

Neue Wege in der Abwasserbehandlung

Situation

Die Kläranlage Felsalbe im Bundesland Rheinland-Pfalz war für 30 000 EW ausgelegt. Sie wird vom Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens betrieben. Die Anlage kann mit Vorklärung, Belebungsstufe und Faulbehälter als klassische Reinigungsanlage beschrieben werden und entsprach den „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ (Abb. 1).

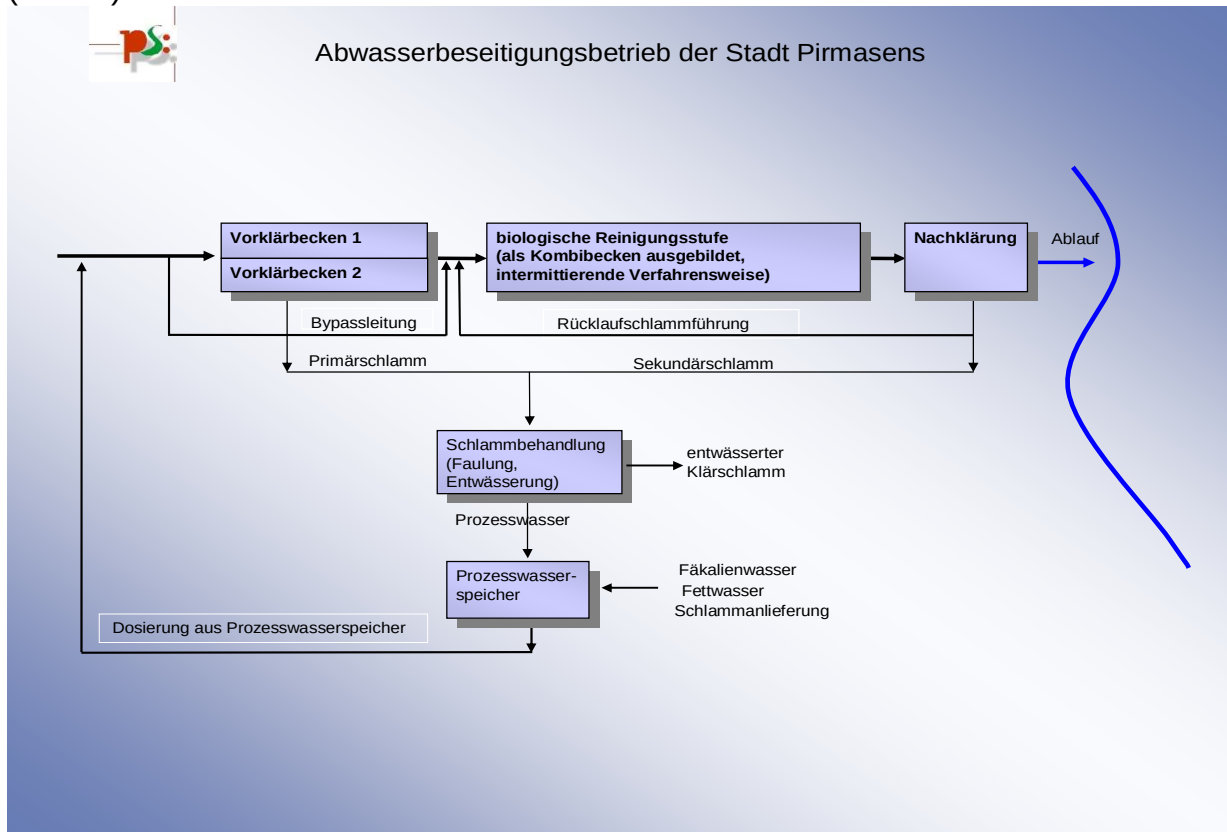


Abb. 1: Schema der KA Felsalbe mit Ausgangssituation 30 000 EW

Soweit wäre alles in Ordnung, wenn nicht die Stadt Pirmasens beabsichtigte, zusätzlich 8 000 EW anzuschließen. Ziel dabei sollte es sein, die Verfahrens- und Energietechnik für die bestehende Kläranlage soweit zu optimieren, dass die Mehrbelastung ohne bauliche Maßnahmen aufgenommen werden kann. Ein ehrgeiziges Vorhaben, doch wie sollte das möglich sein?

Neuer Verfahrensbetrieb

Es war klar, dass eine derartige Optimierung nicht mehr mit dem gegebenen Stand der Anlagentechnik zu erreichen war. Voraussetzung waren lückenlose Messdaten, um alle Belastungsschwankungen frühzeitig zu erkennen, sowie eine digitale Verarbeitung dieser Daten, um schnell und bedarfsgerecht reagieren zu können. Das bedeutete, dass folgende betriebliche Einrichtungen vorhanden sein mussten (Abb. 2):

1. PLS (Prozessleitsystem)
2. SPS (Speicher programmierbare Steuerung)
3. Online-Sauerstoffmessung
4. Online-Nitratmessung / Online-Ammoniummessung
5. Online-Energieverbrauchsmessung der biologischen Reinigungsstufe
6. Regelbare Gebläse/- Schlammrezirkulationspumpen

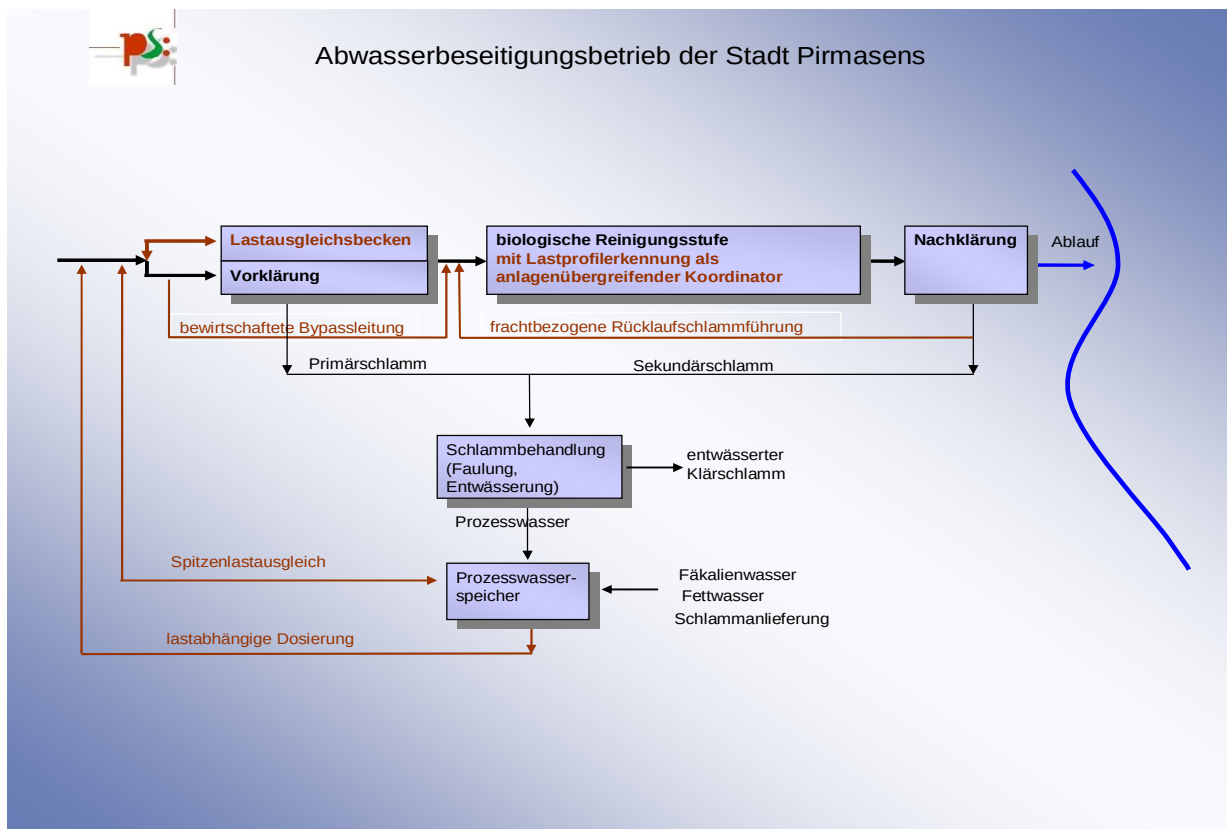


Abb. 2: Schema der KA Felsalbe mit neuem Verfahrensbetrieb 40 000 EW

Eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg dieses neuen Konzeptes war unter anderem eine zuverlässige Online-Messtechnik. Wir entschieden uns für das Sondensystem IQ SENSOR NET der Wissenschaftlich-Technischen Werkstätten (WTW). Die Sonden zeichnen sich durch hohe Dynamik, Messwertstabilität und einfache Bedienung bei niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten aus. Durch die hohe Messwertstabilität beschränkt sich der Wartungsaufwand auf gelegentliche Reinigung, die vom Betriebspersonal einfach zu bewerkstelligen ist. Damit können die Parameter Nitrat, Ammonium und gelöster Sauerstoff störungsfrei gemessen werden.



Abb. 3: Beispiel Messinstrumentierung
Ionenselektive Sonde für Ammonium (AmmoLyt - WTW)



Abb. 4: Beispiel Messinstrumentierung
alternativ Ionenselektive Sonde für Ammonium, Kaliumkompensation und Nitrat
(VARION – WTW)

Funktionsweise des Verfahrens

Die Grundbausteine für das Verfahren stellen das Modul „Lasteinstufung“ und das Modul „Betrieb“ im Software-Paket des SPS-Programms dar.

Modul „Lasteinstufung“

Im ersten Schritt erfolgt die Festlegung der Struktur der Module nach anlagenspezifischen Erfahrungswerten. Darunter fallen die Stickstoffbelastung, der Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe (Messwert Energie) und die Nitrifikations-, Denitrifikationsleistung. Das Modul bewertet den aktuellen Lastzustand kontinuierlich, ausgehend von den Messdaten der biologischen Reinigungsstufe, und legt damit die Rahmenbedingungen für das Modul „Betrieb“ fest. Abb. 5 zeigt die Zuordnung des Betriebsmodus zur Belastung.

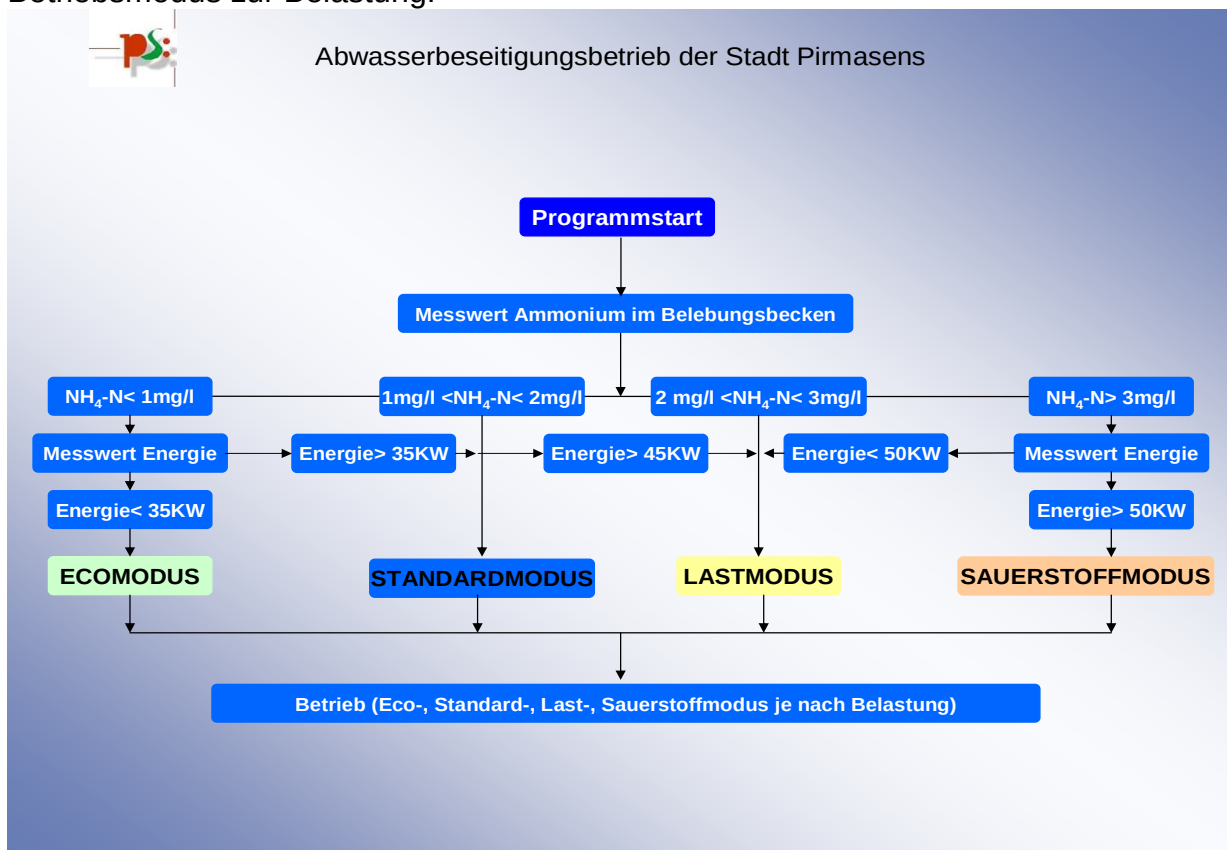


Abb. 5: Funktionsweise des Moduls „Lasteinstufung“ (die Energiebeträge gelten für die KA Felsalbe).

Eine noch sensiblere Lasterkennung wird durch die Einbindung weiterer Messdaten wie die CSB-Fracht zur Biologie oder den Trockensubstanzgehalt in der Belebung erreicht.

Modul „Betrieb“

Nach der spezifischen Lastbewertung wird nun das Modul „Betrieb“ auf die momentane Belastung abgestimmt, wofür verschiedene Verfahrensvarianten existieren. Die Schaltgrenzwerte sind über das Prozessleitsystem variabel einstellbar und werden als Betriebs- und Lastzustände mit Messwerten und Trends visualisiert und gespeichert.

Variante 1 - Anlagen mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation

Im Nitrifikationszyklus wird eine minimale Nitrifikationszeit gestartet, nach deren Ablauf das Überschreiten des maximalen Nitratwertes oder das Überschreiten der maximalen Nitrifikationszeit den Denitrifikationszyklus einleitet. Der Denitrifikationszyklus wiederum wird, wie Abb. 6 zeigt, entweder von der gleichzeitig gestarteten maximalen Denitrifikationszeit oder vom Erreichen des minimalen Nitratwertes nach Ablauf der minimalen Denitrifikationszeit, beendet.

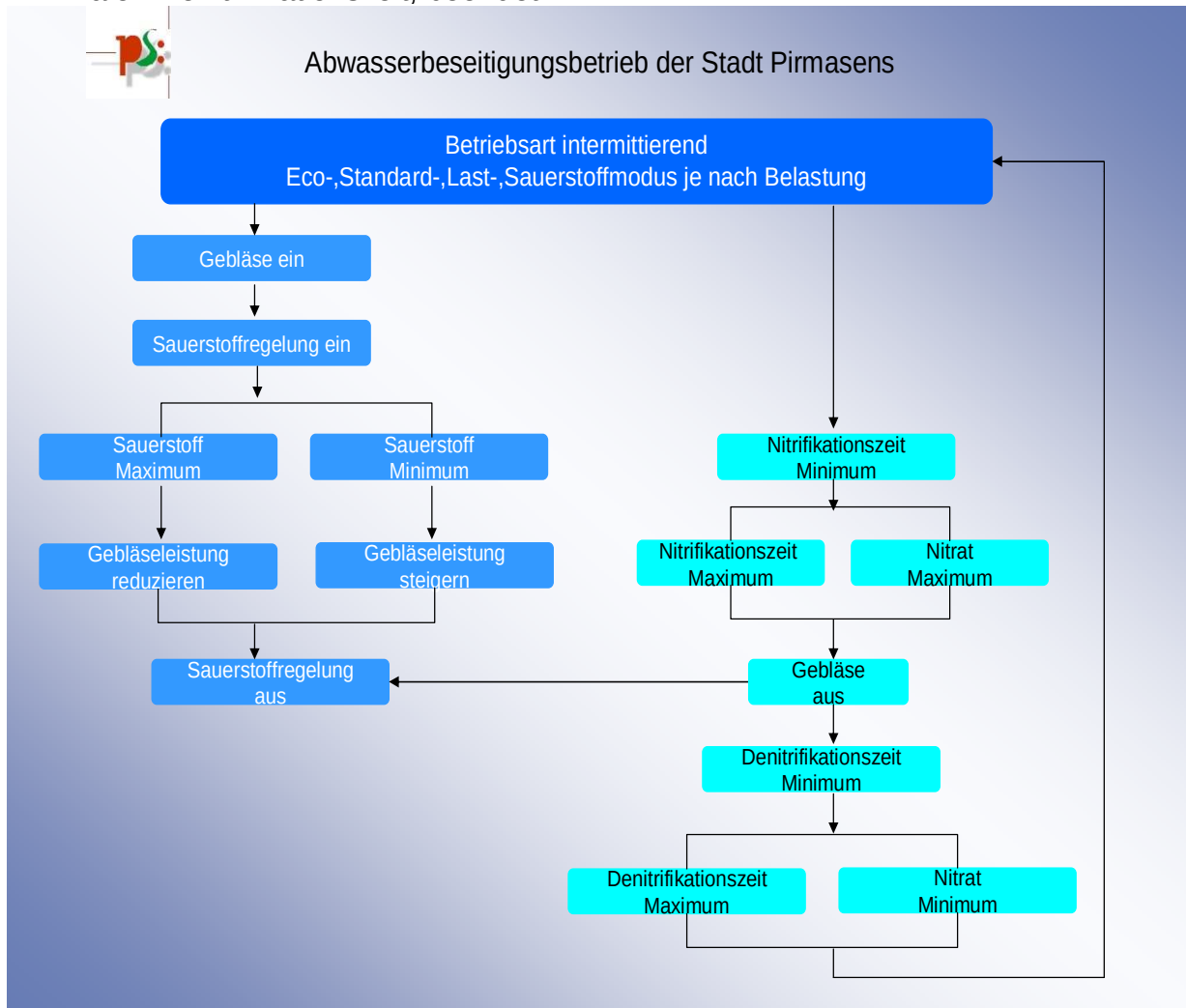


Abb. 6: Nitratgeführte Steuerung

Anhand der dabei entstehenden Zykluszeiten (Gebläse EIN/AUS) lässt sich eine – für die Anlage und deren Belastung – charakteristische Leistungsfähigkeit der Nitrifikation /Denitrifikation ableiten. Diese Beurteilung umfasst die situationsabhängigen Steuerbefehle und passt die Zeiten für die Nitrifikation /Denitrifikation an den Bedarf der Ammonium- oder Nitratwerte an.

Variante 2 - Mehrstufige Anlagen mit Fakultativbecken oder Kaskaden

Für diesen Fall wird bei Erreichen des maximalen Ammoniumwertes das Nitrifikationsvolumen durch Zuschalten eines Fakultativbeckens vergrößert. Dieser Zustand bleibt während einer minimalen Nitrifikationszeit erhalten. Er bleibt aber auch darüber hinaus bestehen, bis entweder die maximale Nitrifikationszeit abgelaufen ist oder ein minimaler Ammoniumwert erreicht wird. Das zugeschaltete Becken wird dann wieder als Denitrifikationsbecken betrieben. Nach Ablauf der nun gestarteten minimalen Denitrifikationszeit führt das Erreichen des maximalen Ammoniumwertes oder der maximalen Denitrifikationszeit den Neubeginn des Zyklus. Die Ermittlung der Nitrifikations-, Denitrifikationsleistung erfolgt entsprechend der Variante 1.

Bei mehrstufigen Anlagen ohne Fakultativbecken können verschiedene Sauerstoffgehalte in den einzelnen Kaskaden (Stufen) festgelegt und vom Nitrat-/Ammoniumgehalt verändert werden.

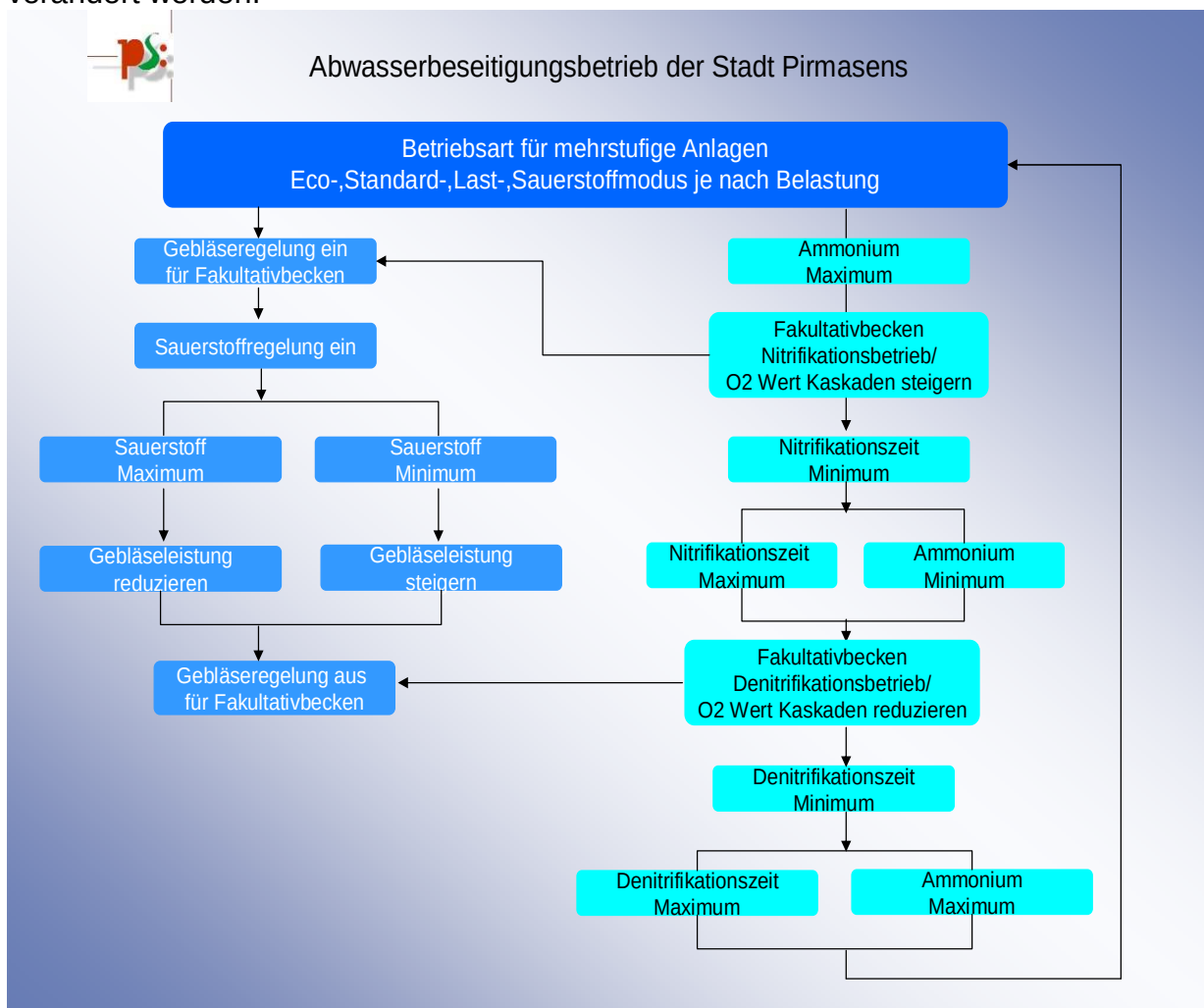


Abb. 7: Ammoniumgeführte Steuerung

Die Anlage Felsalbe wird mit einer Kombination aus Variante 1 (NO_3) und Variante 2 (NH_4) betrieben, da die neuen Kombi-Messeinrichtungen auf ionenselektiver Basis für Nitrat-Ammonium dies ermöglichen.

Fracht- und nährstoffoptimierter Betrieb nach Lastzustand

Das System ist modular aufgebaut. Die Messdaten der biologische Reinigungsstufe dienen der Prozessführung und Steuerung. Je nach Erfordernis und Anlagenkonzeption können die beiden Module Lasteinstufung und Betrieb um folgende Module beliebig erweitert werden (Abb. 8)

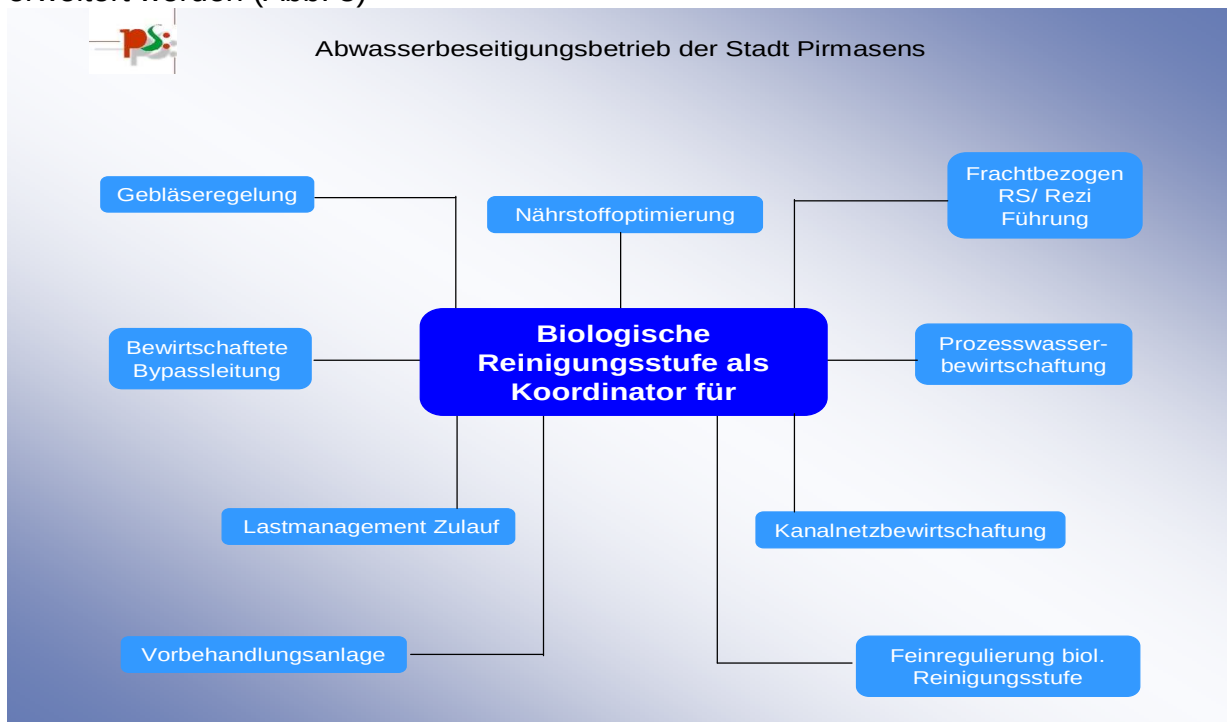


Abb. 8: Zusatzmodule zur Verbesserung der Effizienz

Gebälseregelung

Der Gebäsestart erfolgt bei intermittierenden Anlagen nach dem Denitrifikationszyklus lastabhängig. Die Gebälseregelung wird nach dem Sauerstoffbedarf im Belebungsbecken in Abhängigkeit von der spezifischen Lasteinstufung vorgenommen. Hierzu wird die Gebälseregelung aus ihrer zuvor definierten Grundeinstellung an den tatsächlichen Bedarf, (Definition und Betrieb) mittels Frequenzumformer herangeführt.

Frachtbezogene Rücklaufschlammführung / Rezirkulation

Bei der frachtbezogenen Rücklaufschlammführung/Rezirkulation wird die Biomasse in Abhängigkeit ihrer spezifischen Lasteinstufung geregelt. Gerade bei Ammoniumspitzen werden hierzu vermehrt Nitrifikanten bereitgestellt, die das erhöhte Nährstoffangebot abarbeiten können. Auch bei BSB₅ - Spitzen sind Angebot und Nachfrage besser aufeinander abstimmbare. Eine stufenlose Regelung der Rücklaufschlamm-/Rezirkulationspumpen durch Frequenzumformer vereinfachen die Anpassung an die einzelnen Lasteinstufungen.

Prozesswasserbewirtschaftung

Die Lasteinstufung bildet hier die Grundlage für die Befüllung bzw. Entleerung des Prozesswasserspeichers. Durch eine geregelte Zuführung der Prozesswässer in die biologische Reinigungsstufe entfallen extreme Belastungsspitzen und ergeben gleichmäßigere Betriebsbedingungen.

Nährstoffoptimierung durch Rohabwasserzugabe

In Schwachlastzeiten (z. B. bei längerem Niederschlag), wird die Bypassmenge (Umgehung der Vorklärung) **sukzessive** angepasst. Damit wird einer Stickstoff - Nährstoffverschiebung oder einer Autolyse des Belebtschlammes entgegengewirkt. Ist diese Möglichkeit ausgeschöpft, kann Kohlenstoff gezielt zudosiert werden.

Lastmanagement Zulauf

Die Lasteinstufung bildet die Grundlage für die Befüllung bzw. Entleerung des Lastausgleichsbeckens.

Durch Auswertung von Niederschlagsdaten können z. B. nach Regenereignissen Schmutzfrachtspitzen („Spülstoß“) aus dem Kanalnetz je nach Kanaldimension frühzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Integration von Vorbehandlungsanlagen

Behandlungsanlagen hochbelasteter Teilströme, wie z. B. von Indirekteinleitern oder Prozesswasserbehandlungsanlagen, können in das Bewirtschaftungskonzept integriert werden.

Feinregulierung biologische Reinigungsstufe

Das Modul Feinregulierung greift in den Programmablauf Betrieb prozessoptimierend ein. Die Trenderkennung für Ammonium/Nitrat/Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe übernimmt im jeweiligen Baustein für den Betrieb die effizienteste Gebläseregelung im Belebungsbecken. Hierzu werden die Grenzwertepaare Minimum – Maximum der Sauerstoffkonzentration optimiert.

Kanalnetzbewirtschaftung

Eine Bewirtschaftung von Regenrückhaltebecken/ Regenüberlaufbecken ist auf Basis der Lasteinstufungen möglich.

Ausfallstrategie - Notbetrieb

Der Anlagenbetrieb ist durch folgende Maßnahmen auch bei Störungen gewährleistet:

- a) Plausibilitätskontrollen durch untereinander abgesicherte Messwerte mit Messung des Energieverbrauches der biologischen Reinigungsstufe .
- b) bei Automatikausfall oder Ausfall von Messwerten:
Aufhebung der zugehörigen Grenzwerte, Umsteuern auf Notprogramm, Gebläse EIN/AUS-Zeiten nach Lastprofil der letzten Tage (Notlaufprofil).

Ergebnisse

Als Ergebnis wurden mit dem neuen Verfahrenskonzept geringere Ablaufwerte bei gesteigerter Prozessstabilität dauerhaft bestätigt. Damit konnten die bereits guten Ablaufwerte der Kläranlage Felsalbe sogar **nochmals verbessert** werden. Tabelle 1 vergleicht die Werte vor der Einführung des Konzepts und danach.

	Wert vorher	Wert nachher
CSB	30 mg/l	20 mg/l
N ges. anorg	2 bis 12 mg/l	< 5 mg/l
Pges	1,0 mg/l	0,75 mg/l
Energieverbrauch	0,5 kWh/kg CSB	0,35 kWh/kg CSB

Tabelle 1: Verbesserung von Ablaufwerten und Energieverbrauch

Dieser Erfolg wird auf eine erheblich verbesserte Fracht- und Nährstoffoptimierung zurückgeführt. Darüber hinaus sind die zeitnahen Reaktionsmöglichkeiten auf Stoßbelastung unter Einbeziehung von Schwachlastzeiten mit einer stetigen 24 h - Auslastung verantwortlich.

Ein Hauptziel dieses Verfahrens ist die deutlich gesteigerte Energieeffizienz, die unsere Erwartung übertroffen hat. In Zeiten steigender Energiepreise ist dies ein nicht zu unterschätzender Faktor. Der spezifische Energieverbrauch pro kg abgebauten CSB konnte bei dieser Anlage um 30% gesenkt werden. Dies zeigt Abb. 9 sehr anschaulich.

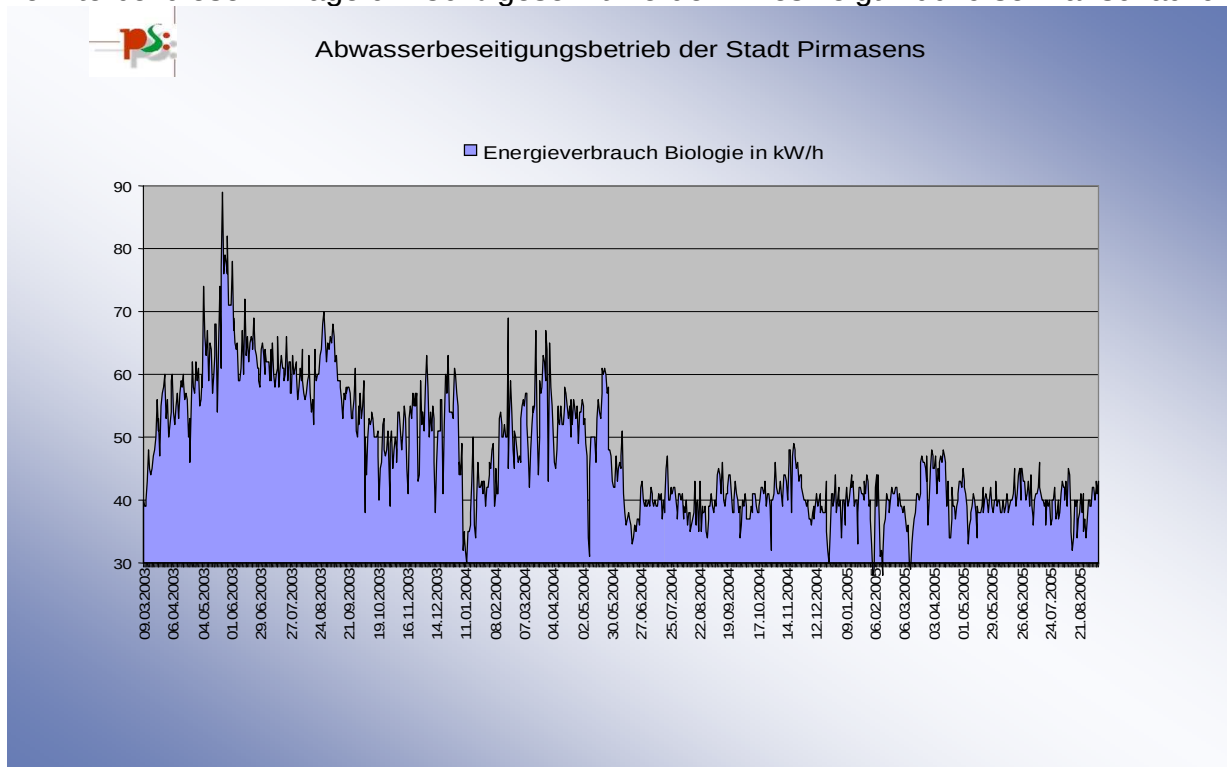


Abb. 9: Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe (Februar 2003 bis September 2005)

Wie aus den Betriebsdaten (Abb. 9) zu erkennen ist, orientiert sich das Bewirtschaftungskonzept am tatsächlichen Bedarf der biologischen Reinigungsstufe, bilanziert ihre Belastung, protokolliert die anlagenspezifische Leistungsfähigkeit und optimiert den Betrieb.

Fazit

Das auf der Kläranlage Felsalbe erprobte Verfahrenskonzept ist auf die heutigen Anforderungen von Kläranlagen zugeschnitten. Es gewährleistet einen prozessintegrierten, optimalen und wirtschaftlichen Betrieb bei flexibler Anpassung an unterschiedlich betriebene Abwasserbehandlungsanlagen.

Das Besondere dieses Verfahrens liegt in der Erstellung eines Lastprofils der biologischen Reinigungsstufe mit einem Anlagenübergreifenden Ansatz.

Unter Einbeziehung verschiedener Messdaten, die für jede Anlage eigens festgelegt werden, wird der Belastungszustand ermittelt und davon abhängig eine Regelstrategie mit spezifischen Schalthwerten ausgewählt. Im Gegensatz zu bislang bekannten Verfahren, bei denen nur in der biologischen Reinigungsstufe reagiert wird, greift dieses Verfahren aktiv in die Vorgänge der Kläranlage ein und versteht sich als übergeordnetes Regelkonzept. Mit diesem Verfahren wird ein fracht-, und nährstoffoptimierter Betrieb der Anlage mit einer geringeren Schadstoffbelastung für die Gewässer bei gesteigerter Energieeffizienz erreicht.

Die Optimierung der Prozessabläufe nach diesem Verfahrenskonzept führen zu Einsparungen an Betriebsmitteln und Kosten. Im vorliegenden Fall wurden ca. 35 000 €/a weniger verbraucht (Energiekosten, Abwasserabgabe, Hilfsstoffe). Die Investitionskosten konnten vollständig mit der Abwasserabgabe verrechnet werden, da sich eine Minderung der abgaberelevanten Schadstoffe von mehr als 20% ergab. Selbst ohne Berücksichtigung der weggefallenen Abwasserabgabe ergab sich nach Ablauf eines Jahres noch ein ROI (**R**eturn **o**n **I**nvestment) von 75%.

Die moderne Online-Prozessmesstechnik stellt eine wichtige Voraussetzung für dieses Verfahren dar. Die ionenselektiven Sonden messen präzise und kostengünstig direkt im Medium ohne Probenvorbereitung, betriebssicher und dynamisch.

Mit der Einführung des Verfahrens wurde gleichzeitig eine Schnittstelle zur betrieblichen Kostenrechnung geschaffen, die die Grundlage für eine betriebswirtschaftliche Optimierung (Controlling) bildet. Das Verfahrenskonzept zur Abwasserbehandlung wurde vom Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens zum Patent angemeldet.

Autor:

Betriebsleiter Thomas Wolf
Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens
Rehmühle 5
66954 Pirmasens
Tel. +49(0)6331 / 247 311
Fax. +49(0)6331 / 247 317
E-Mail: Wolf@KA-PS.de