faktor $f_{p\text{Bio-P}}$ kann die Leistungsfähigkeit der vermehrten biologischen P-Elimination bewertet und mit den Ansätzen im ATV-DVWK-A 131 verglichen werden. Diese Berechnungen werden, wie in den Betriebstagebüchern, für jeden Monat mit den jeweiligen Monatsmittelwerten durchgeführt. Als Ergebnis ergibt sich eine Ganglinie des Faktors $f_{p\text{Bio-P}}$ im Jahresverlauf (siehe Kapitel 3, Beispiele).

Anhand dieses Jahresverlaufs wird das Ausmaß der vermehrten biologischen P-Elimination dargestellt. Damit lassen sich Abweichungen vom Potenzial der vermehrten biologischen P-Elimination, wie es im ATV-DVWK-A 131 dargelegt ist, für jeden einzelnen Monat feststellen. Anhand von Betriebsdaten verschiedener Kläranlagen wird diese Diskussion im folgenden Kapitel beispielhaft geführt.

Bei der Berechnung nach Gleichung 9 kann der Fall eintreten, dass sich für $X_{p\text{Bio-P}}$ ein negativer Wert ergibt. Das bedeutet, dass entsprechend der tatsächlich dosierten Fällmittelmenge rechnerisch kein Anteil für die vermehrte biologische P-Elimination vorhanden ist. Für diesen Fall muss $X_{p\text{Bio-P}} = 0$ gesetzt werden. Damit ergibt sich:

$$X_{p\text{Fäll}} = C_{p\text{ZB}} - X_{p\text{BPM}} - C_{p\text{AN}} \quad [\text{g/m}^3] \quad (11)$$

und

$$\beta_{\text{Fäll}} = \frac{FM_d \cdot 31}{X_{p\text{Fäll}} \cdot Q_d} \quad (12)$$

Es lässt sich also ein $\beta_{\text{Fäll}} \geq 1$ für die Monate, in denen $X_{p\text{Bio-P}} = 0$ ist, berechnen und im Jahresgang darstellen (vgl. Kapitel 3, Beispiele: Abbildung 2). Insbesondere für die Monate mit $\beta_{\text{Fäll}} \geq 1$ ist dann zu prüfen, ob eine Überdosierung vorgelegen hat oder die Bedingungen für eine vermehrte biologische P-Elimination nicht gegeben waren.

Weiterhin wird empfohlen, die Kennzahl K_p für jeden Monat zu ermitteln. Diese Kennzahl setzt die Fällmittelmenge mit der P-Fracht im Zulauf zur Kläranlage in Beziehung. Hiermit kann der Fällmitteleinsatz von Kläranlagen mit den Verfahren „Bio-P“, „aerobe Schlammstabilisierung“, „Denitrifikation“ und „ausschließlich chemische Fällung“ verglichen werden.

$$K_p = \frac{FM_d}{C_{p,z} \cdot Q_d} \cdot 1000 \quad [\text{mol Me/kg P}] \quad (13)$$

mit: $C_{p,z}$ [g/m³] P_{ges} im Zulauf zur Kläranlage

In den Darstellungen in Kapitel 3 (Beispiele) ist der Verlauf von K_p im Jahresgang ersichtlich. Die dort jeweils eingetragene Referenzlinie stellt den Erfahrungswert für diesen Anlagentyp (Verfahren) dar (Tabelle 1).

3 Auswertung der Betriebsdaten und Interpretation anhand typischer Beispiele

Die Auswertung und Interpretation erfolgt anhand verschiedener Anlagentypen (Tabelle 2).

Die Darstellung und Erörterung der Ergebnisse für die vier ausgewählten Beispiele erfolgt nach jeweils gleichem Muster. Im Anschluss an eine kurze Charakterisierung der Kläranlagen werden jeweils die Bilanzierung der P-Anteile, die Ganglinie für den Faktor $f_{p\text{Bio-P}}$ und die Ganglinien für die Kennzahlen $\beta_{\text{Fäll}}$ und K_p dargestellt und erläutert.



„Eine echte Alternative zu Ultraschall zu einem erstaunlich günstigen Preis.“



Neu von VEGA: Radar-Füllstandmessung speziell für den Bereich Wasser und Abwasser.

Der Radarsensor VEGAPULS WL 61 ist ideal für alle Anwendungen zur Pegel-, Füllstand und Durchflussmessung bei der Wasseraufbereitung und der Abwasserbehandlung. Unbeeinträchtigt von Witterungseinflüssen oder Schaum auf der Wasseroberfläche ermöglicht die Radartechnik eine präzise Erfassung der Wasserpegel und sorgt so für zuverlässige Messdaten und einen wartungsfreien Betrieb.

www.vega.com/innovation

WASSER Berlin 2011: Halle 6.2, Stand 215

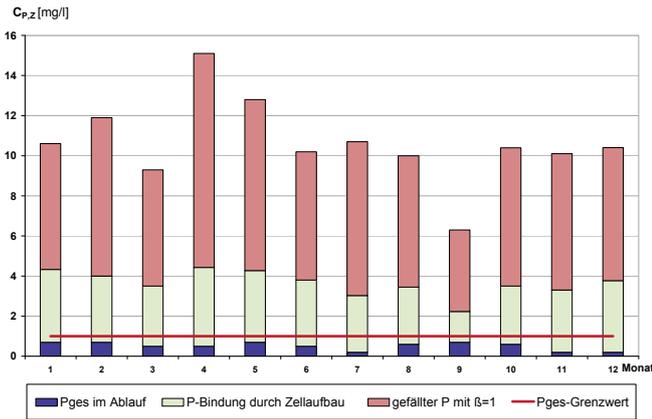


Abb. 1: Phosphatkonzentration im Zulauf und Bilanzierung der Phosphoranteile

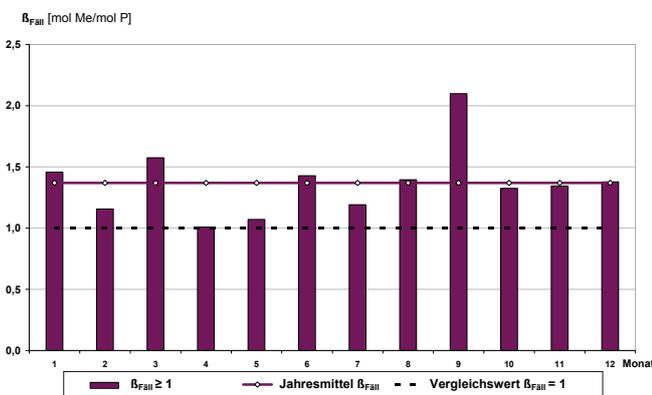


Abb. 2: β_{Fall} -Werte im Jahresgang

Beispiel 1: Anlage mit P-Fällung

Beispiel 1 zeigt die Ergebnisse für eine belüftete Abwasserreinigungsanlage zur Kohlenstoffelimination (ohne Vorklärung, keine Denitrifikation/Bio-P) mit einem P_{ges} -Grenzwert von 1 mg/l. An zwei Dosierstellen im Zulauf von Teich 1 und 3 wird Fällmittel jeweils durchflussproportional zugegeben.

Die Phosphorkonzentration im Zulauf $C_{P,Z}$ teilt sich in folgende drei Anteile auf (Abbildung 1):

- die Phosphorkonzentration $C_{P,BAN}$ (blauer Säulenanteil), die im Ablauf der Kläranlage gemessen wird. Die eingezeichnete Linie für den Grenzwert von 1 mg/l P_{ges} zeigt, dass dieser im Monatsmittel ganzjährig eingehalten wird.
- den in die Biomasse aufgenommenen Phosphoranteil $X_{P,BM}$ (hellgrüner Säulenanteil)
- den gefällten Phosphoranteil $X_{P,Fall}$ (aus der P-Bilanzierung als Bilanzrest), der im vorliegenden Falle deutlich überwiegt (roter Säulenanteil).

Erwartungsgemäß liegen die β_{Fall} -Werte im Jahresgang im Bereich von 1,0 bis 2,1 bei einem Mittelwert von rund 1,4 (Abbildung 2).

Der Jahresmittelwert für K_p von 29 (Abbildung 3) bestätigt den im Arbeitsblatt DWA-A 202 aufgeführten Erfahrungswert für diesen Anlagentyp von 30 (Tabelle 2). Auffallend sind die Monate September mit besonders hoher sowie April und Mai mit besonders niedriger Dosierung. Die hier praktizierte durch-

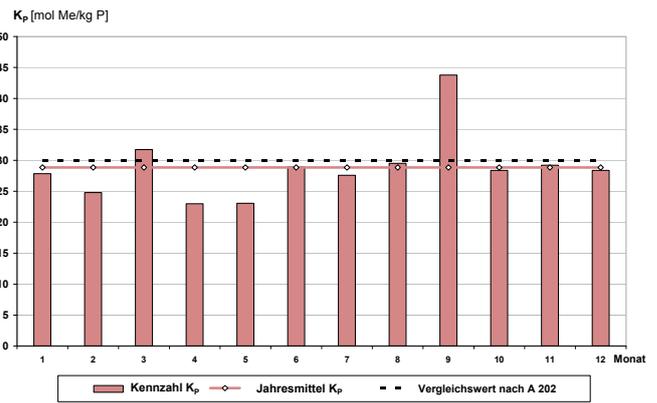


Abb. 3: Die Kennzahl K_p

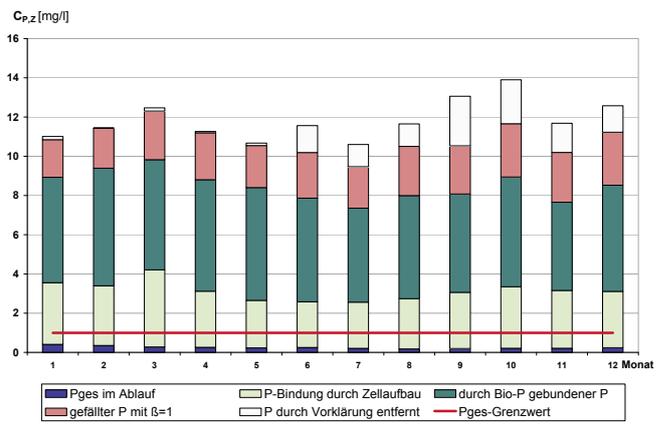


Abb. 4: Phosphatkonzentration im Zulauf und Bilanzierung der P-Anteile

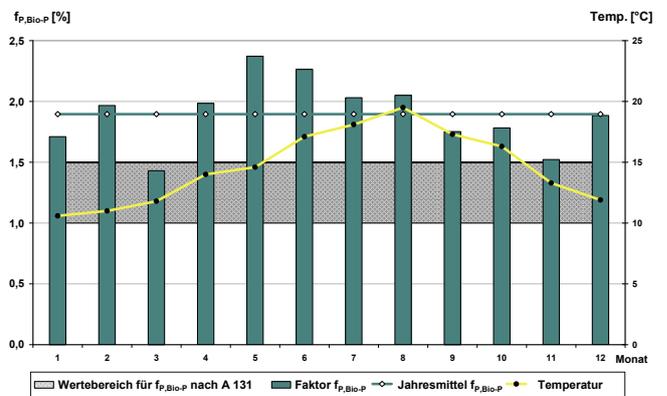


Abb. 5: Der Bio-P-Faktor $f_{p,Bio-P}$

flussproportionale Fällmitteldosierung führt in Monaten mit hohen Mischwasserzuflüssen, hier zum Beispiel im September registriert, zu höheren K_p (und β_{Fall})-Werten. Um in diesen Fällen Überdosierungen zu vermeiden, sind manuelle Eingriffe zur Reduzierung der Fällmittelmenge bei länger anhaltenden, hohen Zuflüssen oder ein Wechsel zur frachtproportionalen Dosiermethode angezeigt.

Beispiel 2: Bio-P-Anlage

Ergänzend zur biologischen P-Elimination wird auf dieser Kläranlage zweiwertiges Eisen aus betrieblichen Gründen mit einer konstanten Grunddosierung eingesetzt. Wenn diese Do-

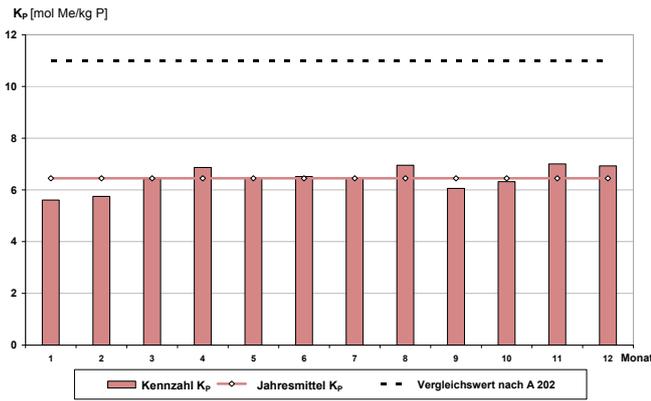


Abb. 6: Die Kennzahl K_p

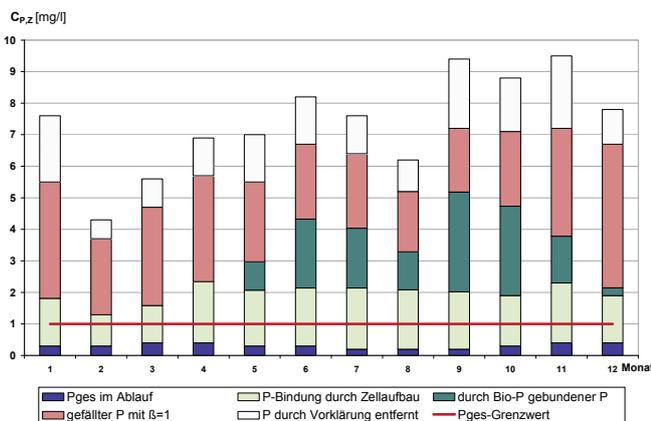


Abb. 7: Phosphatkonzentration im Zulauf und Bilanzierung der P-Anteile

siermenge zur sicheren Einhaltung des P-Grenzwerts nicht ausreicht, wird proportional zur P-Fracht in den Zulauf zur Bio-P-Stufe zusätzlich Eisen(II)-chlorid-Lösung dosiert. Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Monatsmittelwerte der Phosphoranteile.

Hier fallen einerseits die sich im Jahresgang stark unterscheidende P-Elimination in der Vorklärung (gepunkteter Säulenanteil) auf, sowie andererseits die niedrigen Ablaufwerte mit 0,2 mg P/l, die weit unter dem Grenzwert von 1 mg/l liegen und ausschließlich mittels simultaner chemischer Fällung in der Regel nicht zu erreichen sind.

Der durch Fällung eliminierte P-Anteil ist im Jahresgang etwa gleich hoch, was auf die gleichmäßige Grunddosierung zum Erhalt des Fällmittelpuffers zurückzuführen ist. Die ergänzende frachtproportionale Dosierung kommt nur untergeordnet zum Einsatz. Der resultierende Bio-P-Anteil (dunkelgrüner Säulenanteil) ist demgegenüber etwa zwei- bis dreimal so hoch.

Diese Kläranlage weist eine ausgezeichnete vermehrte biologische P-Elimination bei Abwassertemperaturen > 10 °C über das gesamte Jahr auf, die auf einen relativ hohen Anteil an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen aus den angeschlossenen Nahrungsmittelbetrieben zurückzuführen ist (BSB₅ am Zulauf zur Belebung im Mittel rund 300 mg/l).

Abbildung 5 zeigt die unter der Annahme der maximalen Ausnutzung des Fällmittels ($\beta_{\text{Fäll}} = 1$) kalkulierte Bio-P-Wirkung der Kläranlage. Diese mindestens erfolgte Bio-P-Elimination wird durch den Faktor $f_{\text{pBio-P}}$ ausgedrückt. Mit im Jahres-

mittel durchschnittlich 1,9 % übersteigt der Faktor $f_{\text{pBio-P}}$ deutlich den im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 angegebenen Bereich von 1,0 bis 1,5 % für Bio-P-Anlagen. Die Darstellung der $\beta_{\text{Fäll}}$ -Werte kann hier entfallen (alle Werte = 1).

Diese Kläranlage schneidet im Jahresgang mit einem K_p -Mittelwert von 6,4 deutlich besser als vergleichbare Bio-P-Anlagen (K_p -Wert = 11 entsprechend DWA-A 202) ab (Abbildung 6). Dementsprechend resultiert ein geringerer spezifischer Fällmittelverbrauch. Es stellt sich bei dieser Kläranlage die Frage, ob derartig niedrige Ablaufwerte bei Verminderung der Fällmitteldosierung durch eine noch weitergehende Bio-P-Elimination erreicht werden könnten.

Andererseits bestimmen betriebliche Gründe die Höhe der gewählten Grunddosierung, wie zum Beispiel die Aufrechterhaltung eines Fällmittelpuffers für die Einhaltung konstanter Ablaufwerte, die Bindung von Sulfiden im Faulbehälter (Vermeidung von Schwefelwasserstoff im Faulgas) und die Vermeidung von Betriebsproblemen durch Magnesiumammoniumphosphat-Bildung.

Beispiel 3: Anlage mit Denitrifikation

Auf dieser Anlage wird ergänzend zur vermehrten biologischen P-Elimination im Denitrifikationsteil dreiwertiges Eisen eingesetzt, das proportional zur P-Fracht in den Ablauf der Belebung dosiert wird.

LINN Gerätebau Germany

WASSERBELÜFTUNG

ABWASSERBELÜFTUNG

www.linn.eu

Linn Gerätebau Germany
 Mescheder Straße 37, 57368 Lennebstadt-Oberelspe
 Telefon: 02721 3249 und 3240, Telefax: 02721 3248
 E-Mail: info@linn.eu, Internet: www.linn.eu

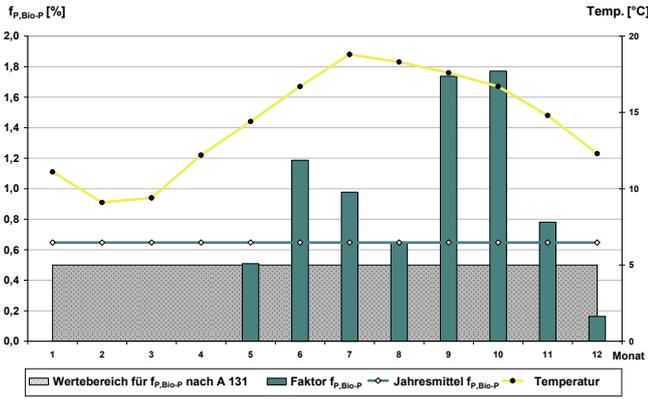


Abb. 8: Der Bio-P Faktor $f_{P,Bio-P}$

Abbildung 7 zeigt den berechneten Verbleib der einzelnen P-Anteile im Jahresgang, unterschieden nach Eliminationsmechanismen. Überdurchschnittlich hoch ist hier der 20%ige Anteil des in der Vorklärung entfernten Phosphors im Jahresmittel. Der gefällte P-Anteil bildet einen wesentlichen Teil der Elimination. Er wird anhand des Chemikalienverbrauchs unter der Annahme $\beta_{Fäll} = 1$ berechnet.

In den Monaten Mai bis November wird bei der Anlage mit Denitrifikation ein deutlicher Anteil des Phosphors durch vermehrte biologische P-Elimination entfernt. Ohne entsprechende Verminderung der Fällmittelmenge, in diesem Beispiel durch die frachtproportionale Dosierung, wäre dieser Effekt nicht so ausgeprägt eingetreten.

Der Grenzwert von 1 mg/l P im Ablauf wird im gesamten Jahr im Monatsmittel ohne Probleme eingehalten, wobei besonders niedrige Konzentrationen infolge der guten Bio-P-Elimination in den Sommermonaten zu verzeichnen sind.

Abbildung 8 zeigt die Leistungsfähigkeit der vermehrten biologischen P-Elimination anhand des Faktors $f_{P,Bio-P}$ im Jahresgang. Deutlich zu erkennen ist der ausgeprägte jahreszeitliche Verlauf dieses Parameters, der – wie weitere Betriebsdaten zeigen – den Abwassertemperaturen folgt. Trotz ungünstiger Abwassertemperaturen $< 12\text{ °C}$ in den Monaten Januar bis April, in denen kein Bio-P-Anteil zu verzeichnen ist, liegt der Jahresmittelwert von $f_{P,Bio-P} = 0,65\%$ höher als der nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 zu erwartende Wert (bis zu 0,5 %). Spitzenwerte wie im Oktober und November von $f_{P,Bio-P} > 1\%$ sind üblicherweise nur bei Bio-P-Anlagen zu erwarten.

In den Monaten Januar bis April ergibt sich aus der eingesetzten Fällmittelmenge der Sachverhalt gemäß Gleichung (9) und (11), wonach $X_{P,BioP} = 0$ gesetzt werden muss. Nach Gleichung (12) errechnen sich somit $\beta_{Fäll}$ -Werte ≥ 1 (Abbildung 9). In diesen Monaten, in denen keine Bio-P Elimination stattfindet, ist zur Einhaltung der Ablaufwerte eine geringe Überdosierung mit $\beta_{Fäll}$ vor rund 1,2 für die Simultanfällung notwendig. Dagegen kommt von Mai bis Dezember die höchstmögliche Wirkung des Fällmittels zum Tragen ($\beta_{Fäll} = 1$). Der nicht gefällte Phosphor wird in diesem Zeitraum durch die biologische P-Elimination entfernt (siehe Abbildung 8, Ausmaß der Bio-P Wirkung).

Abbildung 10 charakterisiert den spezifischen Chemikalienverbrauch der Kläranlage über den Kennwert K_p . Die Kläranlage weist mit einem mittleren $K_p = 14$ einen deutlich niedrigeren Jahresmittelwert auf, als im DWA-A 202 angeführt. Ursache ist die mit Bio-P-Anlagen vergleichbar ausgeprägte Bio-P-

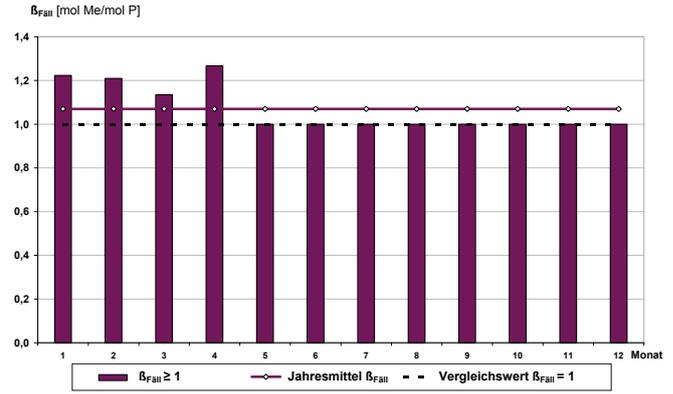


Abb. 9: Die $\beta_{Fäll}$ -Werte im Jahresgang

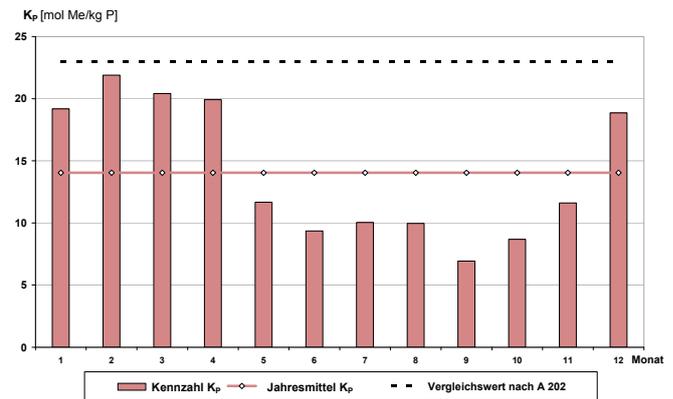


Abb. 10: Die Kennzahl K_p

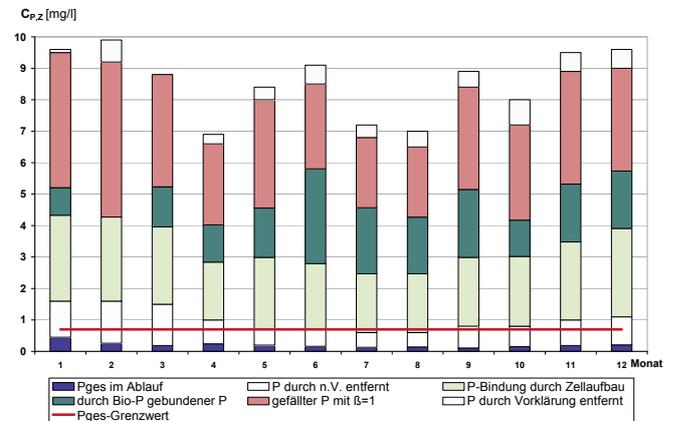


Abb. 11: Phosphatkonzentration im Zulauf und Bilanzierung der P-Anteile

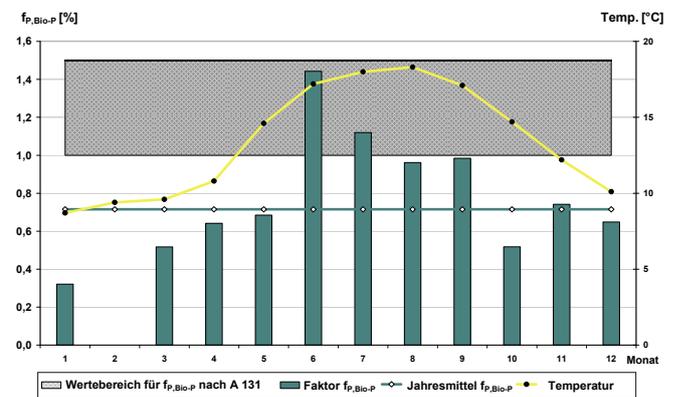


Abb. 12: Der Bio-P-Faktor $f_{P,Bio-P}$

Elimination in der warmen Jahreszeit. In der kalten Jahreszeit liegen die K_p -Werte mit rund 20 in der Größenordnung anderer vergleichbarer Denitrifikationsanlagen.

Beispiel 4: Bio-P-Anlage mit zusätzlicher Flockungsfiltration

Auf dieser Bio-P-Anlage wird aufgrund der niedrigen einzuhaltenden Ablaufkonzentration von 0,7 mg/l P zusätzlich eine chemische Fällung betrieben. In diesem Fall wird ein Mischprodukt aus dreiwertigem Eisen und Aluminium eingesetzt. Neben einer konstanten Grunddosierung in den Ablauf des Belebungsbeckens wird proportional zur P-Fracht im Ablauf der Nachklärung in den Zulauf zur Flockungsfiltration dosiert.

In Ergänzung zu den vorangegangenen Beispielen zeigt Abbildung 11 zusätzlich den P-Anteil, der durch das nachfolgende Verfahren (n. V.) der Flockungsfiltration eliminiert wurde (gestreifter Säulenanteil X_{PnV}). Der durch die Vorklärung entfernte Phosphor fällt mit einem Anteil von nur ca. 5 % vergleichsweise niedrig aus. Deutlich ist, dass der Grenzwert im Ablauf der Kläranlage im Monatsmittel ganzjährig weit unterschritten wird.

Die Zulaufkonzentrationen zur Flockungsfiltration lagen von Mai bis Oktober bereits in der Höhe des Grenzwertes, so dass in diesen Monaten entweder die Grunddosiermenge zur Simultanfällung oder die Dosierung zur Flockungsfiltration hätte verringert werden können. Bei entsprechend reduzierter Dosierung zur Simultanfällung wäre die vermehrte Bio-P-Elimination vermutlich noch mehr zum Tragen gekommen. Dagegen musste in den Wintermonaten zur sicheren Einhaltung des Grenzwertes die Grunddosierung bei der Simultanfällung deutlich erhöht werden.

Bei dieser Kläranlage zeigt sich die deutliche Abhängigkeit der vermehrten biologischen P-Elimination von der Abwassertemperatur (Abbildung 12). Bei längeren Perioden mit Abwassertemperaturen < 10 °C wurde eine Verringerung der biologischen P-Elimination beobachtet. In den Monaten Juni

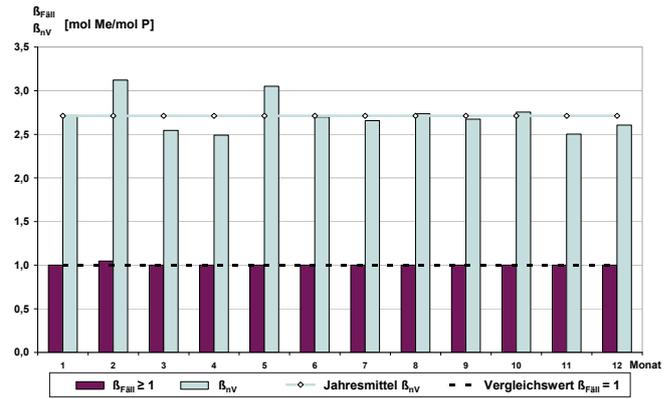


Abb. 13: Die β_{Fall} - und β_{nV} -Werte im Jahresgang

bis September zeigte der Verlauf des $f_{P_{Bio-P}}$ -Faktors dagegen eine ausgeprägte Bio-P-Elimination. Bei Verminderung der Grunddosierung in den Sommermonaten hätte, wie bereits erörtert, der prozentuale Anteil der Bio-P-Elimination vermutlich noch gesteigert werden können. Der Jahresmittelwert für diese Kläranlage fällt mit $f_{P_{Bio-P}} = 0,72 \%$ deutlich geringer aus, als dies gemäß Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 zu erwarten wäre.

Abbildung 13 zeigt sowohl die Kennzahl β_{Fall} für die simultane P-Fällung als auch β_{nV} für die Flockungsfiltration. Die β_{Fall} -Werte liegen im Jahresverlauf mit Ausnahme des Februars bei 1, das heißt, es lag keine erkennbare Überdosierung vor.

Die β_{nV} -Werte liegen im Bereich 2,5 bis 3,2 mol eingesetzter Wirksubstanz pro mol gefällten Phosphors. Erwartungsgemäß muss bei der Flockungsfiltration deutlich im Überschuss dosiert werden, um die niedrigen Ablaufkonzentrationen von rund 0,2 mg/l zu erreichen.

Vergleichswerte für K_p liegen für Anlagen mit Flockungsfiltration nicht vor. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit erfolgt hier die Berechnung der K_p -Werte daher ohne den Fällmitteleinsatz für die Flockungsfiltration.

Portabel, berührungsfrei, genau auch unter schwierigen Bedingungen:

Durchfluss- und Wärmemengemessung an Flüssigkeitsleitungen

deltawaveC



deltawaveC-P

- Clamp-On-Durchflussmesser mit integrierter Wärmemengen-Messfunktion. Misst in gefüllten Rohrleitungen berührungs- und wartungsfrei, absolut hygienisch, leckagesicher, druckfest.
- minutenschnell montiert. Kein Prozessstillstand, kein Trennen von Leitungen.
- deckt Rohrleitungen von DN 10 bis DN 6000 ab.
- misst auch kleinste Fließgeschwindigkeiten.
- ist in weniger als einer Minute zu parametrieren.
- dient auch dem Pumpenschutz, der Lecksuche sowie Verteilungs- und Verbrauchsmessungen.



Mess- und Regeltechnik GmbH
Lindberghstraße 4
D - 82178 Puchheim

Tel.: 0 89 / 8 09 06 - 0
info@systemec-controls.de
www.systemec-controls.de



Mehr siehe
www.scmr.de/dw

Beispiele	Ausbaugröße	Bio-P + Denitrifikation Anteil an der Belebung	$f_{\text{PBio-P}}$ %	$\beta_{\text{Fäll}}$	K_p mol/kg P
Anlage mit P-Fällung „Chem-P“	< 10 000 EW	0 %	0	1,4	28,8
Bio-P-Anlage „Bio-P“	> 100 000 EW	50 %	1,9	1,0	6,4
Anlage mit Denitrifikation	> 100 000 EW	25 %	0,65	1,1	14,0
Bio-P-Anlage mit zusätzlicher Flockungsfiltration	> 20 000 EW < 50 000 EW	50 %	0,72	1,0 $\beta_{\text{nV}}=2,7$	12,2

Tabelle 3: Ergebnisse der ausgewerteten Beispiele in der Übersicht

In Abbildung 14 wird mittels der Kennzahl K_p der spezifische Chemikalienverbrauch in der Simultanfällung charakterisiert. Die Kläranlage weist mit ca. $K_p = 12$ einen Jahresmittelwert auf, der dem Erfahrungswert für Kläranlagen des Typs Bio-P nach DWA-A 202 sehr nahe kommt.

Für Anlagen mit nachfolgenden Fällungsverfahren (Flockungsfiltration, Nachfällung) und damit in der Regel sehr niedrigen Ablaufkonzentrationen ist der β_{nV} -Wert als Kennzahl zur Beurteilung des Fällmitteleinsatzes geeignet und ausreichend.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Arbeitsbericht beschreibt eine Auswertemethode für Betriebsdaten im Jahresgang, die eine Abschätzung des biologischen und des chemischen Anteils an der P-Elimination bei der Simultanfällung ermöglicht. Neben Anlagen mit Simultanfällung können auch Anlagen mit Vorfällung und nachfolgenden Verfahren (Flockungsfiltration/Nachfällung) bewertet werden.

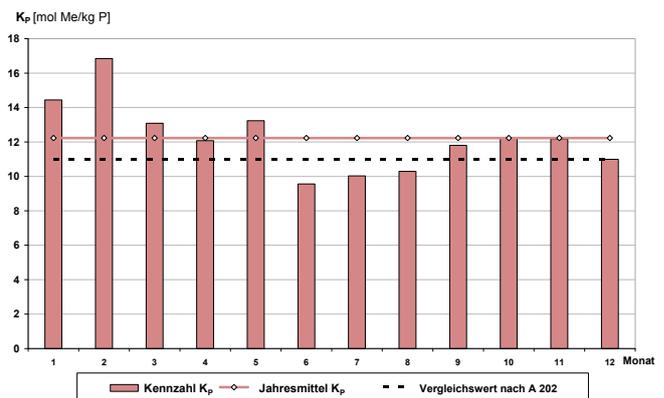
Der Auswertemethode liegt die Annahme zugrunde, dass bei einem $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert = 1 das Fällmittel vollständig mit dem fällbaren Phosphor reagiert. Weiterhin werden die P-Anteile für den Aufbau der Biomasse (nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131) sowie der P-Restgehalt im Ablauf der Kläranlage in Ansatz gebracht.

Aus der Bilanzierung der P-Anteile ergibt sich dann rechnerisch jener Anteil, der nur der vermehrten biologischen P-Elimination zugeordnet werden kann. Wird dieser Anteil ins Verhältnis zum BSB_5 im Zulauf zur Belebung gesetzt, ergibt sich der Faktor $f_{\text{PBio-P}}$. Dieser Faktor kann mit den Ansätzen für $f_{\text{PBio-P}}$ gemäß Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 verglichen werden.

Wenn aufgrund der eingesetzten Chemikalienmenge derart viel Phosphor chemisch eliminiert wird, dass rechnerisch kein Phosphor für die Bio-P-Entnahme verbleibt, dann werden $\beta_{\text{Fäll}}$ -Werte ≥ 1 berechnet. In Monaten mit $\beta_{\text{Fäll}} \geq 1$ wäre eventuell eine Reduzierung der Fällmitteldosierung möglich gewesen. Demzufolge können sich aus der Darstellung der $\beta_{\text{Fäll}}$ -Werte im Jahresverlauf Hinweise auf eine Überdosierung ergeben.

Als weitere Kenngröße wird aus den Betriebsdaten der K_p -Wert ermittelt. Damit ist ein Vergleich des Fällmittelverbrauchs von Anlagen gleichen Typs möglich.

In Tabelle 3 sind die ermittelten Kenngrößen für die vier betrachteten Beispiele zusammengestellt. Die berechneten K_p -

Abb. 14: Die Kennzahl K_p

Werte weichen in zwei Beispielen von den im DWA-A 202 aufgeführten Mittelwerten ab. Dies wird durch die spezifischen Bedingungen der jeweiligen Kläranlage verursacht (zum Beispiel Abwasserbeschaffenheit).

Eine jährliche Beurteilung der Betriebsdaten mit dieser Auswertemethode unterstützt die optimale Betriebsführung der Kläranlage.

Voraussetzung für eine fundierte Erhebung der Daten sind geeignete Messeinrichtungen, Probenahmegeräte und Laborausstattung sowie eine qualifizierte Analyse der erforderlichen Parameter in ausreichender Häufigkeit.

Zusätzlich wurde eine Arbeitshilfe in Form einer anwenderfreundlichen Excel-Tabelle erstellt. Damit können die Betriebsdaten von Kläranlagen mit biologischer und chemischer Phosphorelimination nach der beschriebenen Methode auf einfache Art und Weise ausgewertet werden.

Diese „Excel-Arbeitshilfe P-Elimination“ kann von DWA-Mitgliedern kostenfrei genutzt werden: www.dwa.de

Literatur

ATV-DVWK-Arbeitsgruppe KA-8.2: *Arbeitsbericht „Kennzahlen zur gezielten P-Elimination in kommunalen Kläranlagen“*, Hennef, Oktober 2003

Arbeitsblatt DWA-A 202: *Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser*, Hennef, 2011 (im Druck)

Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131: *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, Hennef, 2000