

Neue Nutzungen und Entwicklungsmöglichkeiten für vorhandene Kläranlagenstrukturen

Dr. Karl-Erich Köppke, Bad Oeynhausen

1 Einführung

Vor dem Hintergrund neuer technologischer Entwicklungen einerseits sowie den vorhandenen Kläranlagenstrukturen andererseits, erscheint es sinnvoll und notwendig, die Entwicklungsmöglichkeiten von Kläranlagen stärker zu diskutieren. Derzeit sind mehrere sehr unterschiedliche Entwicklungstendenzen erkennbar, die bislang noch nicht zu einem einheitlichen Gesamtsystem zusammengefügt worden sind. Im Einzelnen sind zu nennen:

- zunehmende Entsorgung von Klärschlamm in Verbrennungsanlagen
- Rückgewinnung von Wertstoffen (N, P, ggf. Schwermetalle)
- verstärkter Einsatz der Membrantechnologie (z.B. zur Biomasserückhaltung)
- Integration des Klärschlammaufschlusses (thermisch/physikalisch)
- Kosten- bzw. Energiebedarfssenkung
- Nutzung vorhandener Kapazitäten, z.B. zur Co-Vergärung von Bioabfällen

In diesem Vortrag soll der Versuch unternommen werden, die genannten Entwicklungen zu einem ganzheitlichen Konzept zusammenzufügen, um Anregungen für neue Nutzungen und Entwicklungsmöglichkeiten für vorhandene Kläranlagenstrukturen zu geben. Dies erscheint umso notwendiger, weil Kläranlagen als integraler Bestandteil der Abwasserentsorgungskette – vom Ort des Abwasserabfalls bis zur Ableitung in das Gewässer – zu verstehen sind.

2 Ist-Situation

Die Abwasserbehandlung in kommunalen Kläranlagen erfolgt überwiegend zunächst in einer mechanischen Behandlungsstufe (Rechen, Sandfang, Vorklärung). Anschließend wird das Abwasser in der Regel der biologischen Stufe zugeführt, in der die organischen Abwasserinhaltsstoffe unter Zuführung von Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut werden. Darüber hinaus wird über die Nitrifikation und Denitrifikation der gebundene Stickstoff zu elementarem Stickstoff reduziert. Phosphate werden über die biologische P-Elimination inkorporiert bzw. mit Eisen oder Aluminium gefällt.

In der Nachklärung wird der biologische Schlamm abgetrennt und zum großen Teil in die biologische Stufe zurückgeführt. Der Überschussschlamm wird gemeinsam mit dem Schlamm aus der Vorklärung im Faulturm vergoren. Hier werden unter Luftabschluss niedere organische Moleküle (organische Säuren) und schließlich Methangas gebildet. Darüber hinaus wird der Schlamm für die landwirtschaftliche Verwertung stabilisiert und entkeimt. Unter diesen Gesichtspunkten werden die Faulräume für eine Aufenthaltszeit von 25 – 30 Tagen bemessen. Nach der Faulung wird der Schlamm maschinell entwässert und zur landwirtschaftlichen Verwertung oder zur Verbrennung abtransportiert.

An einem Beispiel sind in der **Abbildung 1** die prozentualen Hauptkostenpositionen einer Kläranlage dargestellt. Mit 31 % hat die Klärschlammbehandlung und -entsorgung einen herausragenden Anteil an den Gesamtkosten /1/. **Abbildung 2** zeigt beispielhaft die Verteilung des Stromverbrauchs einer Modellkläranlage (100.000 EW). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Verteilungen auf anderen Kläranlagen nicht signifikant unterscheiden.

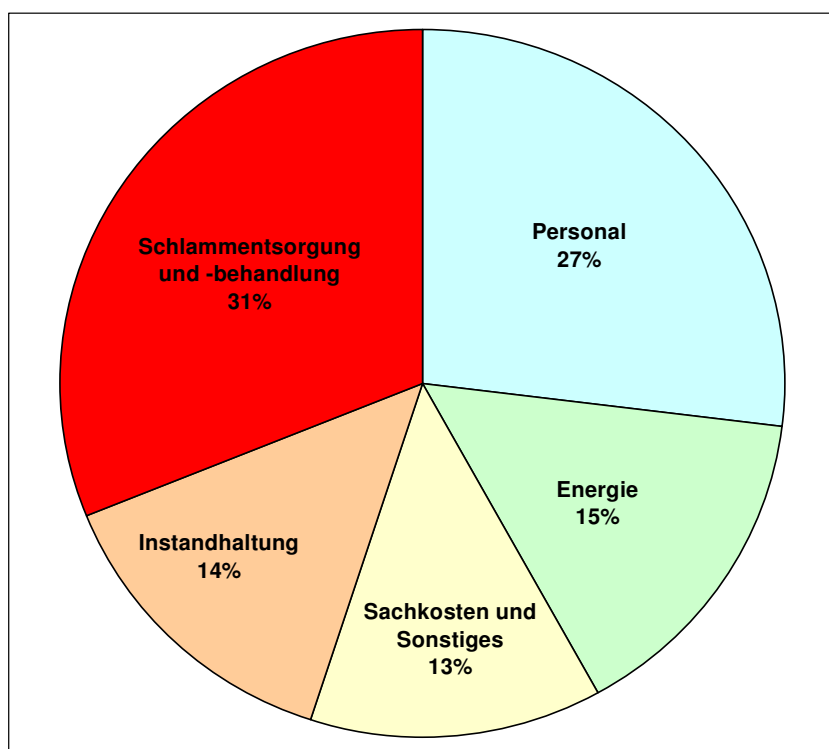


Abbildung 1: Prozentuale Einzelkosten auf kommunalen Kläranlagen

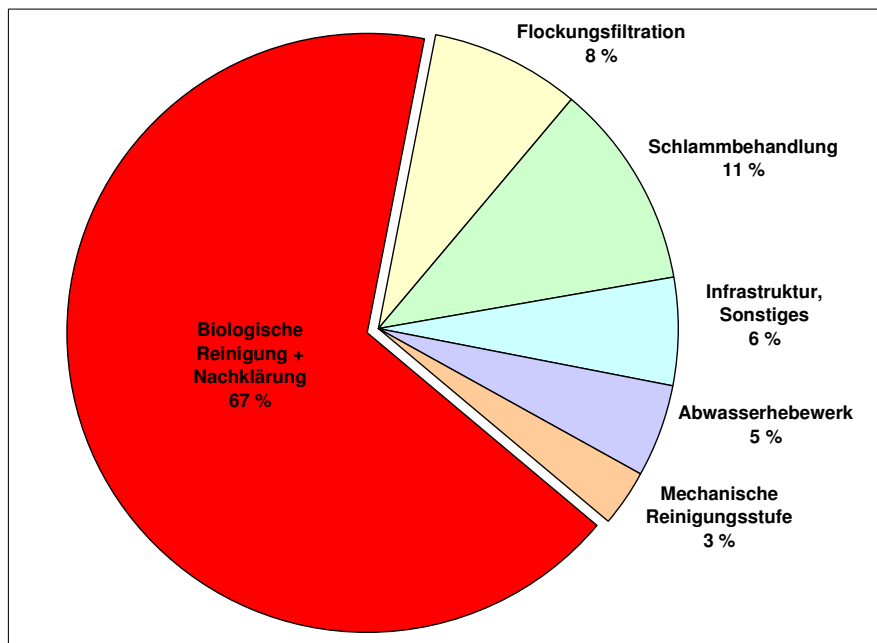


Abbildung 2: Verteilung des Stromverbrauchs einer Modell-Kläranlage (100.000 EW)

Aus beiden Abbildungen ergeben sich somit 3 grundsätzliche Stellschrauben zur Senkung der Betriebskosten bzw. des Energiebedarfs auf Kläranlagen:

1. Minimierung der Schlammengen
2. Erhöhung der Faulgasausbeute
3. Minimierung des Energiebedarfs

Für die Erreichung dieser zunächst als sehr pauschal anzusehenden Zielsetzungen erscheint es sinnvoll, sich kurz an die mikrobiologischen Grundlagen zu erinnern.

Die biologische Behandlung des Abwasserpfades erfolgt unter Zuführung von Sauerstoff (aerob) und die des Schlammpfades unter Luftabschluss (anaerob). Kennzeichnend für den aeroben Prozess ist ein hoher Energiebedarf für die erforderliche Belüftung. Der anaerobe Prozess ist durch die Bildung von Biogas mit einem hohen Energieertrag verbunden, was im Hinblick auf die Energiebilanz ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem aeroben Verfahren darstellt. Allerdings erfolgt der biologische Abbau der organischen Verbindungen nicht so weitgehend wie beim aeroben Prozess.

Die Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen ist sowohl von ökonomischem als auch von ökologischem Interesse und kann realisiert werden durch:

1. Steigerung der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme sowie
2. Einsparung von elektrischer Energie

3 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Eine Steigerung der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme wird durch eine Erhöhung der Faulgasausbeute und der Verwertung im BHKW erreicht. Mit dem zusätzlichen Strom wird ein größerer Anteil des Elektrizitätsbedarfes abgedeckt, der Fremdbezug und somit die Kosten sinken. Voraussetzung für eine größere Faulgasausbeute ist, dass ausreichend Faulraumvolumen zur Verfügung steht. Dies ist auf vielen Kläranlagen schon heute der Fall, da die Anlagen mit einer geringeren Auslastung gefahren werden als zum Zeitpunkt der Planung angenommen /2/. Weitere Kapazitäten können durch eine Verkürzung der Faulzeiten entstehen. Vor dem Hintergrund sich verändernder Verwertungswege für den Faulschlamm (Deponierungsverbot ab dem 1. Juni 2005, schwindende Akzeptanz der landwirtschaftlichen Verwertung und politische Forderung nach einer thermischen Verwertung des Klärschlammes) kann durchaus die Frage aufgeworfen werden, ob künftig noch eine Faulung bis zur technischen Stabilisierungsgrenze (d. h. Faulzeit von üblicherweise 25 bis 30 Tagen) erforderlich ist.

Durch folgende Maßnahmen ist eine Steigerung der Faulgasausbeute möglich:

- Einbringung von Co-Substraten in den Faulraum
Sofern am Ende der Schlammbehandlung die Verbrennung steht, sollte auch die Annahme von vergärbaren Abfällen, die bislang nicht als Bioabfall eingestuft wurden, möglich sein.
- Dezentrale Aufkonzentrierung von Abwasserteilströmen und direkte Einbringung in den Faulraum (Kreislaufschließungen in Betrieben, z. B. Lebensmittelindustrie)
Mit Ausnahme des Anhangs 4 (Ölsaatenaufbereitung Speisefett- und Speiseölraffination) bestehen vor dem Hintergrund hygienischer Bedenken derzeit keine Anforderungen an Kreislaufschließungen in Lebensmittelbetrieben, obwohl dies zumindest in Teilbereichen möglich wäre. Eine Aufkonzentrierung der organischen Schadstofffracht, z. B. mittels Membranfiltration oder Flootation, würde sich zur besseren Ausnutzung von Faulraumkapazitäten gerade in diesem Bereich anbieten.

Vereinzelt werden Konzentrate schon heute direkt in Faulräume eingebracht. Beispielsweise leitete ein pharmazeutischer Betrieb das Kondensat seiner Destillationskolonne bislang als Abwasser in die kommunale Kläranlage ein. Da es sich überwiegend um Isopropanol handelt, war die Ableitung trotz eines CSB von ca. 200.000 mg/l wegen der guten biologischen Abbaubarkeit kein Problem. Heute wird das Konzentrat direkt in den Faulturm gegeben, was zu einer erheblichen Steigerung der Faulgasausbeute führte. Mit der direkten Einbringung von Konzentraten in den Faulraum ist neben der Energie-

gewinnung auch gleichzeitig eine Verminderung des Energiebedarfs für die Belüftung verbunden. Gerade dieses Beispiel verdeutlicht, wie eine funktionelle Verknüpfung von dezentralen Vorbehandlungsmaßnahmen einerseits und Endbehandlung auf der Kläranlage andererseits im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung erfolgen kann. Am damit verbundenen Kostenvorteil profitieren im konkreten Fall sowohl die Kläranlage also der pharmazeutische Betrieb.

- Einsatz eines Verfahrens zum Klärschlammaufschluss (Desintegration, z.B. thermisch oder mittels Ultraschall)
In zahlreichen Forschungsvorhaben wurde die Eignung der Verfahren zur Desintegration von Klärschlamm schon nachgewiesen /3/. In der Praxis der Klärschlammbehandlung auf kommunalen Kläranlagen hat sich vor allem das Ultraschallverfahren durchgesetzt. Im landwirtschaftlichen Bereich wird oftmals die thermische Desintegration zur Erhöhung der Faulgasmenge eingesetzt. Für den Klärschlammaufschluss wurden in verschiedenen Untersuchungen Gassteigerungen von bis zu 25 % ermittelt /4/.

4 Maßnahmen zur Senkung der Schlammbehandlungskosten

Die Kosten der Schlammbehandlung und Entsorgung werden zum einen von der Schlammmenge selbst sowie u.a. von den Transportkosten bestimmt. Dies ist vor allem deshalb zu beachten, weil der maschinell entwässerte Schlamm immer noch bis zu 70 % Wasser enthält. Folgende Maßnahmen zur Schlammengenreduzierung sind möglich:

- Anaerobe Behandlung von Abwasserkonzentraten
Mit der anaeroben Behandlung von Abwasserkonzentraten sinkt auch die Überschussschlammmenge in der aeroben Abwasserbehandlung.
- Einsatz der Klärschlamm-desintegration
In eigenen Untersuchungen konnte durch den Einsatz der Thermischen Desintegration eine Verringerung der zu entsorgenden Schlamm-mengen um ca. 9,4 % nachgewiesen werden /5/.
- Einsatz der Membrantechnik zur Biomasserückhaltung
Mit der Membrantechnik zur Abtrennung des Belebtschlammes sind TS-Konzentrationen von 10 – 12 g/l im Belebungsbecken gegenüber 2,5 – 3,5 g/l mit konventioneller Nachklärung möglich. Bei gleichen Zulauffrachten sinkt somit die Schlammbelastung und somit die Überschussschlammproduktion.

- Solare Trocknung des Klärschlammes
Viele zur Verfügung stehende Trocknungssysteme wurden auf das Ziel hin entwickelt, auf geringem Raum und in kurzer Zeit einen möglichst hohen Trockensubstanzgehalt im Klärschlamm zu erreichen, was in der Regel einen hohen Energieeinsatz erfordert.

Demgegenüber ist für die solare Klärschlamm-trocknung ein minimaler Energieeinsatz kennzeichnend, da sie die kostenlose Sonnenenergie nutzt. Der Klärschlamm wird in Trocknungskammern eingebracht und verteilt. Die Bauhülle der Trocknungskammern ist wie eine Art Gewächshaus allseits geschlossen und wärmedämmend und transparent ausgeführt. Die Trocknung des Schlammes erfolgt unter einer kontrollierten Belüftung. Unabhängig von der Witterung kann hierdurch das natürliche Trocknungspotenzial der Umgebungsluft ausgenutzt werden. Zusätzlich kann beispielsweise Abwärme des BHKW in den Wintermonaten eingebunden werden, um den Trocknungsprozess zu intensivieren. Für einen effizienten Trocknungsprozess und zur Vermeidung von Geruchsbildung wird der Schlamm in bestimmten Zeitintervallen automatisch gewendet. Ist der gewünschte Trocknungsgrad erreicht, wird der Klärschlamm entnommen und der Verwertung zugeführt.

Die Technologie wurde bereits zahlreich in Ausbaugrößen zwischen 1.000 und 300.000 Einwohnerwerten realisiert. Auf der Kläranlage Füssen (70.000 EW) wurde beispielsweise eine solare Trocknungsanlage mit Abwärmenutzung von einem BHKW realisiert. Um vorentwässerten Schlamm mit einem TS-Gehalt von ca. 28 % auf einen TS-Gehalt von 75 - 95 % zu trocknen, ist eine Trocknungsfläche von 2.000 m² (4 Trocknungskammern mit jeweils 10 x 50 m) erforderlich. Alternativ werden mittlerweile auch solare konvektive Trocknungsanlagen angeboten, die wesentlich kompakter sind und somit einen geringeren Flächenbedarf haben.

5 Folgen und Chancen der verstärkten anaeroben Behandlung

Bei der Überlegung, die Möglichkeiten der anaeroben Behandlung stärker zu nutzen, müssen die Folgen aber auch Chancen für den Kläranlagenbetrieb beachtet werden. In diesem Zusammenhang ist insbesondere eine Erhöhung der Stickstofffracht durch Co-Substrate oder Konzentrate zu nennen, die mit dem Trübwasser zur aeroben Abwasserbehandlung abgeleitet werden müssen. Auch die Desintegration führt in der Regel zu einer Erhöhung der NH₄-Konzentration im Trübwasser /4/. Die gesamte Stickstofffracht, die zur biologischen Behandlung abgeleitet wird, wird je nach Randbedingungen schon heute zu 10 – 25 % vom Trübwasser verursacht /6/. Daher bietet

sich eine Teilstrombehandlung zur Ammonium-Entfernung an. Verfahren, die in der Praxis schon realisiert wurden, sind

- Strippung (Dampf oder Luft),
- MAP-Fällung und
- Katalytische Oxidation.

Wird das Trübwasser mit Dampf gestrippt, erhält man in der nachgeschalteten Kondensation Ammoniakwasser, dass als Düngemittel oder möglicherweise auch zur Reduktion von NO_x in Verbrennungsanlagen eingesetzt werden kann. Bei der Strippung mit Luft wird anschließend das Ammoniak mit Säure (H_2SO_4 oder HNO_3) absorbiert. In **Abbildung 3** ist die Strippanlage des Klärwerkes Straubing dargestellt.

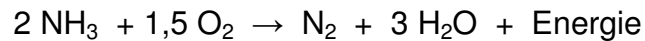


Abbildung 3: Strippung / saure Wäsche am Beispiel des Klärwerkes der Stadt Straubing

Die anfallende Ammoniumsulfatlösung kann in unterschiedlichen Industriebereichen (Lederindustrie, Holzverarbeitung, Landwirtschaft) eingesetzt werden.

Bei der MAP-Fällung wird Ammoniak mit Phosphat und Magnesium gefällt. Die Einsetzbarkeit aller genannten Verfahren hängt stark von der Vermarktung der anfallenden Produkte ab.

Im Gegensatz zu den Verfahren zur Stickstoffausschleusung fällt bei der Katalytischen Oxidation das zu eliminierende Ammonium nicht als Reststoff an. Für den Einsatz der Katalytischen Oxidation muss das im Filtratwasser enthaltene Ammonium zunächst mittels Strippung in Ammoniakgas überführt werden [7]. Anschließend wird das ammoniakbeladene Strippgas vorerwärmt und mit Hilfe eines Katalysators bei etwa 400°C gemäß nachfolgender Reaktionsgleichung zu elementarem Stickstoff und Wasser oxidiert:



Der zur Oxidation benötigte Sauerstoff wird durch Luftzufuhr bereit gestellt. Nach der Kühlung verlassen die entstehenden Wasser- und Stickstoffteilchen als Abluft die Anlage, wobei die Grenzwerte der TA Luft eingehalten werden können. Der als Abluft abgeführte Luftstrom entspricht dem an Frischluft zugeführten Massenstrom. Der verbleibende Teilstrom kehrt als Strippgas in die Strippkolonne zurück. In **Abbildung 4** ist das Verfahrensschema dargestellt.

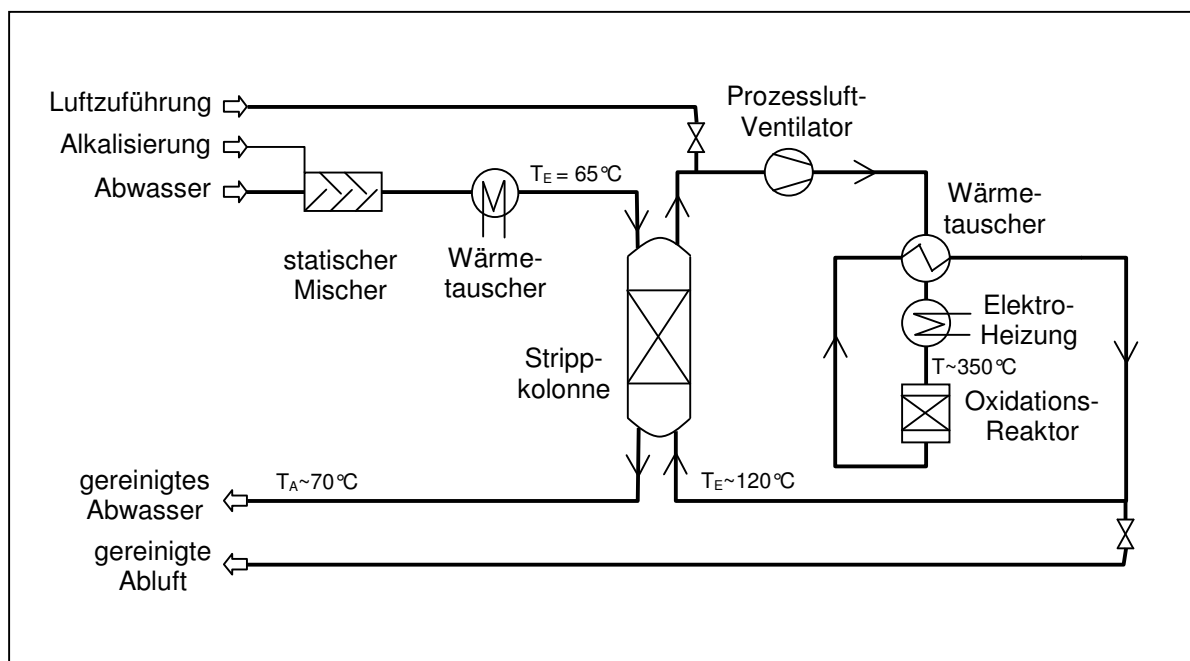


Abbildung 4: Verfahrensschema der Katalytischen Oxidation

Durch die bei der Oxidation freiwerdende Energie ist bei hohen Ammoniak-Konzentrationen ein autothermer Betrieb der Anlage möglich, so dass lediglich beim Anfahren der Anlage die erforderliche Betriebstemperatur über eine externe Energiequelle bereitzustellen ist. Bei zu geringen Ammoniak-Konzentrationen reicht die freiwerdende Energie zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur jedoch nicht aus, so dass eine Stützfeuerung erforderlich ist. Dies ist gleichzeitig mit einer Erhöhung der Betriebskosten verbunden.

Im Rahmen der möglicherweise erforderlichen Teilstrombehandlung zur Stickstoffrückgewinnung sollten jedoch auch die Chancen zur P-Rückgewinnung diskutiert werden. Angesichts der Tatsache, dass die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung immer stärker rückläufig ist, entfällt mehr und mehr auch die Rückführung des Phosphors in den Nährstoffkreislauf. Ein Ausgleich kann aus Sicht der Landwirtschaft nur durch Aufbringung von Phosphat-Düngern erreicht werden. Während Stickstoffdünger seit der technischen Realisierung der Ammoniak-Synthese durch Haber und

Bosch im Jahre 1913 nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen, muss Phosphor aus Lagerstätten abgebaut werden, deren Kapazitäten jedoch begrenzt sind.

Es stellt sich daher die Frage, ob eine Rückgewinnung des Phosphors aus dem Abwasser oder Klärschlamm technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Diese Rückgewinnung böte die Möglichkeit, den Phosphorgehalt des Klärschlammes zu nutzen, ohne die Lebensmittelproduktion mit seinem Schadstoffgehalt zu belasten.

Im Rahmen des UBA/BMU-Workshops am 28./29.9.2004 hat Krampe bezogen auf die verschiedenen Stoffströme die jeweiligen Rückgewinnungspotenziale überschlägig bilanziert /8/. Er kommt zu dem Schluss, dass mit ca. 40.000 t P/a die Stoffströme 4, 5 und 6 in der **Abbildung 5**, die größten Rückgewinnungspotenziale besitzen. Die Fa. Seaborne betreibt in Owschlag eine erste Pilotanlage, die an dem Stoffstrom 4 ansetzt.

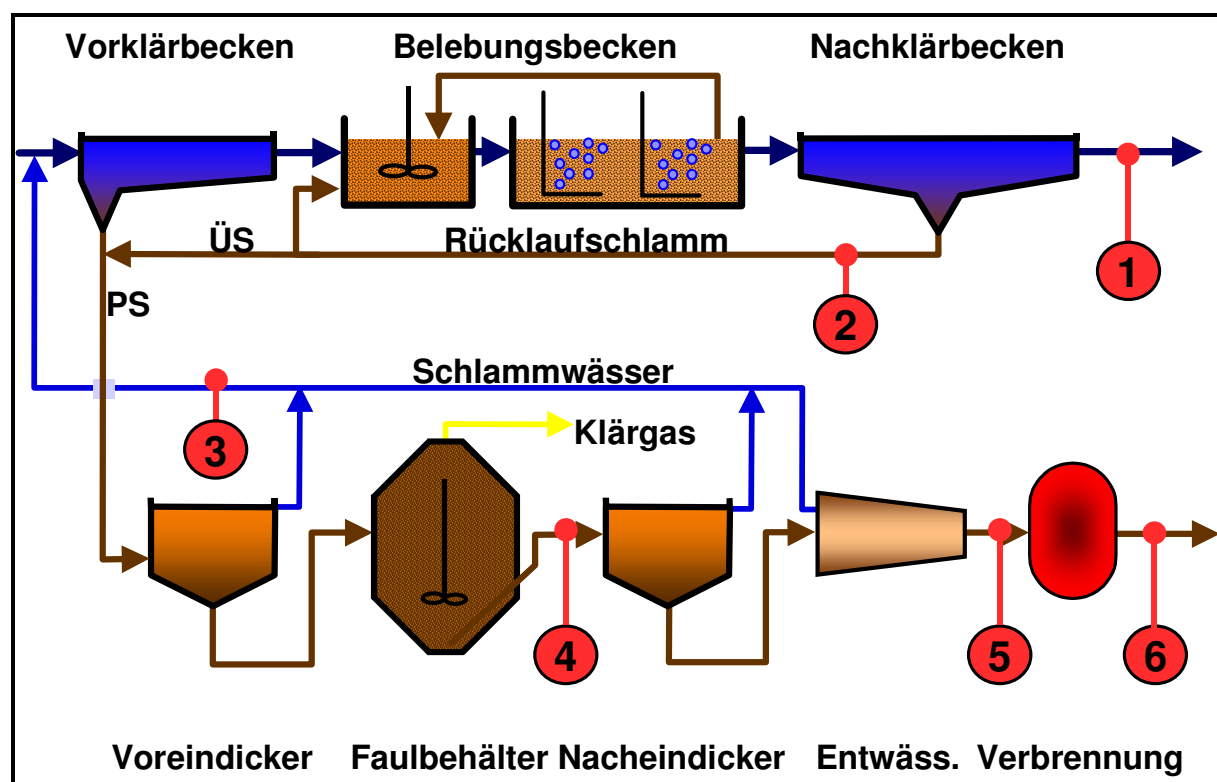


Abbildung 5: Ansatzpunkte zur P-Rückgewinnung

Beim Verfahren von Seaborne wird der Faulschlamm mit Schwefelsäure versetzt, wobei u.a. die Schwermetalle und der Phosphor extrahiert werden. Anschließend erfolgt eine Abtrennung der Flüssigphase von der verbleibenden Schlammphase. In der Flüssigphase werden die Metalle als Sulfide abgetrennt. Anschließend erfolgt die

Rückgewinnung des Phosphors durch Fällung (z.B. MAP-Fällung). Eine großtechnische Anlage wird derzeit auf der Kläranlage Gifhorn errichtet.

6 Schlussfolgerungen

Alle im Rahmen dieses Vortrages genannten Teilaspekte über die neue Nutzungen und Entwicklungsmöglichkeiten für vorhandene Kläranlagenstrukturen sind in **Abbildung 6** als Gesamtkonzept schematisch dargestellt. Kernstück des Konzeptes ist die Aufwertung der anaeroben Behandlung durch die Vergärung von Abwasserkonzentraten und Bioabfällen. Darüber hinaus kann der Klärschlammaufschluss zu einer weiteren Steigerung der Faulgasausbeute beitragen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Verbrennung der anfallenden Klärschlämme sind auch die erforderlichen Faulzeiten zu diskutieren, wenn die Kriterien Stabilisierung und Entkeimung entfallen. Während z.B. Fette innerhalb weniger Stunden ihre Gasproduktion abgeschlossen haben, müssen bei unaufgeschlossenen Überschussschlämmen bis zu 10 Tage angesetzt werden. Eine weitere Faulzeitverkürzung kann durch den Aufschluss von Klärschlamm erreicht werden.

Mit der Stärkung der anaeroben Behandlung erhöhen sich auch die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Faulschlamm. Damit steigen jedoch auch die Chancen einer möglichst hohen Rückgewinnungsrate sowie u.U. auch der Wirtschaftlichkeit für eine Rückgewinnung.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die hier kurz vorgestellten Einzelaspekte schon seit längerem in der Fachwelt diskutiert und zum Teil auf Kläranlagen praktiziert werden. Es wurde im Rahmen dieses Vortrages der Versuch unternommen, die verschiedenen Einzelmaßnahmen zu einem Gesamtkonzept zusammenzufassen und die Auswirkungen und Chancen der Maßnahmen darzustellen. Mit diesem Gesamtkonzept, das sicherlich noch zu diskutieren ist, ist es jedoch möglich, bestimmte Prioritäten von Seiten der Fachausschüsse bzw. des Gesetzgebers zu setzen. Hierzu gehören im Einzelnen:

1. Bemessung der erforderlichen Faulzeit im Abhängigkeit von der Verwertung des Klärschlammes
2. Generelle Ausstattung der Kläranlagen mit Faulraum und BHKW ab einer bestimmten Auslastung (z.B. 30.000 EW),
3. Öffnung der Faulräume auch für vergärbare Abfälle, die nicht als Bioabfälle eingestuft werden, sofern am Ende die Klärschlammverbrennung steht
4. Festschreibung eines Prüfauftrages zur Minimierung der Klärschlammmenge als allgemeine Anforderung in Anhang 1 (Realisierung der Minimierung z.B. durch Klärschlammaufschluss, Ultrafiltration, solare Trocknung)

5. Novellierung verschiedener Anhänge, z.B. der Lebensmittelindustrie, im Sinne der Aufkonzentrierung der Schadstofffrachten ggf. mit Kreislaufschließung
6. Einführung von Energiekennzahlen, z.B. in kWh/m³ oder kWh/CSB_{abg}.

7 Literatur

- /1/ Handbuch „Energie in Kläranlagen“. Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, 1999.
- /2/ Schmelz, K.-G.: Erfahrungen bei der Co-Vergärung von Klärschlamm und Bioabfällen. Abwasser Abfall, Nr. 6 (2003), S. 765 - 773
- /3/ Müller, J.; Dichtl, D.; Schwedes, J.: Klärschlammintegration. Fachtagung am 10./11.3.1998 in Braunschweig. Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig, Heft 61
- /4/ Eder, B.; Günthert, F.: Klärschlammminimierung durch Zellaufschluss mit Ultraschall. Korrespondenz Abwasser Nr. 3, 2003, S. 333 - 342
- /5/ Köppke, K.-E.; Nacke, O.: Halbtechnische Untersuchungen zur thermischen Klärschlammintegration zur Steigerung der Faulgasausbeute sowie der Schlammengenreduzierung“. BMBF-Forschungsvorhaben Nr. 02 WS 9960/8, März 2002
- /6/ Gruteser, K.; Feldmann, U.; Herzog, U.: Betriebsergebnisse bei der biologischen Behandlung von Prozesswässern mit kombinierter Luft-Reinsauerstoffversorgung. In: Stickstoffrückbelastung. Erweiterter Tagungsband zur 3. Aachener Tagung, 1998
- /7/ Korherr, U. et al.: Reinigung von ammoniumbelasteten Abwasserteilströmen. Entsorgungspraxis, Febr. 1996
- /8/ Krampe, J.: Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser – Potenziale und Verfahren. Vortrag im Rahmen des BMU/UBA-Workshops am 28./29.9.2004 in Bonn.

Autor:

Dr. K.-E. Köppke
Ing.-Büro Dr. Köppke
Elisabethstr. 31
32545 Bad Oeynhausen
Tel.: 05731/26111

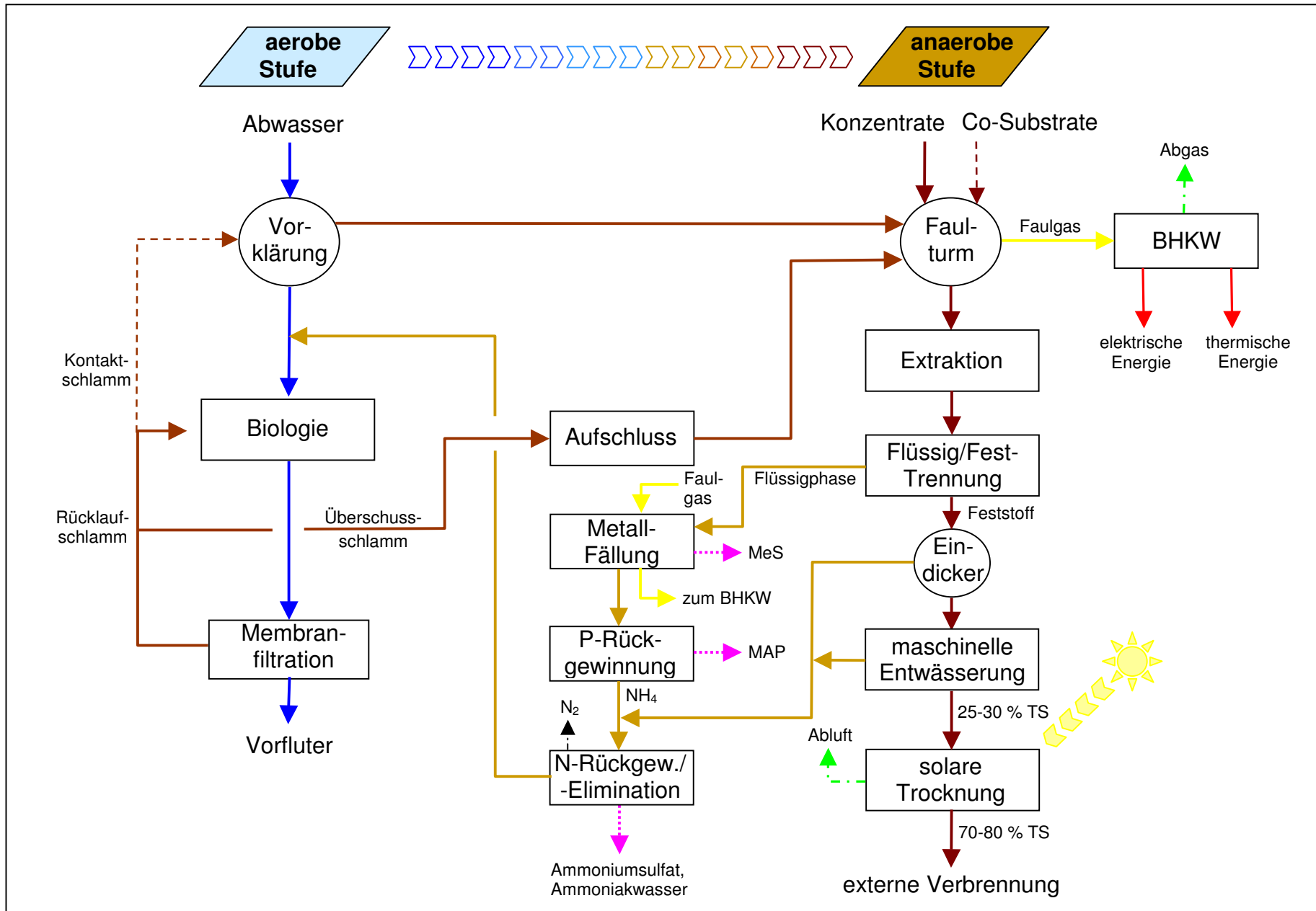


Abbildung 6: Mögliche Struktur einer zukünftigen Kläranlage