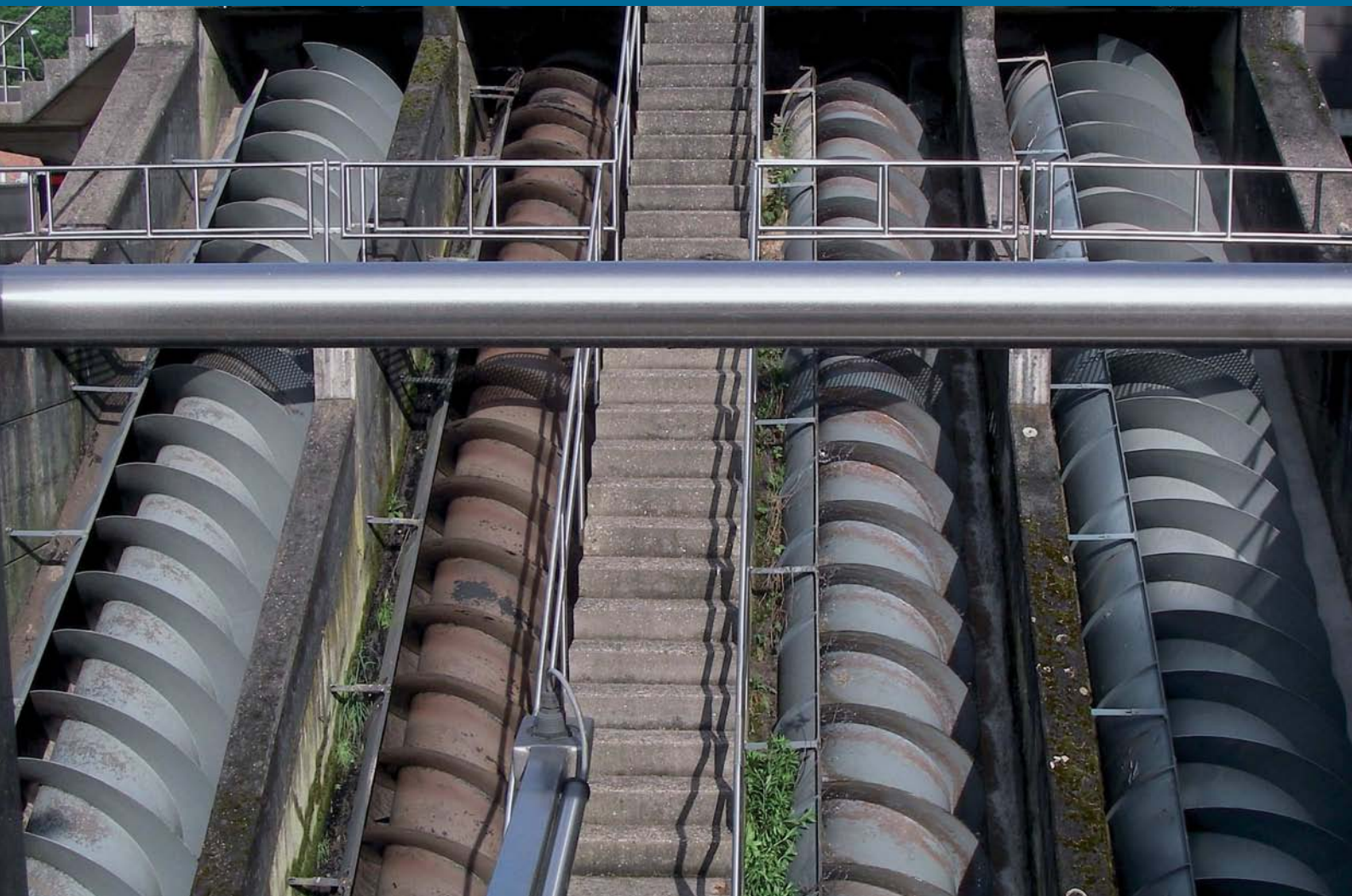




Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft

Steigerung der Energieeffizienz
von Abwasseranlagen

Impressum

Herausgeber:

Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 1, 55116 Mainz, www.mufv.rlp.de

Bearbeitung:



tectraa-Zentrum für innovative Abwassertechnologien an der TU Kaiserslautern,
Dr.-Ing. Joachim Hansen, Dipl.-Ing. Kai Wu
Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, <http://tectraa.arubi.uni-kl.de>

WiW

Wupperverbandsgesellschaft für
integrale Wasserwirtschaft mbH



WiW – Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH
Dr.-Ing. Gerd Kolisch, Dr.-Ing. Inka Hobus, Dipl.-Ing. Gitta Schirmer
Untere Lichtenplatzer Straße 100, 42289 Wuppertal, www.wiwmbh.de

Gestaltung:

www.wiwmbh.de

Gestaltungskonzept:

www.ansicht.com

Abbildungen:

WiWmbH, Wupperverband, www.ccvision.de, Dillig Ingenieure (S. 10),
Wirtschaftsbetrieb Mainz (S. 15), Entsorgungsbetriebe Speyer (S. 20),

Druck:

Limberg Druck GmbH, 42853 Remscheid

Oktober 2007



Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft

Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen

Inhalt

Vorwort	6
1 Hintergrund, Zielsetzung und weitere Projekte	8
2 Ausgangssituation in Rheinland-Pfalz	
2.1 Stand der Abwasserbehandlung	12
2.2 Energetische Situation der Anlagen in Rheinland-Pfalz und bundesweit	13
2.3 Belastungssituation "Weinkampagne"	14
3 Durchführung von Energieanalysen	
3.1 Zielstellung der Energieoptimierung	16
3.2 Bestandteile der Energieanalyse	16
3.3 Verbrauchsoptimierung und Effizienzsteigerung	17
3.4 Bearbeitungsaufwand und Ergebnis	19
4 Ergebnisse von Referenzanlagen in Rheinland-Pfalz	
4.1 Auswahl der Anlagen	20
4.2 Beschreibung der Anlagen	
Kläranlage Speyer	22
Kläranlage Bad Ems	24
Kläranlage Billigheim	26
Kläranlage Fischbachtal	28
4.3 Energetische Bewertung des IST-Zustandes	30
4.4 Beispiele für Optimierungsmaßnahmen	32
4.5 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	40
4.6 Energienachweis nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen	42

5	Optimierungspotenzial in Rheinland-Pfalz	
5.1	Darstellung des energetischen IST-Zustandes	44
5.2	Abschätzung des energetischen Optimierungspotenzials	45
5.3	Umsetzung von Beispielmaßnahmen	45
5.4	Erhöhung der Eigenstromerzeugung	47
5.5	Energiemehrbedarf durch Einsatz weitergehender Reinigungsverfahren	48
5.6	Fazit	49
6	Energiebezug und -einspeisung	
6.1	Prüfen des Stromliefervertrages	50
6.2	Vergleichmäßigung des Leistungsbezugs	51
6.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	52
6.4	Contracting	53
7	Zusammenfassung und Ausblick	54
8	Anhang	56
9	Literatur	58



Klimaschutz und Energiesicherung gehören zu den globalen ökologischen, sozialen und ökonomischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Wir müssen zur Lösung der damit verbundenen Fragen energiesparende Verfahren entwickeln, neue Energiequellen erschließen und damit die Rohstofffrage dauerhaft lösen sowie gleichzeitig die CO₂-Einträge in die Atmosphäre deutlich reduzieren.

Eine dritte zentrale Herausforderung in Rheinland-Pfalz wie auch im übrigen Deutschland ist die demografische Entwicklung. Eng damit verbunden ist die soziale Frage, wie Infrastrukturen zu sozialverträglichen Gebühren bei der schrumpfenden Bevölkerungszahl dauerhaft aufrecht erhalten werden können. Hier ist es erforderlich, frühzeitig zu handeln. Investitionen sind demografiefest auszuführen.

Unser Projekt „Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen“, welches ich in Auftrag gegeben habe, greift die genannten Herausforderungen auf.

Unter Mitwirkung der TU Kaiserslautern und der Wuppertalgesellschaft mbH wurden Energieanalysen an ausgewählten rheinland-pfälzischen Kläranlagen durchgeführt. Es wurde die derzeitige Situation in Rheinland-Pfalz untersucht und das aktuelle energetische Einsparpotenzial abgeschätzt. Die Machbarkeit und die Übertragbarkeit auf weitere Kläranlagen wurden herausgearbeitet.

Die Antworten der genannten Herausforderungen heißen für den Bereich der Energieoptimierung von Abwasseranlagen im Ergebnis:

- Es gibt ein Energieeinsparpotenzial von mindestens 30 %. Hinzu kommen Möglichkeiten der Energieerzeugung.
- Die rheinland-pfälzischen Bürgerinnen und Bürger können um 8 Millionen Euro und mehr im Jahr entlastet werden.
- Zur Nutzung der Potenziale ist Innovation sowie ein ökoeffizienter Umgang mit Klärschlamm und Klärgas erforderlich.

Die Darstellung konkreter Umsetzungsmaßnahmen wird bei den Betreibern der rheinland-pfälzischen Kläranlagen dazu beitragen, den Focus noch stärker auf die Energieeffizienz ihrer Anlagen zu richten. Die kommunalen Gebietskörperschaften sind zum Beispiel in dem anlaufenden Prozess-Benchmarking gefordert, die bestehenden Potenziale gezielt zu ermitteln und in der Folge zu nutzen. Ziel ist auch, auf dem Weg zur energieautarken Kläranlage möglichst weit voran zu kommen.

Margit Conrad

Ministerin für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Grußwort der Unterstützer

DWA-Landesverband Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland, Gemeinde- und Städtebund Rheinland-Pfalz, Städtetag Rheinland-Pfalz und Ingenieurkammer Rheinland-Pfalz unterstützen gerne die Aktivitäten zur Ökoefizienz in der Wasserwirtschaft.

Die jährlichen Leistungsvergleiche der Kläranlagen in Deutschland zeigen für Rheinland-Pfalz sehr gute Ergebnisse bei den Ablaufwerten der Kläranlagen und geringe Belastungen der Gewässer. Anlagentechnik und Betriebsführung haben ein hohes Niveau erreicht. Dessen ungeachtet erfordern Abwasserableitung, -behandlung und -reinigung einen hohen Energieaufwand, was nicht nur CO₂-Ausstoß bedingt, sondern auch er-

hebliche Betriebskosten verursacht. Im Jahr 1999 fanden erste gemeinsame Veranstaltungen zum Thema „Die energieeffiziente Kläranlage“ statt. Heute – 8 Jahre später – ist es an der Zeit, die weiteren notwendigen Betriebsoptimierungen in energetischer Hinsicht anzugehen.

Dabei begrüßen wir besonders, dass den Kläranlagenbetreibern praxisnahe Arbeitshilfen mit konkreten Umsetzungsvorschlägen und -maßnahmen zur Verfügung gestellt werden sollen. Wir wünschen uns gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz einen guten Erfolg für das Projekt und sagen gerne zu, dazu im Rahmen unserer eigenen Angebote in unseren jeweiligen Mitgliedsbereichen nach Kräften beizutragen.

Städtetag Rheinland-Pfalz

Gemeinde- und Städtebund Rheinland-Pfalz

DWA-Landesverband Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland

Ingenieurkammer des Landes Rheinland-Pfalz

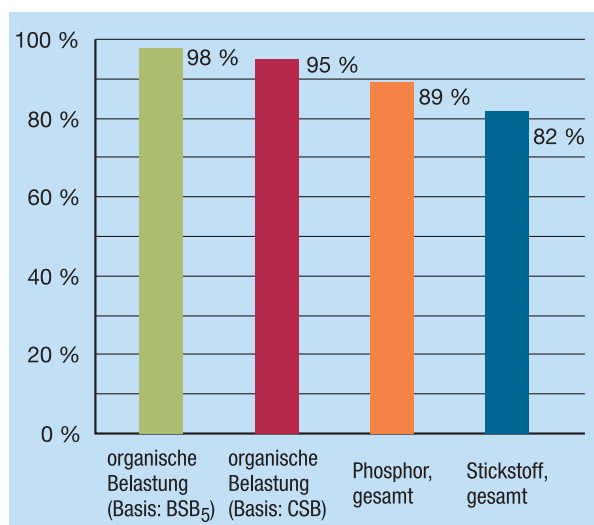
Ökoeffizienz in der Abwasserwirtschaft Projekte des Landes Rheinland-Pfalz

Die Abwasserwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz hat insgesamt betrachtet ein sehr hohes Niveau erreicht. In den letzten 40 Jahren wurden in Rheinland-Pfalz im Verantwortungsbereich der Kommunen etwa 8 Milliarden Euro Investitionen für den Gewässerschutz getätigt. Im gewerblich-industriellen Bereich erfolgten Investitionen in der gleichen Größenordnung.

Der Ausbau der Kläranlagen, die erforderlichen Erweiterungen und somit auch der Anschlussgrad der Bevölkerung sind weit fortgeschritten. In Rheinland-Pfalz sind 750 kommunale Kläranlagen in Betrieb.

Über 98 % der Einwohner sind an Kanalisationen und an öffentliche leistungsfähige Kläranlagen angeschlossen. Die Reinigungsleistung der Kläranlagen liegt hinsichtlich der organischen Belastung bei 98 % (BSB₅).

Auch was die Nährstoffe, die zur Algenentwicklung führen können, anbelangt, ist mit einer landesweit durchschnittlichen Reduzierung von 89 % für den Parameter Phosphor und von 82 % für den Parameter Stickstoff eine deutliche und sehr erfreuliche Entwicklung zu verzeichnen. Die genannten Werte kann man praktisch nicht mehr überbieten.



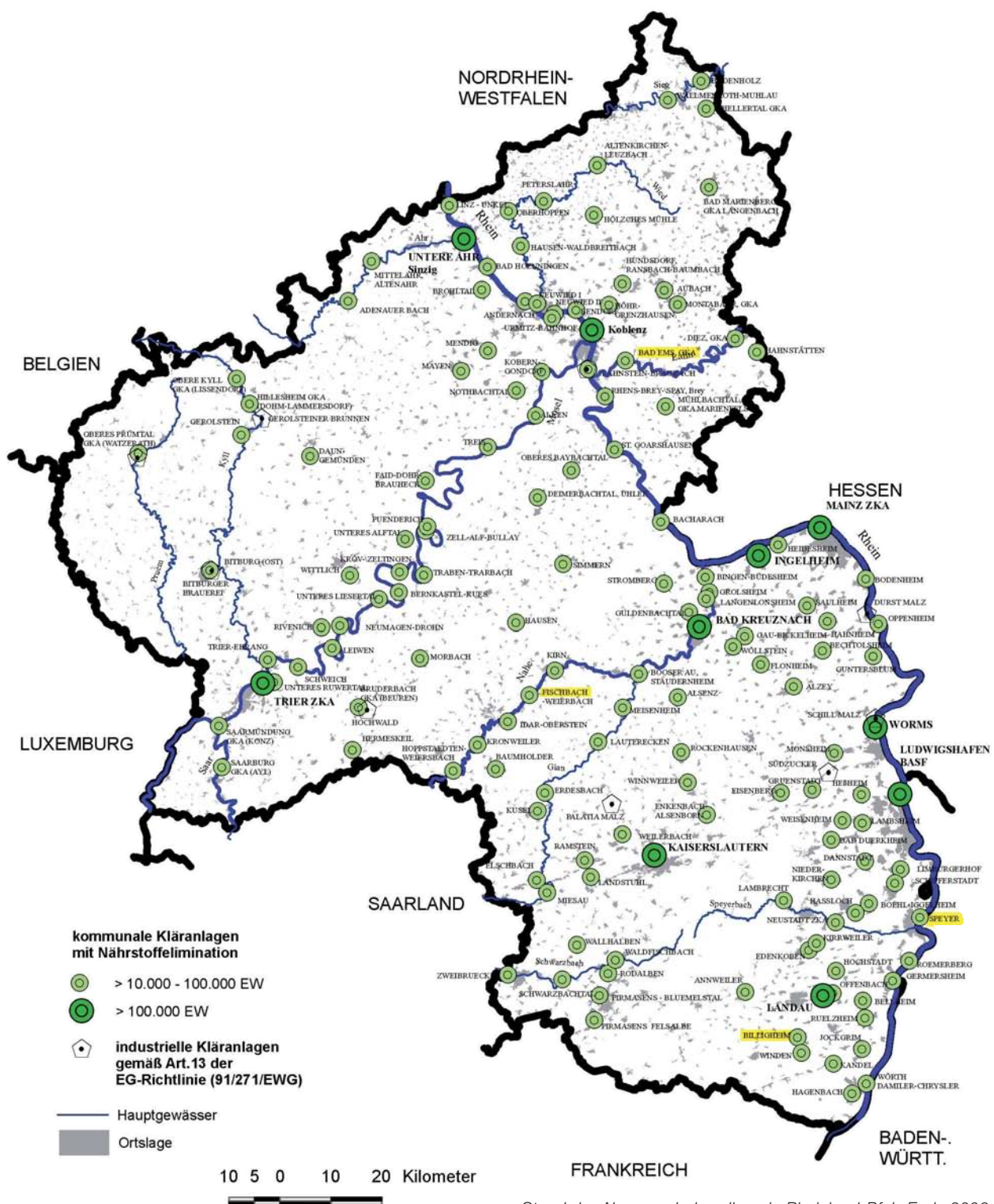
Reinigungsleistung der Kläranlagen ab 2.000 EW

Für Rheinland-Pfalz zeigt die aktuelle Gewässergütekarte für die Fließgewässer die zwischenzeitlich erreichten Erfolge auf. Über 90 % der Fließgewässer in Rheinland-Pfalz erreichen heute die Güteklasse 2 und besser, d. h. sie sind nicht, gering oder allenfalls mäßig belastet. Die gute Wasserqualität zeigt sich auch durch eine große Artenvielfalt bei Kleinlebewesen, Fischen und Pflanzen.

Was sind nun die anstehenden Aufgaben der Abwasserwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz?

Die Erstausrüstung mit Abwasseranlagen im ländlichen Raum ist unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklung zu komplettieren. Die Instandhaltung sowie die sukzessive Sanierung und Erneuerung von Anlagen sind weiterhin wichtige Daueraufgaben. Weiterer Schwerpunkt bildet die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Hierbei geht es auch um die Reduzierung der diffusen flächenhaften Gewässerbelastungen und die Verbesserung der Gewässerstrukturgüte. Für Abwassereinleitungen werden in dem einen oder anderen Fall Maßnahmen erforderlich werden, die in enger Partnerschaft insbesondere mit den Kommunen erarbeitet werden.

Das Land legt großen Wert darauf, dass nur Lösungen realisiert werden, die den örtlichen Verhältnissen Rechnung tragen. Sie müssen vor allem auch bei abnehmender Bevölkerungszahl bezahlbar sein. Um diesem Prinzip der Ökoeffizienz Rechnung zu tragen, hat das Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz (MUFV) zur Unterstützung der Kommunen bei der Optimierung ihrer abwassertechnischen Anlagen eine Vielzahl von Projekten durchgeführt bzw. gestartet, von denen in der Folge exemplarisch einige kurz skizziert werden.



1 Hintergrund, Zielsetzung und weitere Projekte

Das Benchmarking ist für die Kommunen ein gutes Instrument, durch den Vergleich mit anderen Gebietskörperschaften bestehende technische, strukturelle und andere Optimierungsmöglichkeiten zu erkennen. Deshalb hat das MUFV, unterstützt von den Kommunalen Spitzenverbänden im September 2005 eine Initiative für die kommunalen Unternehmen der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung gestartet. Die Ergebnisse des bundesweit größten Benchmarking-Projekts für diesen Bereich wurden am 30. Oktober 2006 in Mainz vorgestellt. Die Kommunen im Land sind dazu aufgefordert, die aufgezeigten Optimierungspotenziale zu nutzen und sich an dem anschließenden Prozessbenchmarking zu beteiligen. Hier werden einzelne Geschäftsprozesse detailliert untersucht, um Optimierungspotenziale aufzufinden. Energie ist dabei ein wichtiger Teilbereich. In die wasserwirtschaftlichen und wirtschaftlichen Betrachtungen ist auch die dezentrale Niederschlagswasserbewirtschaftung mit einzubeziehen. Dies bringt einen ökonomischen und ökologischen Gewinn. Weniger Abwasser und kurze Wege reduzieren die für den Bau sowie den Betrieb von Kanälen und Kläranlagen erforderlichen Kosten. Dies kommt den Gebühren und somit den Bürgerinnen und Bürgern zu Gute.



Das Land Rheinland-Pfalz hat dazu bereits frühzeitig die entsprechenden Vorgaben entwickelt. Im Jahr 1995 wurde der möglichst naturnahe Umgang mit dem Niederschlagswasser im Landeswassergesetz verankert. Die Thematik ist in der Broschüre „Naturnaher Umgang mit Niederschlagswasser – Konzeption und ausgeführte Beispiele“ umfassend dargestellt.

Die von einigen Bundesländern nun angestrebte Neuregelung dieses Bereiches durch einen Anhang Regenwasser zur Abwasserverordnung wird vom Land Rheinland-Pfalz zurückhaltend beurteilt. Die bestehenden rechtlichen Vorgaben des Landes Rheinland-Pfalz zum Umgang mit Niederschlagswasser werden in Verbindung mit den Regelwerken grundsätzlich als ausreichend erachtet. In begründeten Fällen kann es durch die Anwendung von Immissionsbetrachtungen zu weitergehenden Anforderungen kommen.



„Altbewährter“ Umgang
mit Niederschlagswasser,
Ortslage Kobscheid, VG Prüm

In dem Projekt „Handlungsempfehlungen für eine moderne Abwasserwirtschaft im ländlichen Raum“ werden von der Universität Kaiserslautern unter Einbindung des Know-hows der Wasserbehörden, der Kläranlagenbetreiber und der Fachverbände die rheinland-pfälzischen Erfahrungen mit innovativen und bewährten Techniken der Abwasserbehandlung bzw. -ableitung sowie der Entwässerungsstrukturen (zentral, dezentral, semi-dezentral) zusammengetragen. Die gesammelten und bewerteten Informationen werden den Kläranlagenbetreibern und ihren Planern in 2008 als Hilfestellung für ihre weitere Tätigkeit zu Verfügung gestellt.

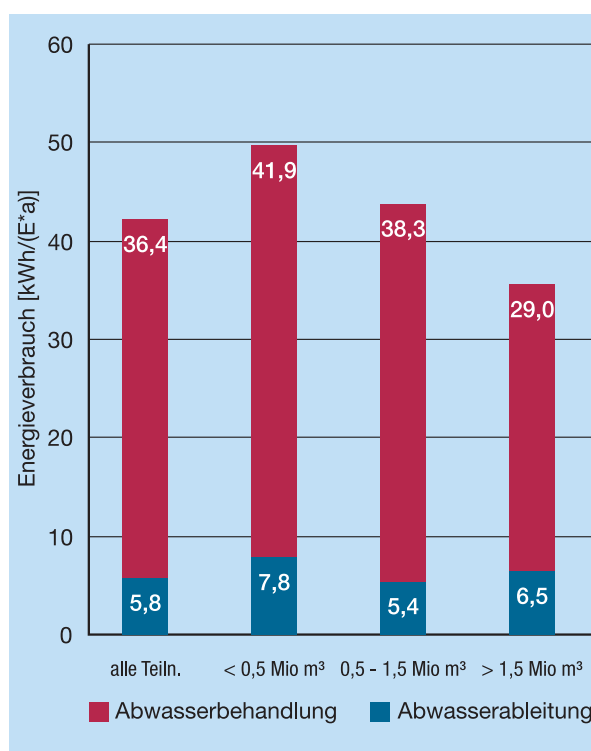
Die Landesregierung hat auch ein Projekt gestartet, innerhalb dessen als Alternative zu der herkömmlichen Vermischung der Abwasserteilströme (Gelb- / Schwarz- und Grauwasser) es darum geht, diese möglichst getrennt zu halten und die Möglichkeiten einer getrennten Verwertung und Beseitigung zu nutzen. Die Möglichkeiten und die Grenzen einer getrennten Behandlung der unterschiedlichen Abwasserströme werden herausgearbeitet, um dieses Wissen auch vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung zur Optimierung der Systeme zu nutzen. Das in Rheinland-Pfalz vorhandene Potenzial wird ermittelt und die Auswirkungen auf die bestehenden Systeme werden untersucht. Es geht im Wesentlichen um die Entwicklung neuer dezentraler Konzeptionen der Abwasserentsorgung durch eine geeignete Kombination von innovativen Techniken.

Weitere Projekte zur Optimierung von Abwasseranlagen sind „Zerberus“ zur Bläh- und Schwimmschlammproblematik und „Epikur“ zur Optimierung des Zusammenwirkens von Kläranlage und Kanalisation. Auch die Weiterentwicklung der Membrantechnik wird vom Land unterstützt und fachlich begleitet.

Informationen zu den abgeschlossenen Projekten können der Internetseite www.wasser.rlp.de (auch → *Wasser schützen nutzen* → *Abwasser*) entnommen werden.

Als wichtiges Thema steht die Energieeffizienz auf der aktuellen Agenda. Erste unternehmensbezogene Auswertungen innerhalb des Benchmarking-Projektes hatten die These unterstützt, dass in diesem Bereich trotz der bereits erzielten Erfolge noch beträchtliche Einsparpotenziale vorhanden sind

Vor diesem Hintergrund hat das MUFV neben anderen Maßnahmen das Projekt „Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen“ gestartet. Es werden die Übertragbarkeit und Umsetzungsmöglichkeit für Energieeinspar- bzw. -nutzungsmaßnahmen auf Kläranlagen untersucht. Die Ergebnisse dieses Projektes werden nachfolgend dargestellt.



Energieverbrauch Abwasserbehandlung [kWh/(E*a)], aus Unternehmensbenchmarking 2005/2006

2 Ausgangssituation in Rheinland-Pfalz

2.1 Stand der Abwasserbehandlung

Im Jahr 2007 werden in Rheinland-Pfalz ca. 750 kommunale Kläranlagen mit einer Gesamtausbaugröße von etwa 7,175 Mio. Einwohnerwerten betrieben.

Ca. 80 % aller Anlagen gehören den Größenklassen 1 bis 3 an. Nur ca. 17 % der angeschlossenen Einwohnerwerte werden jedoch in den Anlagen dieser Größenklassen behandelt. Diese Verteilung ist eine Folge der Struktur des Landes Rheinland-Pfalz mit zumeist ländlicher Charakteristik und einigen wenigen Ballungsräumen.

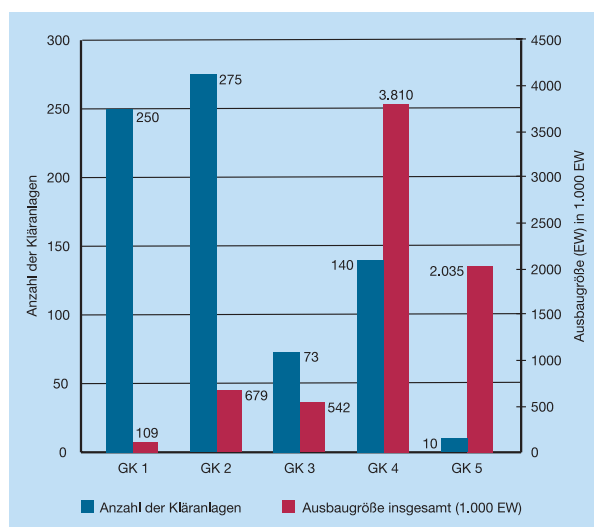
Bei den vorhandenen Anlagentypen spiegelt sich die gesamte mögliche Palette der Behandlungsverfahren wider: insbesondere in den Größenklassen 1 und 2 finden sich einige wenige mechanische Anlagen, (belüftete und unbelüftete) Abwasserteichanlagen, Pflanzenkläranlagen, Tauchkörperanlagen sowie eine recht große Zahl von Belebungsanlagen und Tropfkörperanlagen. In den Größenklassen 3 bis 5 sind bis auf wenige Ausnahmen Belebungsanlagen, die sowohl nach dem Durchlauf- als auch dem Batchprinzip betrieben werden.

Insgesamt sind rund 95 % aller EW an Belebungsanlagen bzw. Varianten des Belebungsverfahrens angeschlossen.

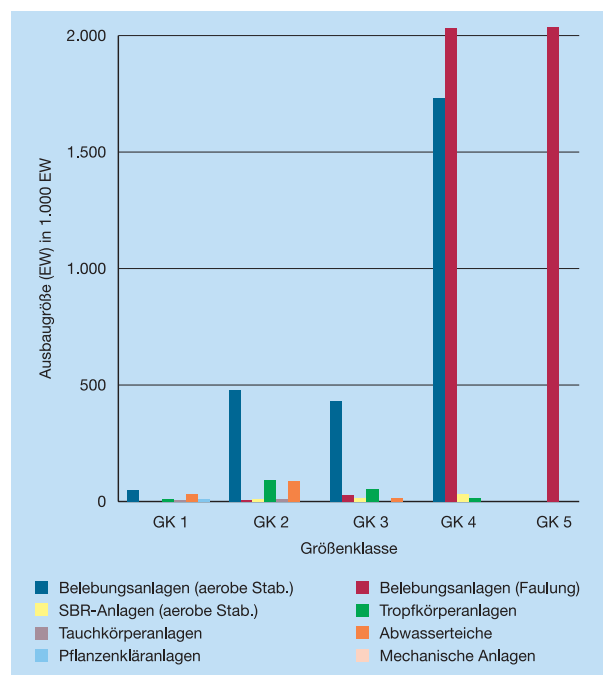
Insbesondere in den Größenklassen 2 bis 4 finden sich eine große Zahl von Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung (223 Anlagen), an die rund 2,5 Mio. EW angeschlossen sind. Anlagen mit Faulung finden sich fast ausschließlich in den Größenklassen 4 und 5 (62 Anlagen), an die rund 3,7 Mio. EW angeschlossen sind.

Nach Lagebericht 2006 (MUFV, 2007) erfolgt bei ca. 91 % der angeschlossenen EW in den rheinland-pfälzischen Kläranlagen eine Stickstoffentfernung durch Nitrifikation/Denitrifikation; eine gezielte Phosphorelimination ist bei rund 89 % der angeschlossenen EW gegeben.

Sowohl von der Verteilung der Anlagen auf die einzelnen Größenklassen als auch den Stand der Abwasserbehandlung (insbesondere der Nährstoffelimination) unterscheidet sich die Situation in Rheinland-Pfalz nicht gravierend von der Situation bundesweit; bundesweit sind allerdings prozentual mehr EW an Anlagen der Größenklasse 5 angeschlossen.



Anzahl der Kläranlagen in Abhängigkeit von der Größenklasse in Rheinland-Pfalz



Verteilung der Ausbaupazität verschiedener Anlagentypen auf Größenklassen

2.2 Energetische Situation der Anlagen in Rheinland-Pfalz und bundesweit

Zur Einordnung der aktuellen energetischen Situation in Rheinland-Pfalz finden sich bislang nur wenige brauchbare Aussagen.

In dem Projekt "Benchmarking Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz" (MUFV, 2006) wurde im Rahmen einer Umfrage der Energieverbrauch für die Abwasserentsorgung erhoben. Hierbei wurde der Verbrauch jedoch nicht anlagenspezifisch, sondern unternehmensbezogen, d. h. für das gesamte kommunale Unternehmen der Abwasserbeseitigung, abgefragt.

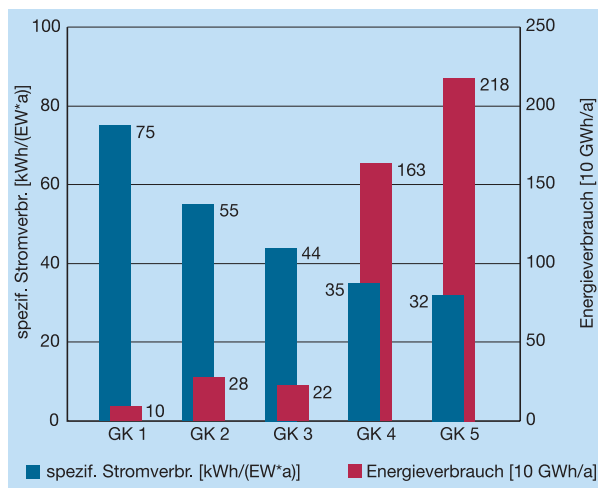
Mit den erhobenen Daten erfolgte eine Einordnung in drei Cluster. Die wesentlichen Ergebnisse können hierbei wie folgt zusammengefasst werden:

- **Unternehmen mit < 15.000 EW**
 - Medianwert Abwasserbehandlung 41,9 kWh/(E*a)
 - Medianwert Abwasserableitung 7,8 kWh/(E*a)
- **Unternehmen 15.000 bis 30.000 EW**
 - Medianwert Abwasserbehandlung 38,3 kWh/(E*a)
 - Medianwert Abwasserableitung 5,4 kWh/(E*a)
- **Unternehmen mit > 30.000 EW**
 - Medianwert Abwasserbehandlung 29 kWh/(E*a)
 - Medianwert Abwasserableitung 6,5 kWh/(E*a)

Hiermit ergibt sich für alle Teilnehmer ein Medianwert von 36,4 kWh/(E*a) für die Abwasserbehandlung und 5,8 kWh/(E*a) für den Bereich Abwasserableitung.

Im Rahmen einer Untersuchung, die die Arbeitsgemeinschaft iat (iat, 2006) im Auftrag des Bundesumweltsamtes durchgeführt hat, wurden die absoluten und spezifischen Verbräuche der Abwasserbehandlungsanlagen bundesweit abgeschätzt.

Hierbei zeigte sich, dass der spezifische Energieverbrauch der Anlagen zwischen 75 kWh/(E*a) für Anlagen der Größenklasse 1 bis zu 32 kWh/(E*a) für Anlagen der Größenklasse 5 liegt. Wesentlich für den Gesamtverbrauch sind insbesondere die Anlagen der Größenklassen 4 und 5, die zu mehr als 75 % zum Gesamtverbrauch beitragen.



Spezifischer Stromverbrauch und Gesamtenergieverbrauch für Anlagen der Größenklasse 1 bis 5 in Deutschland (iat, 2006)

2.3 Belastungssituation "Weinkampagne"



In Rheinland-Pfalz liegen mehr als 60 % der gesamten Rebflächen Deutschlands. Die Abwässer der Weinbau treibenden Gemeinden werden dabei in rund 80 kommunalen Kläranlagen gereinigt. Aufgrund der Betriebsstruktur in Rheinland-Pfalz mit einer großen Zahl von Kleinbetrieben ist eine innerbetriebliche Vorbehandlung der anfallenden Abwässer nur sehr eingeschränkt möglich. Dies ist der Grund, warum in Rheinland-Pfalz im Gegensatz zu anderen Weinbau treibenden (Bundes-) Ländern die saisonale Belastung der kommunalen Kläranlagen besonders ausgeprägt ist (Zettl, 2001).

Charakteristisch für die Belastung während der Weinbaukampagne ist der (teilweise sprunghafte) Anstieg der BSB- und CSB-Frachten im Zulauf der Anlage bei nahezu unveränderten Nährstofffrachten. Dies führt dazu, dass Stickstoff- und Phosphorverbindungen als Minimumfaktoren vorliegen; dies kann sich limitierend auf die Reinigungsprozesse auswirken. Auf einigen Kläranlagen werden Nährstoffe gezielt während der Kampagne zudosiert.

Bei ausgeprägter Kampagnebelastung müssen die Stickstoff- und Phosphorverbindungen nicht wie sonst üblich

über Nitrifikation/Denitrifikation bzw. gezielte Phosphorelimination abgebaut werden, sondern die Nährstoffe werden über den Baustoffwechsel vollständig in den Belebtschlamm eingebaut. Dies führt dazu, dass die Mehrzahl der kampagnebeeinflussten Kläranlagen während der Weinbaukampagne niedrige Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Ablauf aufweisen, während die CSB-Konzentrationen häufig erhöht sind.

Ein weiteres Charakteristikum bei zahlreichen Anlagen ist die Verschlechterung der Schlammabsetzeigenschaften, was sich durch eine Erhöhung des Schlammindex ISV ausdrückt. Dies ist in vielen Fällen auf das vermehrte Wachstum von fadenförmigen Organismen (insbesondere Typ 021N) zurückzuführen, die während der Kampagnebelastung optimale Lebensbedingungen vorfinden. Auf einigen Kläranlagen werden zur Verbesserung der Absetzeigenschaften gezielt beschwerende Stoffe wie Steinmehl oder Braunkohlekoksstaub zugegeben. Auf manchen Anlagen erfolgt (mit unterschiedlichem Erfolg) eine Bekämpfung der fadenförmigen Organismen durch Zugabe von aluminiumhaltigen Fällungsmitteln.

Weitere Besonderheiten der Betriebsführung während der Kampagne können wie folgt zusammengefasst werden:

- Nur auf wenigen Anlagen besteht die Möglichkeit, vor der Kampagne zusätzliches Belegungsvolumen zu aktivieren; auf den meisten Anlagen wird eine Verminderung des Schlammalters durch die erhöhte Belastung in Kauf genommen.
- Die gezielte aerobe Nachstabilisierung des Schlammes erfolgt auf einigen Anlagen. Die erreichten Stabilisierungsgrade sind teilweise jedoch sehr gering.
- Die Reinigungsleistung und Prozessstabilität der Anlagen wird im Wesentlichen durch einen ausreichenden Sauerstoffeintrag bestimmt. Bemessungstechnisch werden die Belüftungsaggregate in der Regel auf die erhöhte Kampagnebelastung ausgelegt.
- Teilweise wird Reinsauerstoff während der Kampagnebelastung eingesetzt.

- Auf einigen Kläranlagen wird der TS-Gehalt gezielt vor der Kampagne erhöht, um eine ausreichende Belebtschlammmenge zur Bewältigung der Lastspitzen zur Verfügung zu haben.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die teilweise sehr großen saisonalen Belastungsunterschiede sowie die großen Belastungsschwankungen hohe Anforderungen an die Bemessung und den Betrieb von kampagnebeeinflussten Kläranlagen stellen. Der erforderliche Abbau der zusätzlichen Kohlenstofffrachten führt zu einer deutlichen Erhöhung der Energiekosten auf den betroffenen Anlagen. Die früheren betrieblichen Probleme aus der Kampagnebelastung wurden durch den Bau moderner, leistungsfähiger Kläranlagen und die enge Zusammenarbeit mit den Winzern/Weinbaubetrieben deutlich reduziert.

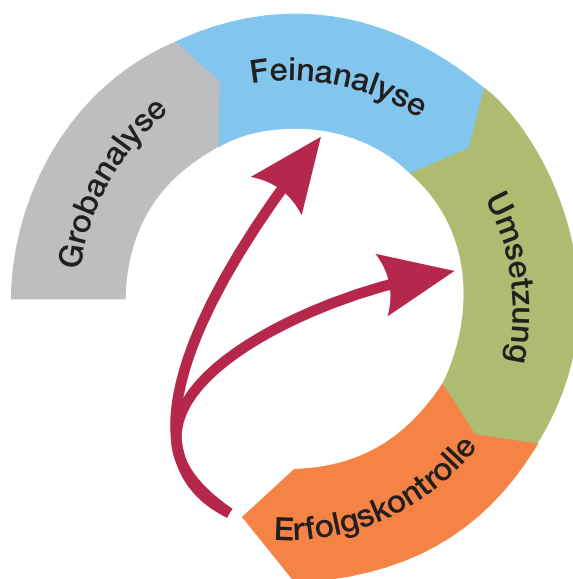


3 Durchführung von Energieanalysen

3.1 Zielstellung der Energieoptimierung

Eine Vielzahl der kommunalen Kläranlagen sind nach den Vorgaben der Abwasserverordnung (AbwV, 2005) bzw. der Europäischen Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EC, 1991) für die Nährstoffelimination ausgebaut. In den nächsten Jahren werden sich daher die betrieblichen, planerischen und baulichen Aktivitäten im Bereich der Abwasserreinigung auf die Optimierung der betrieblichen Aufwändungen konzentrieren. Der Anteil der Energiekosten an den Jahreskosten der Abwasserreinigung liegt bei etwa 5% (Cornel, 2006). Bezogen auf die reinen Betriebskosten entfällt auf die Energiekosten jedoch ein deutlich größerer Anteil.

Mit dem Werkzeug der Energieanalyse soll der Energieeinsatz bei der Abwasserreinigung optimiert werden. Die verfahrenstechnischen Randbedingungen und die gesetzlichen Anforderungen an die Abwasserreinigung sind hierbei zu beachten und einzuhalten. Mit der Energieanalyse sollen die Betreiber motiviert werden, die für ihre Anlage erkannten und als wirtschaftlich eingestuftten Einsparmaßnahmen zeitnah umzusetzen.



Bestandteile der systematischen energetischen Optimierung

Vorteile, die mit der Durchführung der Energieanalyse verbunden sind:

- Analyse der Verfahrenstechnik
- Steigerung der Energieeffizienz
- Optimierung der Energieerzeugung
- Verminderung der CO₂-Emissionen
- Reduktion der Strombezugskosten
- Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit

3.2 Bestandteile der Energieanalyse

Die systematische energetische Optimierung von Kläranlagen über Energieanalysen wurde bereits Anfang der 90er Jahre in der Schweiz entwickelt (Müller, 2003). Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise einschließlich eines Pflichtenheftes für die Durchführung der Energieanalysen findet sich in dem Handbuch Energie in Kläranlagen (MUNLV NRW, 1999). Je nach Ausgangslage und Detaillierungsgrad der Untersuchung wird hierbei zwischen einer Grob- und einer Feinanalyse unterschieden.

Grobanalyse

In der Grobanalyse wird die Kläranlage anhand einer Begutachtung vor Ort und eines Kennzahlenvergleichs energetisch eingeordnet. Die Grobanalyse zeigt das Energieeinsparpotenzial der Kläranlage auf, weist auf direkt erkennbare Maßnahmen zur Energieeinsparung hin und klärt, inwieweit eine weiterführende Feinanalyse sinnvoll ist.

Feinanalyse

In der Feinanalyse werden die elektrischen Verbraucher der Kläranlage in einer detaillierten Verbrauchermatrix zusammengeführt und nach Verbrauchergruppen eingeteilt. Der Vergleich mit Richt- und Idealwerten – spezifischen Verbrauchskennzahlen auf Basis durchgeführter Energieanalysen bzw. Berechnungen für eine Modellkläranlage – ermöglicht die Eingrenzung des energetischen Optimierungspotenzials.

In Verbindung mit der gezielten Überprüfung einzelner Aggregate, wie z.B. Pumpen, Verdichtern oder BHKWs, wird der Energieverbrauch der Kläranlage weiter aufgeschlüsselt. Die zur Energieeinsparung abgeleiteten Maßnahmen werden auf ihre technische Realisierbarkeit und auf ihre wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft und nach ihrer zeitlichen Umsetzung in Sofortmaßnahmen (S), kurzfristige Maßnahmen (K) und abhängige Maßnahmen (A) unterschieden.

Umsetzung

Das Ergebnis der Energieanalyse ist ein Handlungskonzept zur Optimierung des Energieeinsatzes für den Betreiber der Kläranlage. Im Nachgang der Energieanalyse setzt dieser die als technisch-wirtschaftlich sinnvoll erkannten Maßnahmen um.

Erfolgskontrolle

Für eine kontinuierliche Verbesserung des Energieverbrauchs sind die Verbrauchs- und die Belastungsdaten der Kläranlage nach der Umsetzung der Maßnahmen in regelmäßigen Abständen erneut zu ermitteln. Aufgrund von sinkender Anlagenbelastung, geänderten Stromlieferverträgen oder steigender Energiepreise können zunächst nicht wirtschaftliche Maßnahmen in den Folgejahren doch in den Bereich einer wirtschaftlichen Umsetzbarkeit gelangen. Bereits durchgeführte Energieanalysen sollten mit den dann aktuellen Energiepreisen und unter Einbezug zwischenzeitlich noch vorgenommener Umbauten aktualisiert werden.

3.3 Verbrauchsoptimierung und Effizienzsteigerung

Der Energieverbrauch im IST-Zustand wird nicht nur durch die eingesetzten Aggregate, sondern auch durch das verfahrenstechnische Konzept der Abwasserreinigung und die Betriebsführung der Kläranlage geprägt. Die Verbrauchsoptimierung erfolgt somit im maschinentechnischen (z. B. Austausch einer Pumpe) als auch im verfahrenstechnischen Bereich, z. B. temperaturabhängige Anpassung des Schlammalters. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Aggregate stets in komplexe Verfahrensketten eingebunden sind. Beispiele hierfür sind:

- S** → geringe/keine Investitionen
→ sofort realisierbar
→ Realisierungshorizont 0 - 2 Jahre
- K** → insgesamt wirtschaftlich
→ Investitionen erforderlich
→ Detailplanung erforderlich
→ Realisierungshorizont 2 - 5 Jahre
- A** → an Bedingungen geknüpft,
z. B. altersbedingter Austausch
→ mittel- bis langfristig realisierbar
→ Realisierungshorizont 1 - 10 Jahre

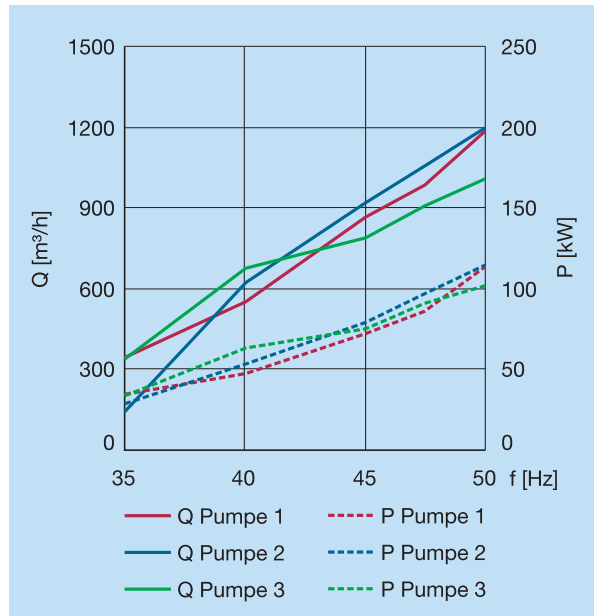
Kriterien für die Einstufung von Einsparmaßnahmen

renstechnischen Bereich, z. B. temperaturabhängige Anpassung des Schlammalters. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Aggregate stets in komplexe Verfahrensketten eingebunden sind. Beispiele hierfür sind:

- Der Verdichter ist Teil eines Gesamtsystems aus Luftbereitstellung, Sauerstoffeintragsregelung, Luftverteilung und Belüftungssystem.
- Eine energieeffiziente Rezirkulationspumpe unterliegt weiterhin einer gewählten günstigen oder ungünstigen Regelstrategie für die Denitrifikation.
- Die Pumpe eines Ablaufhebewerkes wird bei fehlerhafter Staffelung und großen Förderhöhen auch nach einem Austausch weiterhin nur bedingt regelbar sein.
- Eine ungenügende Voreindickung beeinflusst neben dem Energieverbrauch von Einzelaggregaten wie Pumpen und Dekantern den Energiehaushalt der gesamten Schlammbehandlung.

Durch eine betriebliche oder auch regelungstechnische Optimierung können daher in der Praxis in vielen Fällen nochmals beträchtliche Energiekosteneinsparungen realisiert werden.

3 Durchführung von Energieanalysen



Leistungsmessung an einem Hebewerk

Der Energieverbrauch [kWh] ergibt sich für die mit konstanter Drehzahl betriebenen Aggregate aus der Wirkleistung [kW] und der Betriebsstundenzahl [h]. Für Antriebe, die über Frequenzumformer geregelt betrieben werden, wird die Leistungscharakteristik über zusätzliche Messungen aufgenommen. Den größeren und im Dauerbetrieb betriebenen Aggregaten wie Pumpen und Verdichtern, auf die der überwiegende Anteil des Elektrizitätsverbrauchs entfällt, kommt hierbei besondere Bedeutung zu. Für diese Aggregate werden aus den Leistungsmessungen spezifische Kennwerte, wie z.B. der Energiebedarf der Pumpen $[\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot m_{\text{FH}})]$ oder der Leistungsbedarf der Verdichter $[\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$ abgeleitet. Aus der Abweichung zwischen den spezifischen Kennwerten und Referenzwerten neuer, energieeffizienter Aggregate wird das mögliche Einsparpotenzial ermittelt.

Die Erneuerung energetisch ungünstiger Aggregate sollte auf den verfahrenstechnisch notwendigen Umfang beschränkt werden, um die neuen Aggregate in einem hohen Leistungsbereich und im Dauerbetrieb laufen zu lassen. Bei einem Stand-by-Betrieb der alten Aggregate

bleibt die Redundanz erhalten und die Wirtschaftlichkeit des Austausches wird signifikant gesteigert. Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Lebenszykluskosten. Aufgrund des bei Pumpen und Verdichtern hohen Anteils der Betriebskosten kann sich die Investition in ein teureres, aber energieeffizienteres Aggregat bereits nach wenigen Jahren amortisieren.



Blockheizkraftwerk

3.4 Bearbeitungsaufwand und Ergebnis

Das Ziel einer Energieoptimierung kann auf einer Kläranlage mit der beschriebenen systematischen Vorgehensweise rasch und effizient erreicht werden. Der Aufwand für die Durchführung der Energieanalyse schwankt je nach Größe der Kläranlage, der Qualität der verfügbaren Unterlagen sowie der Komplexität der Kläranlage stark. Es wird empfohlen, sich bei der Durchführung einer Energieanalyse an dem im Handbuch Energie in Kläranlagen (MUNLV NRW, 1999) aufgeführten Pflichtenheft und der zugehörigen AWEX-Veröffentlichung von 2000 zu orientieren.

Der Aufwand für die Grobanalyse einer durchschnittlichen Kläranlage unter 100.000 EW ohne außerordentliche Anforderungen beträgt 4 - 6 Arbeitstage. Die Bearbeitung einer Feinanalyse liegt je nach Größe und Komplexität der Kläranlage bei ca. 15 - 40 Arbeitstagen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das notwendige Datenmaterial (Betriebsdaten und Energieverbrauchsdaten) vom Betreiber zur Verfügung gestellt wird.

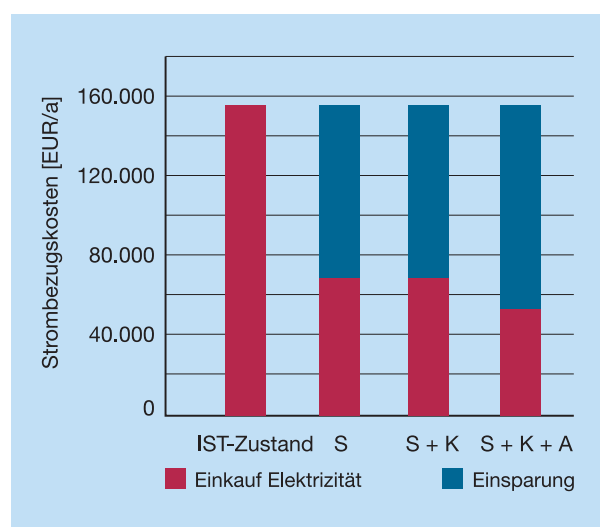
Erforderliche Daten für die Durchführung der Energieanalyse sind hierbei:

- Energieverbrauch der Gesamtanlage
- Energieverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen
- Betriebsstunden der einzelnen Aggregate
- Gaserzeugung / Stromerzeugung
- Zulaufbelastung
- Schlammkosten
- Betriebsdaten (t_{TS} , TS_{BB} , O_2 -Gehalt, RV, RF)

Die Methoden und Instrumente für eine energetische Optimierung kommunaler Kläranlagen sind vorhanden. Eine Auswertung durchgeführter Energieanalysen in Nordrhein-Westfalen ergab für 85 Kläranlagen, dass der Stromfremdbezug bei Realisierung aller vorgeschlagenen Maßnahmen im Mittel um 37 % gesenkt werden kann (Kaste, et al, 2006). Untersuchungen an Kläranlagen in Baden-Württemberg ergaben ein ähnliches Einsparpotenzial von 20 - 30 % des Stromverbrauchs (LFU, 1998, zit. in WAR, 2006). Bezogen auf einen spezifischen Energieverbrauch der Klär-

anlage zwischen ca. 30 und 40 kWh/(E*a) ergibt sich damit ein Einsparpotenzial von 6 - 14 kWh/(E*a). Dies entspricht bei einer Kläranlage mit 50.000 EW und bei einem mittleren Strompreis von 0,1 €/kWh einer Einsparung von bis zu 700.000 kWh/a bzw. bis zu 70.000 €/a zzgl. der positiven ökologischen Auswirkungen. Dieser Einsparung stehen natürlich die Kosten aus der Umsetzung der als wirtschaftlich beurteilten Optimierungsmaßnahmen gegenüber. Unter Berücksichtigung der Eigenstromproduktion können die Strombezugskosten in vielen Fällen um bis zu 50 % gesenkt werden.

Das Einsparpotenzial könnte durch die Weiterentwicklung der Verbrauchsoptimierung zu einem umfassenden Energiemanagement noch gesteigert werden. Das häufig bestehende Ungleichgewicht in der Energiebilanz der Kläranlage mit permanent hohem Stromverbrauch und einem hohen Wärmeüberschuss im Sommer ließe sich durch die Aufstellung oder Ansiedelung zusätzlicher Erzeuger oder Verbraucher kostengünstig ausgleichen. Beispiele hierfür sind die Co-Vergärung organischer Reststoffe oder die Einspeisung von aufbereitetem Faulgas in das kommunale Gasnetz.



Beispiel für die Energiekosteneinsparung durch Umsetzung der Maßnahmenpakete S, K und A

4.1 Auswahl der Anlagen

Im Rahmen des Modellprojektes "Energieeffizienzsteigerung von Kläranlagen" soll aufgezeigt werden, welches Potenzial zur Energieeinsparung und -erzeugung auf den Abwasserbehandlungsanlagen in Rheinland-Pfalz besteht.

Um dies zu erreichen, wurden Analysen auf 4 repräsentativen kommunalen Kläranlagen unter enger Abstimmung mit den Betreibern und der Wasserwirtschaftsverwaltung durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es hierbei, die im Rahmen des Projektes auf den Beispielkläranlagen gewonnenen Erkenntnisse auf möglichst viele andere Abwasserreinigungsanlagen in Rheinland-Pfalz zu übertragen und das realistisch umsetzbare Potenzial aufzuzeigen, um – unter Einhaltung der Überwachungswerte – den Energieverbrauch zu verringern und die Eigenenergieproduktion zu erhöhen.

Zur Auswahl der Anlagen wurde hierbei wie folgt vorgegangen:

In einem ersten Schritt wurde eine Kriterienliste zur Auswahl der Referenzanlagen entwickelt, die über das MUFV an die Regionalstellen Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Bodenschutz weitergeleitet wurde. Auf der Basis der Vorauswahl der Regionalstellen wurden 4 Kläranlagen ausgewählt und im Rahmen von vertiefenden Ortsterminen sowie Analysen der Betriebsdaten näher auf ihre Eignung hin überprüft.

Wesentliche Auswahlkriterien waren hierbei:

- die Anlage sollte eine möglichst große Anzahl vergleichbarer Anlagen in Rheinland-Pfalz repräsentieren ("typische Anlage", sowohl hinsichtlich der Anlagengröße als auch des Anlagentyps),
- die Motivation des Personals,
- die Verfügbarkeit relevanter Betriebsdaten, insbesondere zum Energieverbrauch,
- es sollte mindestens eine Anlage mit ausgeprägtem Fremdwassereinfluss sowie eine Anlage mit Kampagneinfluss untersucht werden, da diese Problematiken typisch für die Situation in Rheinland-Pfalz sind.



Kläranlage Speyer

Foto: Klaus Landry, Dudenhofen

Folgende Anlagen wurden letztendlich nach den Orts-terminen für die weiteren Untersuchungen ausgewählt:

- **Kläranlage Oberes Fischbachtal** (bemessen auf 6.800 EW) als typisch für kleine bis mittelgroße Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung und hohen Fremdwasseranfall
- **Kläranlage Bad Ems** (bemessen auf 33.000 EW) als typische mittelgroße Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung)
- **Kläranlage Speyer** (bemessen auf 95.000 EW) als große Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung)
- **Kläranlage Billigheim** (bemessen auf 42.000 EW) als typische Anlage mit ausgeprägtem Kampagneinfluss (Weinbau)

Auf die Auswahl einer Anlage mit einer Ausbaugröße von < 5.000 EW wurde bewusst verzichtet. Entsprechende Anlagen sind zwar zahlenmäßig in Rheinland-Pfalz stark vertreten (ca. 70 % aller Anlagen liegen in den Größenklassen 1 und 2), hinsichtlich der angeschlossenen EW repräsentieren sie jedoch nur ca. 10 % der insgesamt behandelten Belastungen. Sie fallen bei einer landesweiten Betrachtung nicht ins Gewicht. Dennoch sind auch hier relevante Einsparungen möglich.



Kläranlage Billigheim



Kläranlage Bad Ems



Kläranlage Oberes Fischbachtal

4.2 Beschreibung der Anlagen: Kläranlage Speyer

Die Kläranlage Speyer ist für 95.000 EW ausgelegt und behandelt das Abwasser von 82.400 EW. Das Abwasser fließt der Kläranlage über ein Einlaufhebewerk zu. Die Förderhöhe beträgt etwa 4,50 m und die maximale Zulaufwassermenge der Kläranlage 515 l/s.

Es schließt sich die mechanische Reinigungsstufe mit Rechen, grobbläsiger belüfteter Sandfang und Grobentschlammung an.

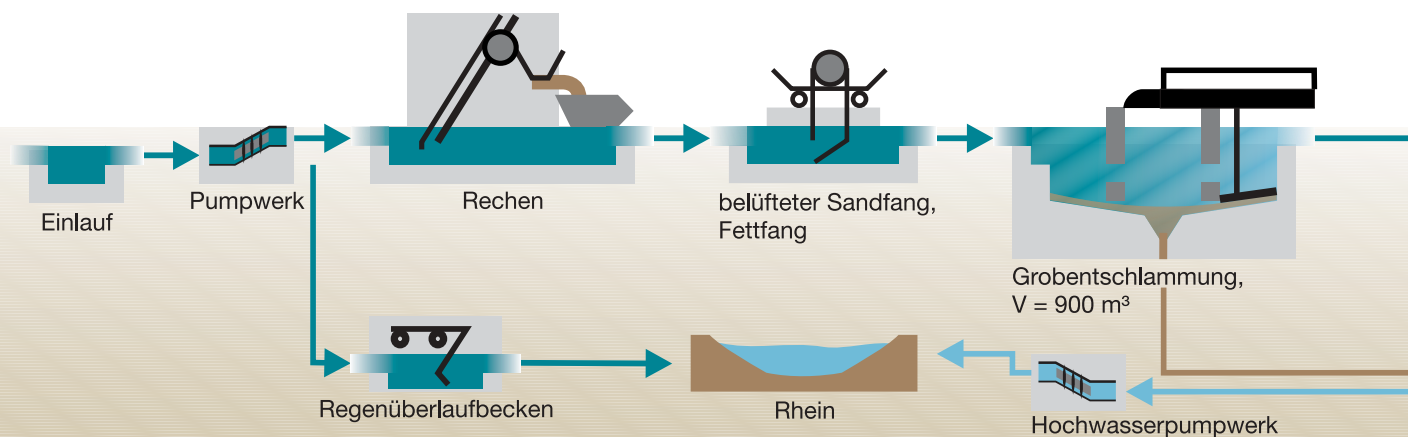
Anschließend erfolgt eine Wasseraufteilung auf die zwei Belebungsbeckenstraßen. Die Straße 1 mit einem Volumen von 8.550 m³ wird als dreistufige Kaskadendenitrifikation betrieben. Die Straße 2 mit einem Volumen von 6.420 m³ wird mit vorgeschalteter Denitrifikation und vermehrter biologischer Phosphorelimination betrieben. Zusätzlich wird für die P-Fällung Eisenchlorid in den Rücklaufschlamm dosiert. Das Schlammalter liegt mit 35 d für eine nährstoffelimierende Anlage sehr hoch, das hohe Schlammalter ist auf Engpässe in der Schlammbehandlung zurückzuführen. Das Rücklaufschlammverhältnis schwankt zwischen 1,8 und 0,6.

Die Nachklärung besteht aus 3 Nachklärbecken mit einem Volumen von 7.000 m³. Das gereinigte Abwasser wird in den Rhein eingeleitet. Bei Hochwasser muss das

Abwasser durch das Hochwasserpumpwerk erneut gehoben werden.

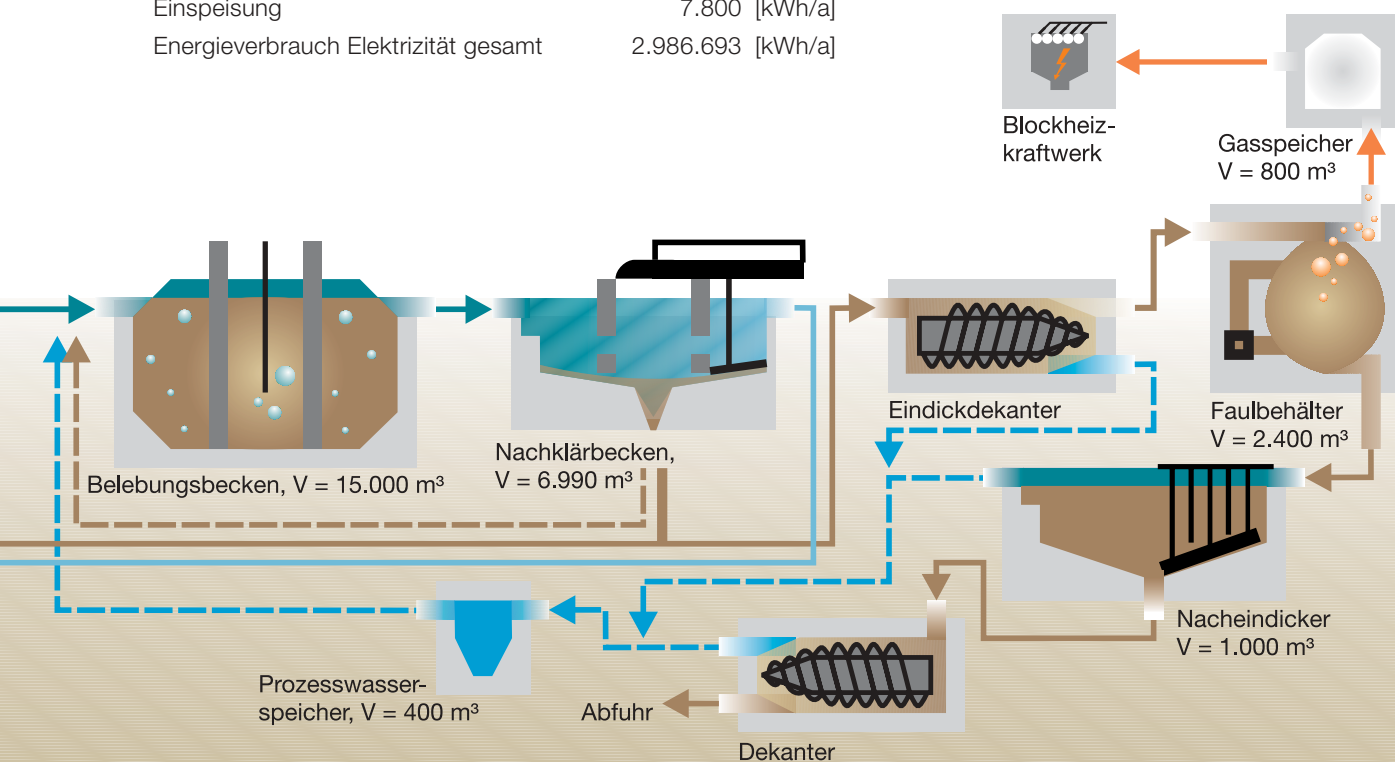
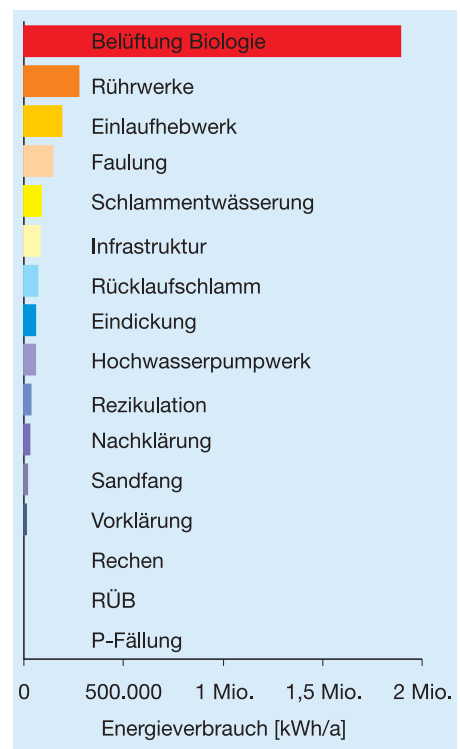
Primär- und Überschussschlamm werden mit Zentrifugen maschinell voreingedickt. Die Faulungsanlage besteht aus 2 Faulbehältern mit einem Volumen von jeweils 1.200 m³. Für die anschließende Faulschlamm-entwässerung wird eine Kammerfilterpresse eingesetzt. Zwei Stapelbehälter mit einem Volumen von insgesamt 500 m³ dienen als Vorlage. Um einen kontinuierlichen Betrieb der Schlamm-entwässerung zu erreichen sowie der Durchsatz zu erhöhen, erfolgt zurzeit eine Umstellung von einer Kammerfilterpresse zu Zentrifugen.

Als Vorlage für die Gasnutzung in der BHKW-Anlage ist ein Gasspeicher mit einem Volumen von 800 m³ installiert. Das Faulgas wird in einer BHKW-Anlage mit einer Gesamtleistung von 515 kW mit einem elektrischen Nennwirkungsgrad von 33,7 % und einem thermischen Nennwirkungsgrad von 54,5 % eingesetzt. Wenn die Abwärme des BHKWs nicht ausreicht, wird für die Wärmebereitstellung ein bivalenter Heizkessel mit einer Nennwärmeleistung von 511 kW für Faulgas oder von 570 kW für Heizöl eingesetzt. Der Wirkungsgrad beträgt etwa 93 %.



Anlagendaten

Einwohnerwert Bemessung BSB ₅	95.000 [E]
CSB-Fracht Zulauf KA	10.761 [kg/d]
BSB ₅ -Fracht Zulauf KA	4.842 [kg/d]
TKN-Fracht Zulauf KA	876 [kg/d]
Angeschlossene Einwohnerwerte	82.406 [E _{N,CSB,BSB}]
Höhendifferenz der Hebewerke	4,5 [m total]
Abwasseranfall	5.332.165 [m ³ /a]
Rohschlammfall	66.267 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	1.988 [t TR/a]
Organischer Anteil im Rohschlamm	1.444 [t oTR/a]
Faulgasproduktion gesamt	568.503 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung Heizung	13.837 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung BHKW	455.363 [Nm ³ /a]
Abfackelung Faulgas	99.304 [Nm ³ /a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (Heizung)	82.358 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Heizöl (Heizung)	65.193 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (BHKW)	1.573.733 [kWh/a]
Wärmeproduktion gesamt	1.721.284 [kWh/a]
Elektrizitätsproduktion aus Faulgas (BHKW)	790.300 [kWh/a]
Elektrizitätsproduktion mit Notstromdiesel	33.101 [kWh/a]
Fremdenergie	2.171.093 [kWh/a]
Einspeisung	7.800 [kWh/a]
Energieverbrauch Elektrizität gesamt	2.986.693 [kWh/a]



4.2 Beschreibung der Anlagen: Kläranlage Bad Ems

Die Kläranlage Bad Ems ist für 33.000 EW ausgelegt und behandelt das Abwasser von 26.000 EW. Das Abwasser fließt der Kläranlage über ein Einlaufhebewerk zu. Die Förderhöhe beträgt etwa 15 m. Das Einlaufhebewerk ist mit 2 Trockenwetterpumpen und 3 Regenwetterpumpen ausgestattet. Es schließt sich die mechanische Reinigungsstufe mit Rechen, Sandfang und Vorklärbecken an. Der Sandfang wird mit einem Lufteintrag von 17,4 m³/min belüftet. Das Volumen beträgt 672 m³. Der vorhandene Fettfang ist nicht in Betrieb. Das Vorklärbecken ist als Längsbecken mit einer Aufenthaltszeit von über 1,0 h bei Trockenwetterzufluss Q_t ausgebildet. Anschließend erfolgt eine gleichmäßige Aufteilung des Abwassers auf die beiden Belebungsbecken.

Das Belebungsbecken 1 besteht aus zwei parallelen Teilstraßen mit einem Volumen von 3.660 m³. Die Belüftung erfolgt über Drehkolbengebläse und Membranbelüfter. Das Belebungsbecken 2 war früher das Nachklärbecken der Kläranlage, nach dem Ausbau wurde das Becken mit Membranbelüftern bestückt. Das Volumen beträgt 3814 m³. Die Stickstoffelimination erfolgt in beiden Becken über eine intermittierende Belüftung. Die

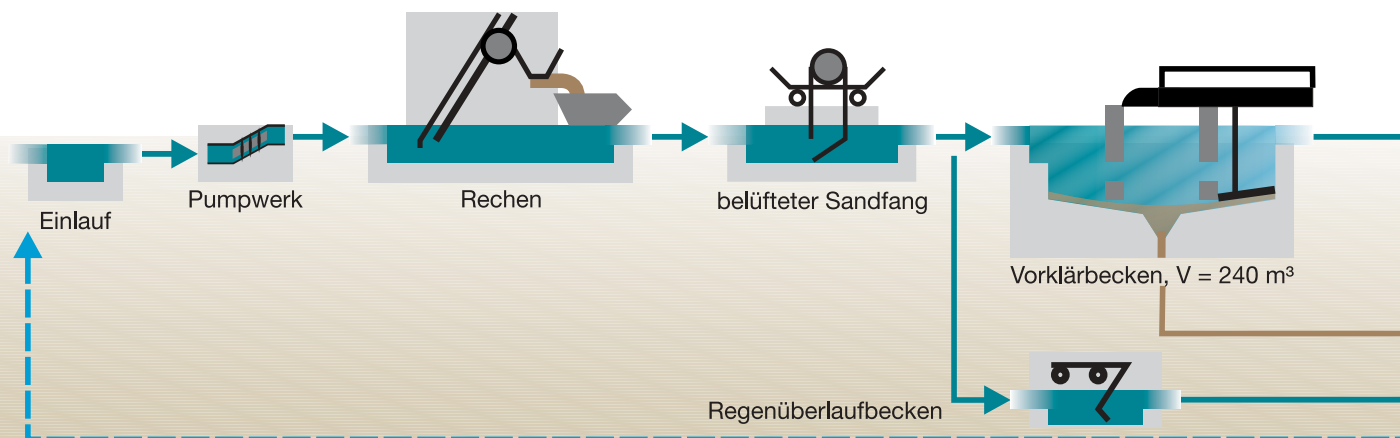
Beeinflussung der Sauerstoffzufuhr kann über eine Zeit-Pausen-Steuerung oder über eine Redox-Steuerung erfolgen. Für die Phosphorfällung wird Fe³⁺-Salz (FeCl₃) über den Zulauf zudosiert.

Der Ablauf aus beiden Belebungsbecken fließt den horizontal durchströmten Nachklärbecken mit einem Durchmesser von 34 m und einer Beckentiefe von 4,42 m zu. Das Gesamtvolumen beträgt 4.100 m³. Das gereinigte Wasser wird in die Lahn eingeleitet.

Der Primärschlamm wird unbehandelt und der Überschussschlamm über einen Bandedicker in den Faulbehälter gefördert. Der Schwimmschlamm aus der Nachklärung wird dem Rücklaufschlammstrom zugeführt.

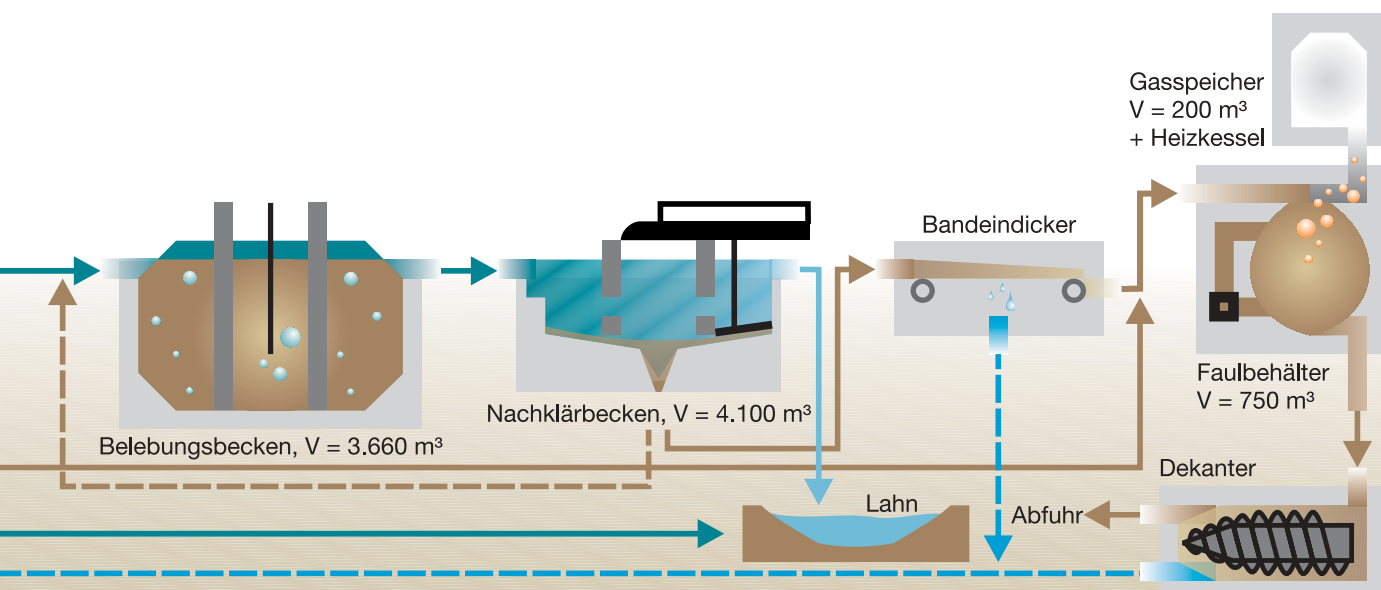
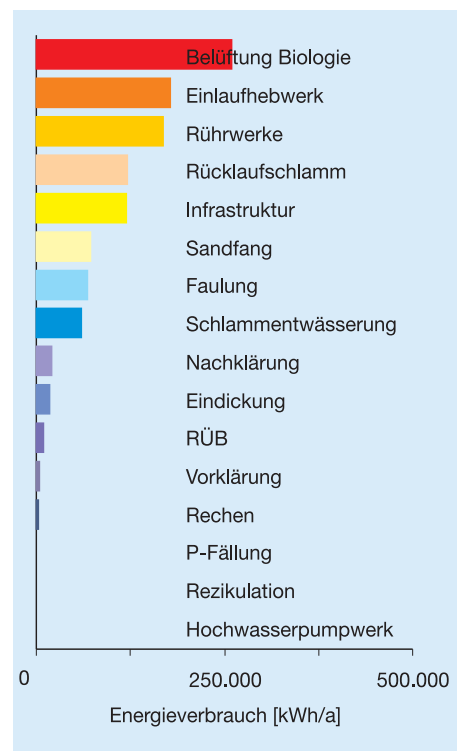
Das Volumen des Faulbehälters beträgt 750 m³. Die Aufenthaltszeit in der Faulung beträgt im Mittel 14 Tage. Der ausgefaule Schlamm wird durch eine Hochleistungszentrifuge (Dekanter) entwässert und bis zum Abfahren (1x wöchentlich) gelagert.

Das überwiegende Teil des Faulgases wird im Heizkessel eingesetzt, der Rest wird abgefackelt. Momentan ist kein Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Umwandlung des Faulgases in Elektrizität vorhanden.



Anlagedaten

Einwohnerwert Bemessung BSB5	33.000 [E]
CSB-Fracht Zulauf KA	2.365 [kg/d]
BSB5-Fracht Zulauf KA	1.459 [kg/d]
TKN-Fracht Zulauf KA	334 [kg/d]
Angeschlossene Einwohnerwerte	26.192 [E _{N,CSB,BSB}]
Höhendifferenz der Hebewerke	15 [m total]
Abwasseranfall	2.814.533 [m ³ /a]
Rohschlammfall (zuzügl. Fremdschlamm)	24.949 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	602 [t TR/a]
Organischer Anteil Schlammseintrag in Faulung	401 [t oTR/a]
Faulgasproduktion gesamt	155.645 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung Heizung	132.298 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung BHKW	0 [Nm ³ /a]
Abfackelung Faulgas	23.347 [Nm ³ /a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (Heizung)	813.272 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Erdgas (Heizung)	84.413 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (BHKW)	0 [kWh/a]
Wärmeproduktion gesamt	897.684 [kWh/a]
Elektrizitätsproduktion aus Faulgas BHKW	0 [kWh/a]
Fremdenergie	1.100.868 [kWh/a]
Einspeisung	0 [kWh/a]
Energieverbrauch Elektrizität gesamt	1.100.868 [kWh/a]



4.2 Beschreibung der Anlagen: Kläranlage Billigheim

Die Kläranlage Billigheim ist geprägt durch die Weinbaukampagne. Die Kläranlage ist für 42.000 EW ausgelegt. Während der Weinbaukampagne behandelt die Kläranlage – bezogen auf die organische Belastung – das Abwasser von 40.400 EW, außerhalb der Kampagne reduziert sich die Belastung auf 18.700 EW. Das Abwasser fließt der Kläranlage im freien Gefälle zu. Es schließt sich die mechanische Reinigungsstufe mit Rechen, belüfteten Langsandfang und Rundsandfang mit Fettfang an.

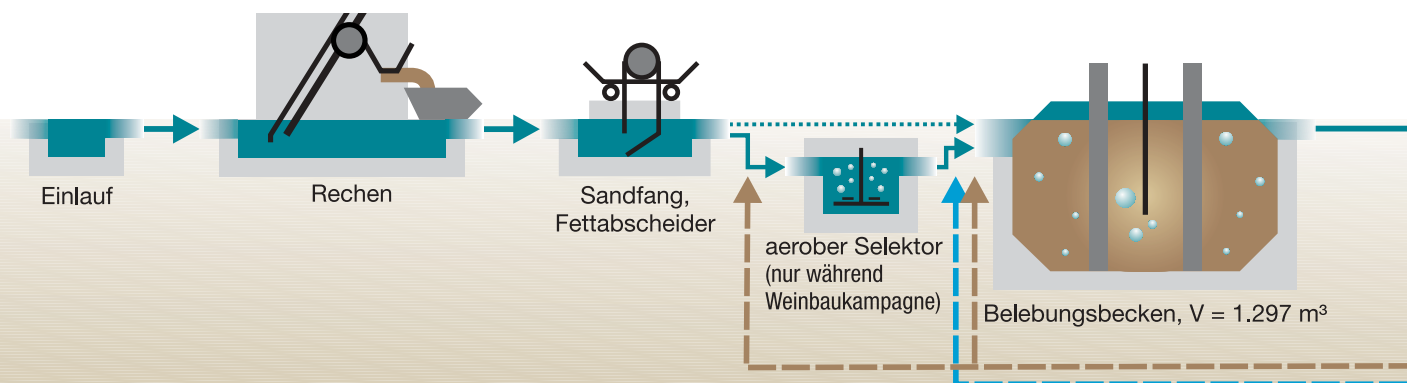
Die biologische Stufe besteht aus einem aeroben Selektor und einer zweistufigen Biologie mit Zwischenklärung. Für beide Belebungsbecken gibt es einen separaten Schlammkreislauf.

Außerhalb der Weinbaukampagne wird der aerobe Selektor nicht genutzt. Das Abwasser wird zu 80 % auf das Belebungsbecken 1 und – zur Bypassführung von leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen – zu 20 % auf das Belebungsbecken 2 aufgeteilt. Im Belebungsbecken 1 finden C-Abbau und teilweise Nitrifikation statt. Der Sauerstoffeintrag wird über die Sauerstoffkonzentration geregelt. Das gereinigte Abwasser fließt zur Restnitrifikation und Teildenitrifikation in das intermittierend belüftete Belebungsbecken 2. Die Sauer-

stoffzufuhrregelung erfolgt hier nach dem Nitratgehalt. Danach fließt das Abwasser zum runden Nachklärbecken und anschließend über das Auslaufbauwerk in den Vorfluter Klingbach. Die Phosphorelimination erfolgt durch Zugabe von FeCl_2 in den Rücklaufschlamm von Belebungsbecken 2.

Im Kampagne-Betrieb fließt das gesamte Abwasser über einen aeroben Selektor zum Belebungsbecken 1. Der aerobe Selektor hat die Funktion, das Wachstum von Fadenbakterien zu verhindern bzw. zu minimieren. Nach dem Belebungsbecken 1 wird das Abwasser dem Zwischenklärbecken, dem Belebungsbecken 2, dem Nachklärbecken 2 und dem Auslaufbauwerk zugeleitet. Während der Weinbaukampagne finden weder gezielte Nitrifikation und Denitrifikation noch Phosphorelimination statt, da die vorhandenen Nährstoffe vollständig zum Biomassewachstum genutzt werden.

Die nicht vollständig stabilisierten Überschussschlämme aus Zwischenklärbecken und Nachklärbecken werden im aeroben Nachstabilisator ganzjährig behandelt. Anschließend wird der Schlamm zusammen mit dem Schlamm aus der Kläranlage Böchingen in zwei Eindicker geführt und mit einer Kammerfilterpresse mit Dosierung von Kalk und FeCl_2 entwässert.



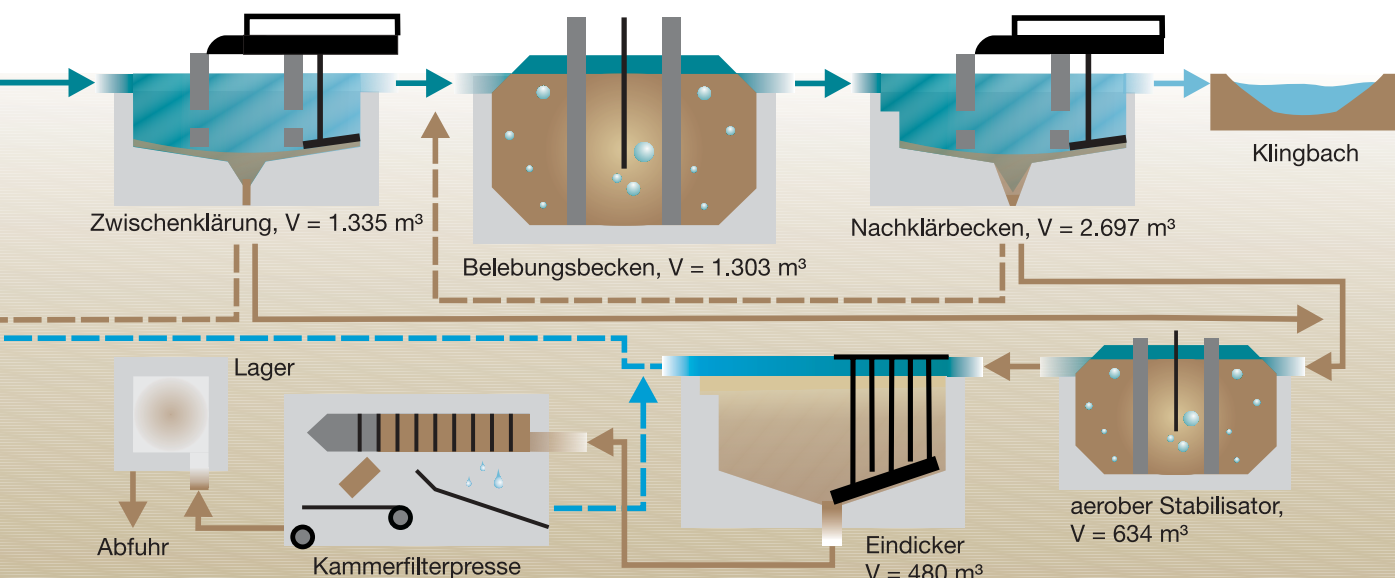
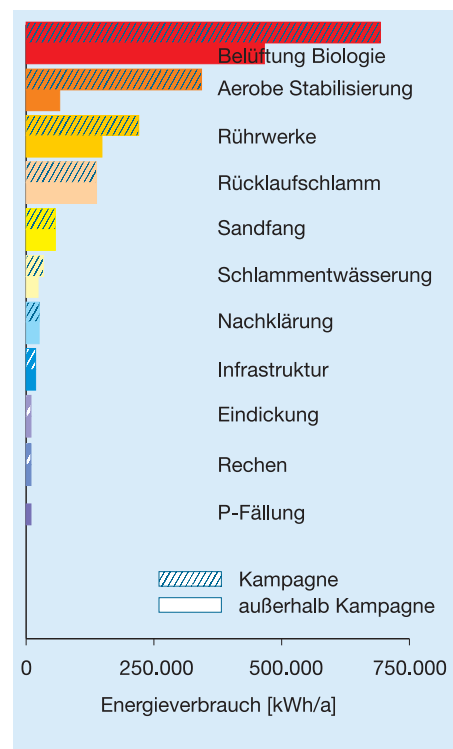
Anlagedaten

Außerhalb der Kampagne

Einwohnerwert Bemessung BSB ₅	42.000 [E]
CSB-Fracht Zulauf KA	2.715 [kg/d]
BSB ₅ -Fracht Zulauf KA	1.226 [kg/d]
TKN-Fracht Zulauf KA	174 [kg/d]
Angeschlossene Einwohnerwerte	18.682 [E _{N,CSB,BSB}]
Höhendifferenz der Hebewerke	0 [m total]
Abwasseranfall	1.641.161 [m ³ /a]
Rohschlammfall	29.522 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	778 [t TR/a]
Wärmeproduktion aus Erdgas (Heizung)	58.815 [kWh/a]
Energieverbrauch Elektrizität gesamt	950.423 [kWh/a]

Während der Kampagne

Einwohnerwert Bemessung BSB ₅	42.000 [E]
CSB-Fracht Zulauf KA	4.810 [kg/d]
BSB ₅ -Fracht Zulauf KA	2.445 [kg/d]
TKN-Fracht Zulauf KA	130 [kg/d]
Angeschlossene Einwohnerwerte	40.417 [E _{CSB,BSB}]
Höhendifferenz der Hebewerke	0 [m total]
Abwasseranfall	1.576.045 [m ³ /a]
Rohschlammfall	32.419 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	1.005 [t TR/a]
Wärmeproduktion aus Erdgas (Heizung)	58.815 [kWh/a]
Energieverbrauch Elektrizität gesamt	1.534.280 [kWh/a]



4.2 Beschreibung der Anlagen: Kläranlage Fischbachtal

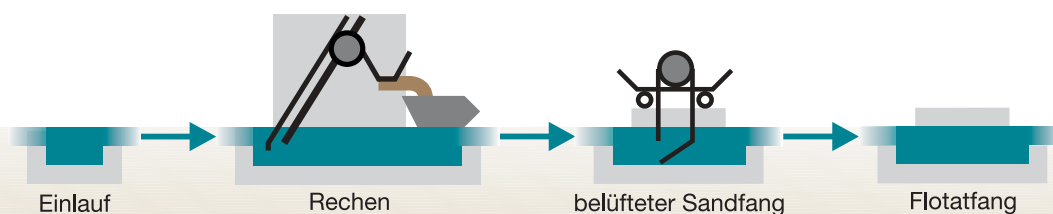
Die Kläranlage Oberes Fischbachtal ist für 6.800 EW ausgebaut. Die Planungen aus dem Jahr 1995 sehen eine mögliche stufenweise Erweiterung auf 8.000 EW vor, so dass einige Aggregate, beispielsweise die Rezirkulationspumpen, für die größere Zulaufbelastung ausgelegt sind. In der Kläranlage Oberes Fischbachtal wird das Abwasser aus 9 benachbarten Ortsgemeinden behandelt, aktuell beträgt der Anschlussgrad 5.500 EW. Die Fließzeit im Kanal beträgt maximal 2 h, und der Fremdwasseranteil liegt bei über 50 %. Der Einfluss des hohen Fremdwasseranteils auf den Energieverbrauch ist relativ gering, da das Abwasser im freien Gefälle durch die Anlage fließt.

Die mechanische Reinigungsstufe besteht aus einem Rechen, einem belüfteten Rundsandfang und einem Flotatfang.

Die biologische Stufe besteht aus einem Belebungsbecken ($V_{BB} = 1.535 \text{ m}^3$) mit vorgeschalteter Denitrifikation.

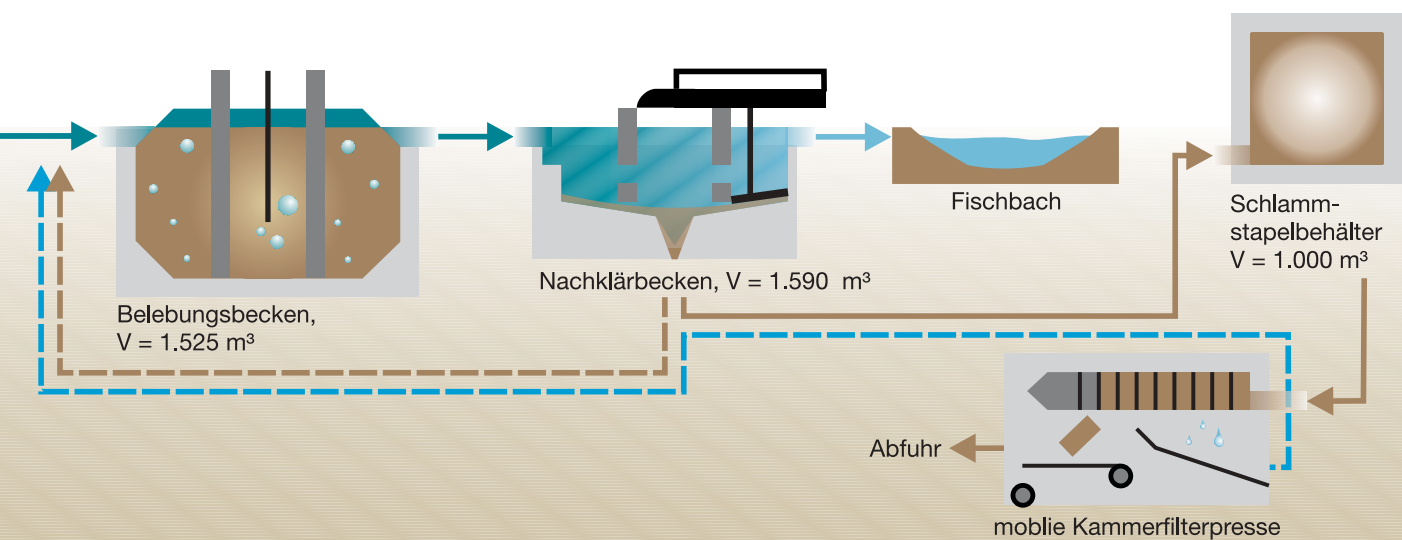
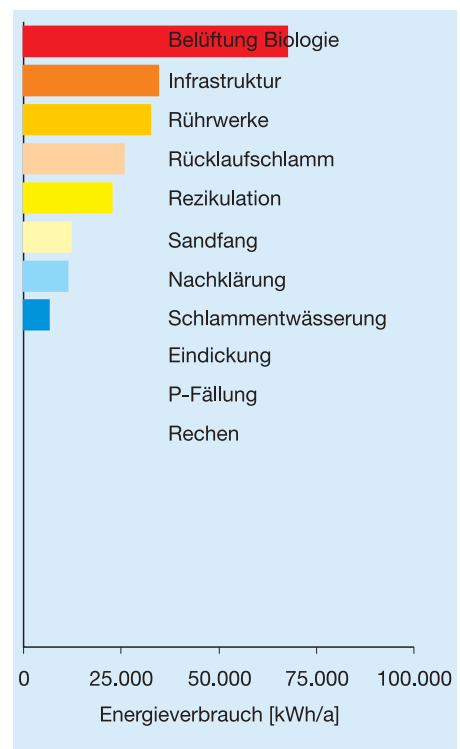
Die Belüftung im Nitrifikationsbecken erfolgt intermittierend durch Kerzenbelüfter. Die Belüftungsdauer wird anhand des Sauerstoffes und nach der Zeit gesteuert. Das Schlammalter beträgt 25 d um eine aerobe Schlammstabilisierung im Belebungsbecken sicherzustellen. Die Rezirkulationspumpen sind aufgrund der intermittierenden Belüftung ausgeschaltet. Die Rührwerke in der Biologie laufen durchgängig auch während der Belüftungsphasen. Das Rücklaufschlammverhältnis ist konstant eingestellt. Phosphor wird mit einem elektrochemischen Verfahren seit Mitte 2006 gefällt.

Der Überschussschlamm wird in einem Schlammstapelbehälter mit einem Volumen von 1.000 m^3 zwischen gespeichert. Der Schlamm wird durch eine Fremdfirma mit einer mobilen Kammerfilterpresse entwässert. Zusätzlich wird Schlamm von anderen Kläranlagen angeliefert und mit entwässert. Zur Deckung des Wärmebedarfs wird Flüssiggas (Propan) eingesetzt.



Anlagedaten

Einwohnerwert Bemessung BSB ₅	6.800 [E]
CSB-Fracht Zulauf KA	621 [kg/d]
BSB ₅ -Fracht Zulauf KA	396 [kg/d]
TKN-Fracht Zulauf KA	56 [kg/d]
Angeschlossene Einwohnerwerte	5.509 [E _{N,CSB,BSB}]
Höhendifferenz der Hebewerke	0,0 [m total]
Abwasseranfall	1.022.884 [m ³ /a]
Rohschlammfall (zuzügl. Fremdschlamm)	3.702 [m ³ /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	60 [t TR/a]
Organischer Anteil im Rohschlamm	40 [t oTR/a]
Faulgasproduktion gesamt	0 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung Heizung	0 [Nm ³ /a]
Faulgasnutzung BHKW	0 [Nm ³ /a]
Abfackelung Faulgas	0 [Nm ³ /a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (Heizung)	0 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Propangas (Heizung)	15.205 [kWh/a]
Wärmeproduktion aus Faulgas (BHKW)	0 [kWh/a]
Wärmeproduktion gesamt	15.205 [kWh/a]
Elektrizitätsproduktion aus Faulgas (BHKW)	0 [kWh/a]
Elektrizitätsproduktion mit Notstromdiesel	0 [kWh/a]
Fremdenergie	231.958 [kWh/a]
Einspeisung	0 [kWh/a]
Energieverbrauch Elektrizität gesamt	231.958 [kWh/a]



4 Ergebnisse von Referenzanlagen in Rheinland-Pfalz

4.3 Energetische Bewertung des IST-Zustandes

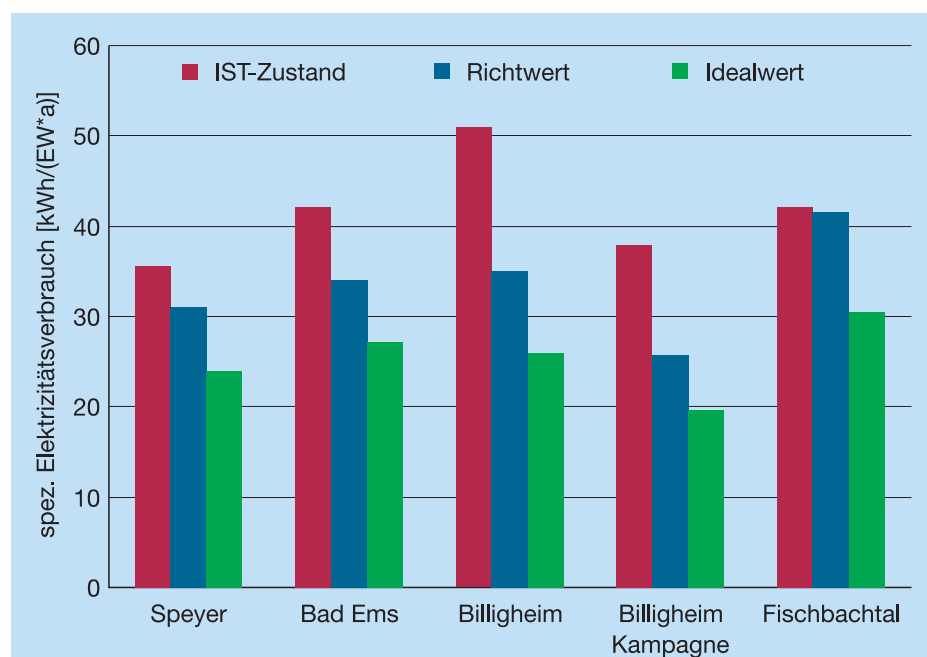
Für die Bewertung des IST-Zustandes der vier Referenzanlagen werden anhand der Grundlagendaten und des Energieverbrauchs energetische Kennwerte ermittelt und mit Richt- und Idealwerten des Handbuches "Energie in Kläranlagen" des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW, 1999) verglichen.

Die spezifischen Verbrauchswerte der ausgewählten Referenzanlagen Speyer, Bad Ems und Fischbachtal liegen zwischen 36 und 42 kWh/(E*a) und damit in etwa in dem Bereich, der anhand der Analyse der Literaturwerte für Anlagen der Größenklassen 3 bis 5 in Rheinland-Pfalz abgeschätzt wurde. Einzig die Kläranlage in Billigheim nimmt hier als Kampagneanlage eine Sonderstellung ein: der spezifische Energieverbrauch der Anlage außerhalb der Kampagne liegt mit 51 kWh/(E*a) über dem angenommenen Wert von 40 kWh/(E*a) (vgl. Kapitel 5), hierbei sind jedoch die besonderen Anforderungen von Kampagne beeinflussten Anlagen und die hieraus resultierenden verfahrenstechnischen Zwänge (z.B. aerober Selektor zur Blähschlambekämpfung, externe Nachstabilisierung des Schlammes etc.) zu beachten. Während der Kampagne steigt der Energieverbrauch der KA Billigheim an, aufgrund der deutlich höheren Frachten sinkt jedoch der spezifische Verbrauch auf 38 kWh/(E*a).

Ein Vergleich des IST-Zustandes der Referenzanlagen mit den Richt- bzw. Idealwerten (MUNLV NRW, 1999) zeigt bei allen betrachteten Anlagen ein sehr deutliches Potenzial zur energetischen Optimierung. Der Richtwert ist hierbei ein Wert, der aus Untersuchungen an zahlreichen Anlagen in Nordrhein-Westfalen abgeleitet wurde, und der realistisch erreicht werden kann. Der Idealwert hingegen ist ein anhand einer Modellanlage berechneter Wert, der nur unter optimalen Bedingungen zu erreichen ist, jedoch nicht unrealistisch ist.

Der Abgleich zeigt, dass beim spezifischen Energieverbrauch der gesamten Anlagen insbesondere bei den Kläranlagen Billigheim als auch bei der Kläranlage Bad Ems noch ein erhebliches Optimierungspotenzial besteht. Die Kläranlage Speyer besitzt noch ein Potenzial im Vergleich zum Richtwert von rund 16 %. Energetisch sehr günstig liegt die Kläranlage Fischbachtal, die derzeit (bei guten Ablaufwerten) im Bereich des Richtwertes betrieben wird. Im Vergleich zu den Idealwerten zei-

Spezifischer Energieverbrauch der Referenzanlagen im Vergleich zum Richt- und Idealwert



gen sich noch deutlichere Potenziale, die bei allen Referenzanlagen erhebliche Verminderungen des Energieverbrauchs realistisch erscheinen lassen.

Das Bild unten zeigt den spezifischen Energieverbrauch der Belebungsstufen der Referenzanlagen im Vergleich zu den Richt- und Idealwerten.

Bei der Kläranlage Speyer zeigt sich hierbei ein sehr ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der Gesamtanlage. Das Optimierungspotenzial liegt damit in allen Verfahrensstufen und nicht ausschließlich im Bereich der Belebungsstufe.

Die Belebungsstufen in Bad Ems und Fischbachtal werden energetisch sehr günstig betrieben: insbesondere auf der Kläranlage Fischbachtal liegt der IST-Wert mit 27 kWh/(E*a) unterhalb des Richtwertes und im Bereich des Idealwertes für aerobe Stabilisierungsanlagen.

Für die KA Billigheim zeigt sich auch für die Belebungsstufe (Belüftung, Rührwerke, Rücklaufschlammführung) ein sehr deutliches Optimierungspotenzial.

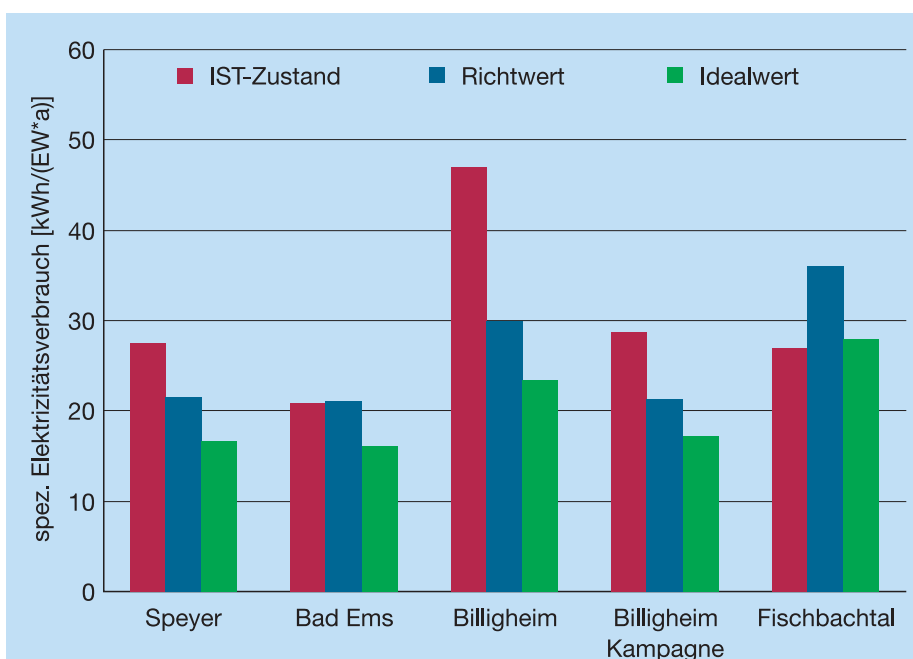
Für die Anlagen mit Faulung (Bad Ems, Speyer) erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Faulgasnutzung bzw. -umwandlung: in Speyer werden nur rund 83 % einer Nutzung zugeführt. Dieser Wert liegt damit deutlich unterhalb des Richtwertes von 98 bzw. des Idealwertes von 99 %. Der Eigenversorgungsgrad an elektrischer Energie beträgt hier 27 % (und liegt damit ebenfalls deutlich unterhalb des Richtwertes von 55 und des Idealwertes von 72 %). Der Eigenversorgungsgrad an thermischer Energie aus Faulgas liegt mit 96 % im Bereich des Richt- bzw. Idealwertes.

Auf der Kläranlage Bad Ems steht kein BHKW/MGT zur Verfügung. Daher beträgt der Grad der Faulgasumwandlung in elektrische Energie 0 %. Das anfallende Gas wird nur zur Wärmeproduktion im Heizkessel eingesetzt. Der Grad der Faulgasumwandlung in Wärme liegt hier mit 91 % noch deutlich unterhalb des Richtwertes von 97 % bzw. des Idealwertes von 98 %.

Auffallend in Bad Ems und Speyer ist die relativ geringe spezifische Faulgasproduktion, die mit 388 l/kg bzw. 400 l/kg in den Faulbehälter eingetragenen oTR unterhalb der Sollwerte von 450 bzw. 475 l/kg oTR liegt. Hier

ergibt sich durch sukzessive Verminderung der Schlammmasse in der Biologie und der hieraus resultierenden Reduzierung des Schlammalters ggf. noch Optimierungspotenzial.

Eine detaillierte Darstellung der spezifischen Verbrauchswerte der Anlagen findet sich im Anhang.



Spezifischer Energieverbrauch der Belebungsstufen der Referenzanlagen im Vergleich zum Richt- und Idealwert

4 Ergebnisse von Referenzanlagen in Rheinland-Pfalz

4.4 Beispiele für Optimierungsmaßnahmen

Der Vergleich des vorhandenen spezifischen Energieverbrauchs der einzelnen Verbrauchergruppen (z. B. Zulaufpumpwerk, Belebung, anaerobe Stabilisierung) mit dem spezifischen Verbrauch einer Modellanlage zeigt das theoretische Einsparpotenzial auf. Der Verbrauch der vier Kläranlagen ist im Anhang (Tabelle: Energiematrix) zusammengestellt. Das theoretische Einsparpotenzial bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch liegt bei den vier Anlagen zwischen 28 - 50 %. Die wirtschaftliche und technische Überprüfung der Maßnahmen, die aus dem Kennzahlenvergleich sowie der Ermittlung der Kosten-Nutzen-Faktoren heraus abgeleitet wurden, ergibt ein Einsparpotenzial von 20 - 40 %.

Die ermittelten Energieeinsparmaßnahmen lassen sich grundsätzlich in verfahrenstechnische und maschinentechnische Maßnahmen unterscheiden. Bei den verfahrenstechnischen Maßnahmen werden zur Energieeinsparung gezielt verfahrenstechnische/betriebliche Kenngrößen wie das Schlammalter, Sauerstoffsollwerte etc., verändert. Bei den maschinentechnischen Maßnahmen wird durch den Austausch von Aggregaten der Wirkungsgrad verbessert und darüber Energie eingespart.

Die Auswertung der Energiedaten der vier untersuchten Referenzanlagen zeigt vielfach in den gleichen Verbrauchergruppen ein deutliches Einsparpotenzial (Bild). Im Folgenden wird auf die möglichen Optimierungspotenziale eingegangen.

Verfahrenstechnische Maßnahmen

Rührwerke

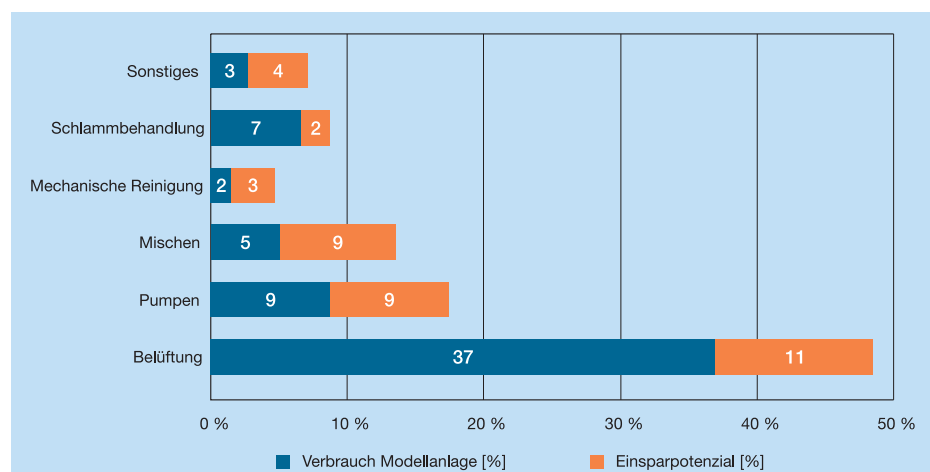
Der spezifische Energieeintrag von Rührwerken zur ausreichenden Umwälzung des Belebtschlammes sollte bei $1,5 - 2 \text{ W/m}^3_{\text{BB}}$ liegen (MUNLV, 1999). In den belüfteten Beckenbereichen bzw. während der belüfteten Phase bei intermittierendem Betrieb reicht der Sauerstoffeintrag für die Umwälzung des belebten Schlammes in der Regel auch ohne zusätzlichen Rührwerksbetrieb aus. Der spezifische Energieeintrag kann z. B. durch Abschalten von Rühraggregaten, durch Polumschaltung der Motoren oder durch geänderte Anstellwinkel der Schaufeln reduziert werden. Bei diesen Maßnahmen ist jedoch darauf zu achten, dass es zu keiner Entmischung des belebten Schlammes kommt.

In der Tabelle rechts sind die Energieeinsparungen für die vier Referenzanlagen – aufgeteilt nach belüfteten und unbelüfteten Belebungsbeckenvolumen – dargestellt.

RV-Verhältnis

Der Rücklaufschlammvolumenstrom ist auf den vier untersuchten Kläranlagen konstant eingestellt. Das RF-Verhältnis liegt für die Kläranlage Speyer und Fischbachtal zwischen 0,6 und 1,8; für die Kläranlage Billigheim bei > 2 und für die Kläranlage Bad Ems bei 1,2. Durch die Einstellung eines konstanten Rücklaufschlammverhältnisses RV im Bereich von 0,7 bis 1 wer-

Anteil einzelner Verbrauchergruppen am Gesamtstromverbrauch mit dem zugehörigen theoretischen Einsparpotenzial (Durchschnitt von 3 Anlagen (ohne Fischbachtal) gleich 100 %)



Anlage	Volumen	PW	spezif. Umwälzleistung	Einsparung	
	[m³]	[kW]	[W/m³]	[W/m³]	[kWh/a]
Nitrifikationsbecken					
Speyer	4912	0,0	0,0	0,0	0
Fischbachtal *	307	0,4	1,4	1,4	3.679
Bad Ems *	2504	6,4	2,6	2,6	56.356
Billigheim	2379	14,5	6,1	6,1	126.964
Denitrifikationsbecken					
Speyer	8872	19,6	2,2	0,7	54.768
Fischbachtal *	511	2,3	4,5	3,0	13.433
Bad Ems *	4983	12,9	2,6	0,0	0
Billigheim	221	1,3	6,1	4,6	8.891

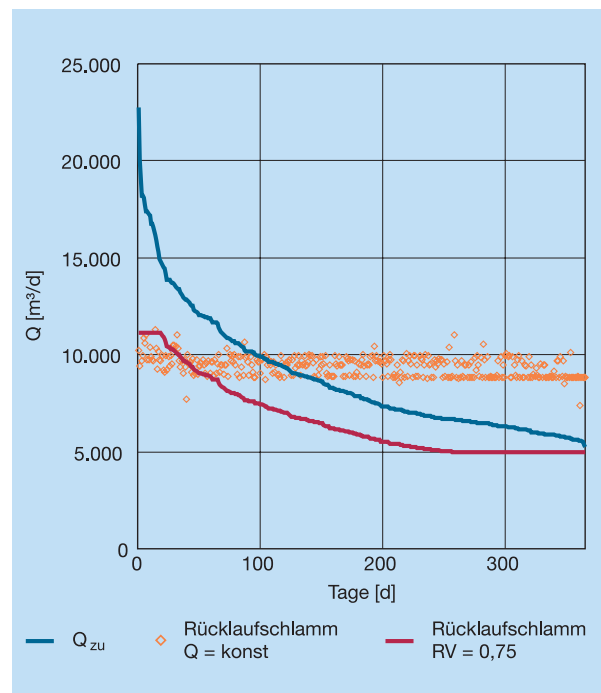
* intermittierende Belüftung: Volumen in Abhängigkeit von der belüfteten Zeit ermittelt

Spezifische Umwälzleistung der Rührwerke und mögliches Einsparpotenzial.

den die Fördermengen und damit auch die Energiekosten reduziert. Des Weiteren resultiert aus einer Reduzierung des Rückführverhältnisses häufig eine bessere Eindickung des Schlammes in der Nachklärung.

Für die Einstellung eines konstanten Rücklaufschlammverhältnisses ist eine Steuerung der Rücklaufschlammpumpe über einen Frequenzumrichter oder der Einsatz volumenproportionaler geregelter Überfallschieber erforderlich. Durch das geänderte RF-Verhältnis reduziert sich bspw. für die Kläranlage Speyer für eine Beckenstraße die Rücklaufschlammmenge von 3.434.904 auf 2.408.265 m³/a. Unter Annahme einer spezifischen Förderleistung der RS-Pumpe von 4 Wh/(m³·m_{FH}) und einer Förderhöhe von 1,5 m ergibt sich eine Einsparung von 6.160 kWh/a. Die Kosten für die Einbindung einer automatisierten RS-Förderung sind der möglichen Energieeinsparung gegenüberzustellen (siehe Bild).

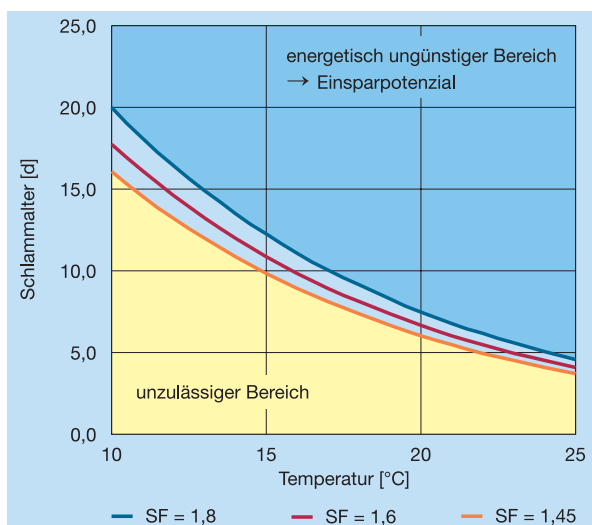
Für die Kläranlage Billigheim kann das Rücklaufschlammverhältnis RV auf ca. 1,8 durch die Außerbetriebnahme von zwei der vier Rücklaufschlamm-schnecken reduziert werden. Diese Maßnahme, die auf der Anlage in 2006 umgesetzt wurde, führt zu einer Energieeinsparung von ca. 70.000 kWh/a.



Gegenüberstellung der geförderten Wassermenge bei einer konstanten Rücklaufschlammmenge und bei einem konstantem Rücklaufschlammverhältnis von $RV = 0,75$

Schlammalter

Unabhängig von der Kläranlagengröße hat sich gezeigt, dass in den untersuchten Kläranlagen häufig nicht das optimale Schlammalter eingestellt ist. Das erforderliche Schlammalter ist abhängig vom Reinigungsziel, der Temperatur und der Kläranlagengröße (siehe Bild). Es ist auffallend, dass bei vielen Kläranlagen – sowohl bei Anlagen mit simultan aerober als auch mit anaerober Schlammstabilisierung – deutlich höhere Schlammalter "gefahren" werden als erforderlich und damit unnötig Energie verbraucht wird. Der Anstieg der Überschussschlammmenge und die damit verbundenen Kosten für die Entwässerung und Entsorgung müssen berücksichtigt werden, sie sind jedoch im Vergleich zur möglichen Energieeinsparung relativ gering. Bei Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung führt die Reduzierung des Schlammalters zu einem Schlamm mit höherem oTR-Gehalt und damit zu einem potenziell höheren Gasertrag. So kann beispielsweise bei Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung durch die Reduzierung des vorhandenen Schlammalters von 17 d auf die erforderlichen 11 d bei einer Temperatur von 15 °C der Sauerstoffeintrag um 4 % aufgrund der geringeren Grundatmung des Belebtschlammes gesenkt werden.



Erforderliches Schlammalter im Belebungsbecken nach ATV-DVKW-A 131 für eine vorgeschaltete Denitrifikation, VDN / VBB = 0,5 und unterschiedlichen Schwankungsfaktoren

O₂-Gehalt / Regelung Sollwerte

Zur sicheren Einhaltung der geforderten Ablaufwerte ist ein ausreichender Sauerstoffeintrag in das Belebungsbecken zu gewährleisten. Üblicherweise sollte daher die Sauerstoffkonzentration im Nitrifikationsbecken zwischen 1,5 und 2 mg/l liegen. Mit höheren Sauerstoffkonzentrationen kann nur eine geringfügige Verbesserung der Umsatzrate der Nitrifikanten erreicht werden; dies führt aber zu einer deutlichen Erhöhung der erforderlichen Luftmenge. Eine Absenkung der Sauerstoffkonzentration von 3 auf 2 mg/l führt zu einer Abnahme der Umsatzleistung der Nitrifikanten von 5 %, aber zu einer Reduzierung der Luftmenge um 17 % (siehe Bild). Die Absenkung der Sauerstoffkonzentration sollte schrittweise unter Beobachtung der Ablaufwerte und der Schlamm-eigenschaften erfolgen. Sauerstoffgehalte kleiner 1 mg/l sind zu vermeiden, da hierdurch die Gefahr der Bildung von Bläh- und Schwimmschlamm ansteigt.

Weiterhin wird empfohlen, Sauerstoffprofilmessungen durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Sauerstoffsonde für die Regelung des Sauerstoffeintrags an einer repräsentativen Stelle angeordnet ist. Neben der Absenkung der Sauerstoffkonzentration kann in den Sommermonaten das belüftete Volumen in Abhängigkeit vom erforderlichen aeroben Schlammalter reduziert und dadurch gleichzeitig die Denitrifikationsleistung verbessert werden. Bei größeren Anlagen ist eine Regelung des Sauerstoffeintrags in Abhängigkeit von der Ammoniumablaufkonzentration zu empfehlen.

Die Stickstoffeliminierung erfolgt bei Anlagen in der Größenordnung von 10.000 - 30.000 EW häufig über eine intermittierende Belüftung. Die Regelung kann über eine Sauerstoff-, Redox- oder Nitratmessung (teilweise in Kombination mit einer Ammoniummessung) erfolgen. Aufgrund der geringen Investitions- und Betriebskosten für ionenselektive Sonden ist die Energieeinsparung für die Belüftung durch eine optimierte Regelung bei gleich bleibenden Ablaufwerten zu empfehlen. Bei parallel betriebenen Becken kann ggf. eine wechselseitige Belüftung in Betracht gezogen werden, d.h. ein Becken ist im belüfteten Zustand, während im anderen Becken die Belüftung abgeschaltet ist. Nach einer festgelegten Zeit wird umgeschaltet, nun wird das ursprünglich belüftete

Becken anoxisch betrieben, während das andere Becken belüftet wird. Durch diese Fahrweise können Stromspitzen vermieden werden. Eine derartige Betriebsweise ist jedoch nur über eine Zeit-Pausen-Steuerung möglich.

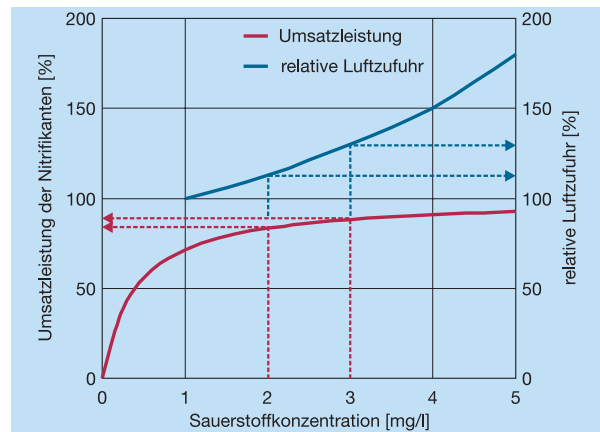
Die Aufteilung des Sauerstoffeintrags bei größeren, mehrstufigen Belebungsanlagen erfolgt üblicherweise über eine Konstant-Druck-Regelung. Zur Aufteilung der Luft auf die einzelnen Becken sollten Blendenregulierschieber eingesetzt werden. Der Einsatz von Platten-schiebern und Klappen, die keine definierte Regelcharakteristik aufweisen, ist nicht zu empfehlen.

Ein weiteres Einsparpotenzial bietet die Gleitdruckregelung. Hierbei wird in Abhängigkeit vom Sauerstoffbedarf der minimal erforderliche Druck in der Luftzufuhrleitung eingestellt. Hiermit können ca. 3 - 5 % der Belüftungsenergie eingespart werden (Wagner, 2006).

Betrieb von Kampagnenanlagen

Bei Kampagnenanlagen müssen für den Betrieb außerhalb der Kampagne und den Betrieb während der Kampagne unterschiedliche Regelstrategien implementiert werden:

- Außerhalb der Weinbaukampagne können die klassischen Automatisierungsstrategien zur Stickstoffelimination in Abhängigkeit von den verfahrenstechnischen Randbedingungen (vgl. Merkblatt DWA-M 269) eingesetzt werden
- Während der Kampagnebelastung gilt es indes, möglichst ausreichend Sauerstoff zum Kohlenstoffabbau zur Verfügung zu stellen. Auf eine Stickstoffelimination kann hier in der Regel verzichtet werden, da der zur Verfügung stehende Stickstoff zum Aufbau von Zellmasse meist vollständig eingebaut wird; teilweise muss sogar gezielt Stickstoff und Phosphor dosiert werden. Neben der Kontrolle der Ablaufwerte muss während des Kampagnetriebs ein besonderes Augenmerk auf die Schlammigenschaften gelegt werden. Teilweise muss auf energetische Optimierungsmaßnahmen aus Rücksicht auf die Gefahr der Verschlechterung der Schlammabsetzeigenschaften verzichtet werden.



Einfluss des Sauerstoffgehaltes im Belebungsbecken auf die Umsatzleistung der Nitrifikanten und auf die erforderliche Sauerstoffzufuhr bei 15 °C, (ATV, 1999 a)

Bei der untersuchten Kampagnenanlage Billigheim werden während der Kampagne beide Belebungsbeckensstufen belüftet, um die Kohlenstoffelimination sicherzustellen; zusätzlich wird ein vorgeschalteter, aerober Selektor zu Blähschlamm bekämpfung betrieben. Außerhalb der Kampagne wird nur die erste Belebungsstufe kontinuierlich belüftet und die zweite Stufe intermittierend betrieben, um eine Stickstoffelimination zu erreichen. In der ersten Stufe wird durch die Belüftung der Kohlenstoff aerob veratmet und steht in der zweiten Stufe für die Denitrifikation nicht zur Verfügung. Durch eine Veränderung der Verfahrensführung zu einer vorgeschalteten oder alternierenden Denitrifikation außerhalb der Kampagne kann Sauerstoff eingespart werden, da weniger Kohlenstoff aerob veratmet wird. Die Einsparung an Belüftungsenergie ist relativ gering. Für die Kläranlage Billigheim ergibt sich eine Einsparung von 2 %. Demgegenüber stehen die erforderlichen Pumpkosten für die Rezirkulation sowie die Kosten für die notwendigen verfahrenstechnischen Maßnahmen. Eine Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen ist kurzfristig nicht gegeben.

Obwohl der Energieeintrag in den aeroben Selektor in Billigheim vergleichsweise hoch ist, wird auf diese Verfahrensstufe aus Rücksicht auf die Schlammigenschaften nicht verzichtet.

Umstellung von aerober auf anaerobe Stabilisierung

Durch die Umstellung einer aeroben Schlammstabilisierung mit einem Schlammalter von 25 d auf eine anaerobe Stabilisierung kann das Schlammalter im Belebungsbecken deutlich abgesenkt und damit Belüftungsenergie eingespart werden. Neben der Einsparung an Belüftungsenergie kann mit dem Bau einer anaeroben Stabilisierungsanlage mit Gasnutzung ein Eigendeckungsgrad an Energie von 37 - 68 % erreicht werden. Mit der Umstellung sind hohe Investitionskosten verbunden. Es entsteht ein zusätzlicher Betriebspunkt auf der Anlage. Für die Kläranlage Fischbachtal wurde der Einsatz einer Faulungsanlage überprüft: aufgrund der geringen Anschlussgröße ist die Maßnahme jedoch nicht wirtschaftlich. Als wirtschaftliche Maßnahme bietet sich die Umstellung insbesondere bei überlasteten Anlagen oder erforderlichen Erweiterungen an, sofern mit der Reduzierung des Schlammalters auf den Bau zusätzlichen Belebungsbeckenvolumens verzichtet werden kann. Auch die gemeinsame anaerobe Schlammbehandlung für mehrere aerob stabilisierend betriebene Anlagen (die dann mit geringerem Schlammalter betrieben werden können) kann eine wirtschaftliche Alternative sein. Hier sind jedoch die Kosten für den Schlammtransport und die hohe Stickstoffrückbelastung durch die zentrale Faulung auf nur einer Kläranlage zu berücksichtigen.

Erhöhung der spezifischen Faulgasproduktion

Der Gasertrag der Faulungsanlagen kann durch folgende Betriebseinstellungen verbessert werden:

- geringe Aufenthaltszeit in der Vorklärung,
- niedriges Schlammalter im Belebungsbecken,
- hohe Temperatur,
- lange Aufenthaltszeit im Faulturm,
- gleichmäßige Beschickung des Faulbehälters,
- Zugabe von Enzympräparaten in den Faulbehälter,
- Schlammintegration,
- Co-Vergärung.

Die Aufenthaltszeit in der Vorklärung ist abhängig von dem erforderlichen Reinigungsziel, bei Anlagen mit Denitrifikation ist z. B. eine Erhöhung der Aufenthaltszeit in der Vorklärung aufgrund des höheren Vorabbaus leicht abbaubarer Kohlenstoffverbindungen häufig nicht er-

wünscht. Eine Erhöhung der Faulgasproduktion kann durch Anpassung des Schlammalters im Belebungsbecken erfolgen. Durch die Absenkung des Schlammalters im Belebungsbecken um 6 Tage erhöht sich die Faulgasproduktion um 1,4 Prozent. Bei einer Temperatur von 35 °C und einer Aufenthaltszeit von 15 d im Faulbehälter liegt die Abbaurate an organischer Trockensubstanz bei 50 bis 55 %. Die Anhebung auf 30 d erhöht die Abbaurate auf 55 bis 60 % (MUNLV NRW, 1999). Die Erhöhung der hydraulischen Aufenthaltszeit ist insbesondere durch eine effektive Voreindickung zu erreichen.

Maschinentechnische Maßnahmen

Belüftungselemente

In den meisten Belebungsanlagen in Rheinland Pfalz werden Druckbelüftungselemente eingesetzt. Der spezifische Sauerstoffeintrag von flächig angeordneten Druckbelüftungselementen liegt in einem Bereich zwischen 10 bis 25 g O₂/(m³_{BB}*m_{ET}). Durch den Austausch von Belüftungselementen mit einem höheren spezifischen Sauerstoffeintrag kann der Energieeintrag für die Belüftung deutlich reduziert werden.

Bei der Kläranlage Billigheim liegt der spezifische Sauerstoffeintrag bei ca. 14 g O₂/(m³_{BB}*m_{ET}); mit dem Einbau neuer Belüftungselemente ist eine Energieeinsparung von 226.000 kWh/a zu erwarten.

Durch biologische Belagsbildungen und chemische Ablagerungen auf bzw. in den Belüfterelementen kommt es zu einer Erhöhung des Differenzdruckes. Die Belüftungselemente sollten chemisch gereinigt werden, wenn sich der Anfangsdruck um 5 bis 10 % erhöht hat. Dies entspricht einer Erhöhung des erforderlichen Energiebedarfs für die Belüftung um 5 bzw. 10 %. Weiterhin sollten die Belüftungselemente täglich einmal über einen Zeitraum von 5 bis 10 min unter Volllast betrieben werden, um einer Belagsbildung vorzubeugen. In speziellen Fällen kann eine Eindüsung von Ameisensäure nach Vorgabe des Herstellers sinnvoll sein. Grundsätzlich sollte mit der Inbetriebnahme ein Sauerstoffeintragsversuch erfolgen und der Systemdruck aufgezeichnet werden. Für die Überwachung der Druckentwicklung sollte die Hauptlieferleitung an geeigneter Stelle mit einer Druckmessung ausgerüstet werden.

Gebälseleistung

Zur Versorgung der Belebungsbecken mit Druckluft werden Drehkolbengebläse oder Turboverdichter eingesetzt. Der spezifische Energiebedarf für den Lufteintrag liegt bei optimalen Bedingungen bei einer Einblastiefe vom 5 m für Turboverdichter bei 15 W/(Nm³*h) und für Drehkolbenverdichter bei 20 W/(Nm³*h). Bei kleineren Verdichtern sinkt die spezifische Leistung. Anhand von Luftvolumenstrommessungen kann die spezifische Leistung der Gebläse/Verdichter überprüft werden. Wenn keine Messungen vorliegen, kann der Wirkungsgrad der Gebläse/Verdichter über den erforderlichen Sauerstoffeintrag nach ATV-DVWK-A 131 für die mittlere Zulaufbelastung und den gemessenen Energieverbrauch ermittelt werden. Der Wirkungsgrad sollte im Bereich von 70 bis 80 % liegen. Bei geringen Wirkungsgraden sollte das Gebläse bzw. der Verdichter auf mögliche Schäden untersucht und eventuell ausgetauscht werden. Der Gesamtwirkungsgrad der Gebläse/Verdichter ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$\eta_{\text{Gebläse}} = Q_L \cdot \rho_1 \cdot g \cdot (p_e \cdot g) / (P \cdot 86.400)$$

mit Q_L = Luftmenge [Nm³/d]

ρ_1 = Dichte der angesaugten Luft [kg/m³]

p_e = Gebläsedruck [bar]

P = Leistung Gebläse [kW]

g = Gravitationskonstante [m/s²]

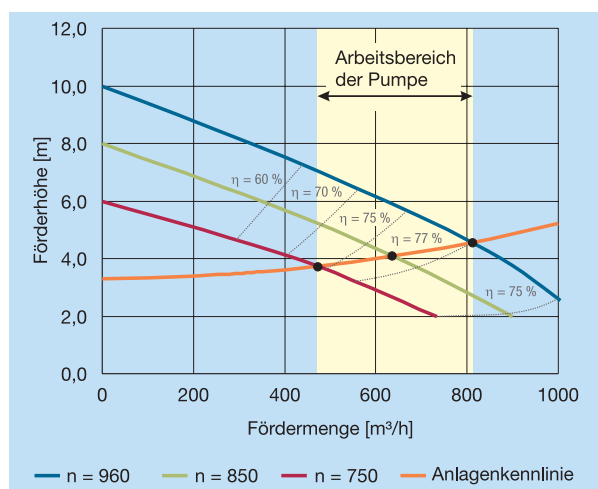
Die Gebläse/Verdichter werden für die 85 %-Perzentil-Belastung bzw. die maßgeblichen maximalen Zulaufsraten zur biologischen Stufe (Auswertung der zugehörigen 2-Wochen-Mittel für CSB und Stickstoff nach ATV-DVWK) ausgelegt. Weiterhin werden häufig Zuschläge für den Ausbauzustand berücksichtigt. Der Betrieb der Verdichter erfolgt daher überwiegend im Teillastbereich. Der erforderliche Leistungsbereich sollte daher wenn möglich über eine Staffelung von mehreren drehzahlgesteuerten Gebläsen/Verdichtern abgedeckt werden, so dass auch im Teillastbereich in einem guten Wirkungsgradbereich gearbeitet werden kann. Bei zu groß ausgelegten Verdichtern/Gebläsen ist häufig bereits der Austausch eines Aggregates gegen ein kleineres wirtschaftlich, um eine bessere Abstufung zu erreichen.

Pumpen

Bei Hebewerken und Pumpwerken hängt der Energiebedarf von der zu fördernden Abwassermenge und der vorhandenen Förderhöhe ab. Der Energieverbrauch, um 1 m³ Abwasser 1 m hoch zu fördern, beträgt 2,7 Wh/(m³*m_{FH}). In Abhängigkeit von dem Pumpen- und Motorwirkungsgrad ergibt sich ein Energieverbrauch von 3 - 11 Wh/(m³*m_{FH}). Neben dem Pumpentyp ist der Wirkungsgrad einer Kreiselpumpe von der richtigen Auslegung abhängig. Bei einer optimalen Auslegung ist für Kreiselpumpen und Schneckenpumpen ein spezifischer Energieverbrauch von 4 Wh/(m³*m_{FH}) zu erreichen. Bei einem deutlich höheren spezifischen Energieverbrauch sind die Auslegung und der Verschleißzustand der Pumpe zu überprüfen.

Für den Betrieb von Pumpen bei verschiedenen Fördermengen (z.B. RS-Pumpwerk) und bei überdimensionierten Pumpen ist der Einsatz eines Frequenzumrichters sinnvoll. Der Wirkungsgrad eines Frequenzumrichters liegt zwischen 70 und 95 %. Trotz der (geringen) Verluste durch den Frequenzumrichter wird die erforderliche elektrische Leistung im Teillastbetrieb reduziert (Bild).

Für die Kläranlage Fischbachtal können z. B. durch den Austausch einer zu groß dimensionierten Rücklaufschlammpumpe mit einem spezifischen Energieverbrauch von 34 Wh/(m³*m_{FH}) rund 22.000 kWh/a eingespart werden.



Arbeitsbereich und Wirkungsgrad einer Pumpe bei Einsatz eines Frequenzumrichters

Blockheizkraftwerk – Mikrogasturbine

Zur wirtschaftlichen Nutzung des Faulgases mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) oder Mikrogasturbine (MGT) sind die hierfür erforderlichen technischen Einrichtungen in das elektrische und wärmetechnische Gesamtkonzept der Kläranlage zu integrieren.

Wesentliche Komponenten einer Anlage sind

- Gasmotor mit Generator (BHKW) bzw. Gasturbine mit Generator (MGT),
- Abgassystem,
- Gasschiene mit Speicher, Verdichterstation, Kessel und Faulturm,
- Wärmeschiene mit Heizungsanlage u. Wärmetauschern,
- elektrisches Versorgungsnetz der Kläranlage.

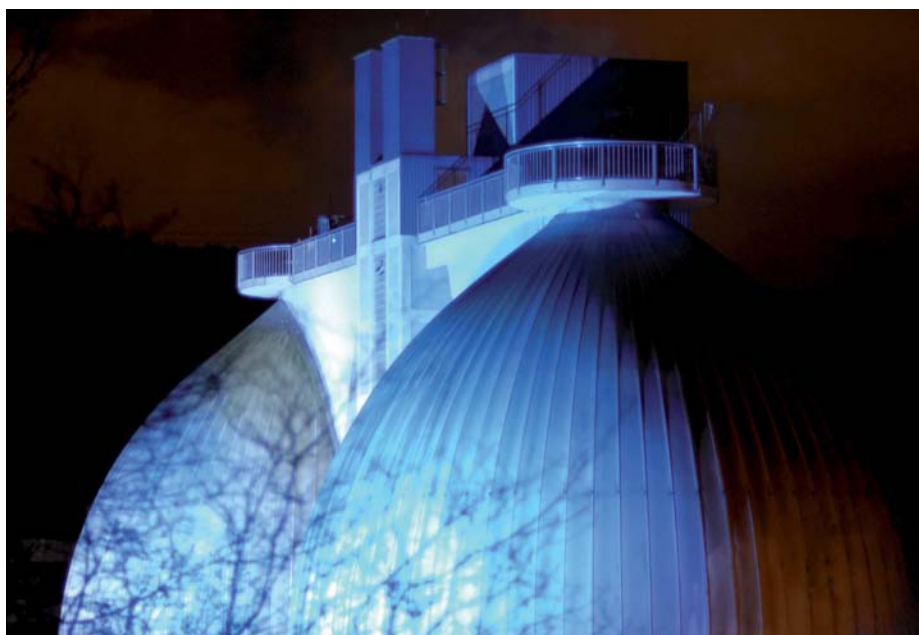
Die Entscheidung für ein BHKW oder eine MGT ist abhängig von der Faulgasmenge und der Schwankungsbreite der Faulgasproduktion. Hierbei ist zu beachten, dass auch bei der vorrangigen Verstromung des Faulgases weiterhin die erforderliche Wärmemenge für die Faulschlammaufheizung zur Verfügung steht.

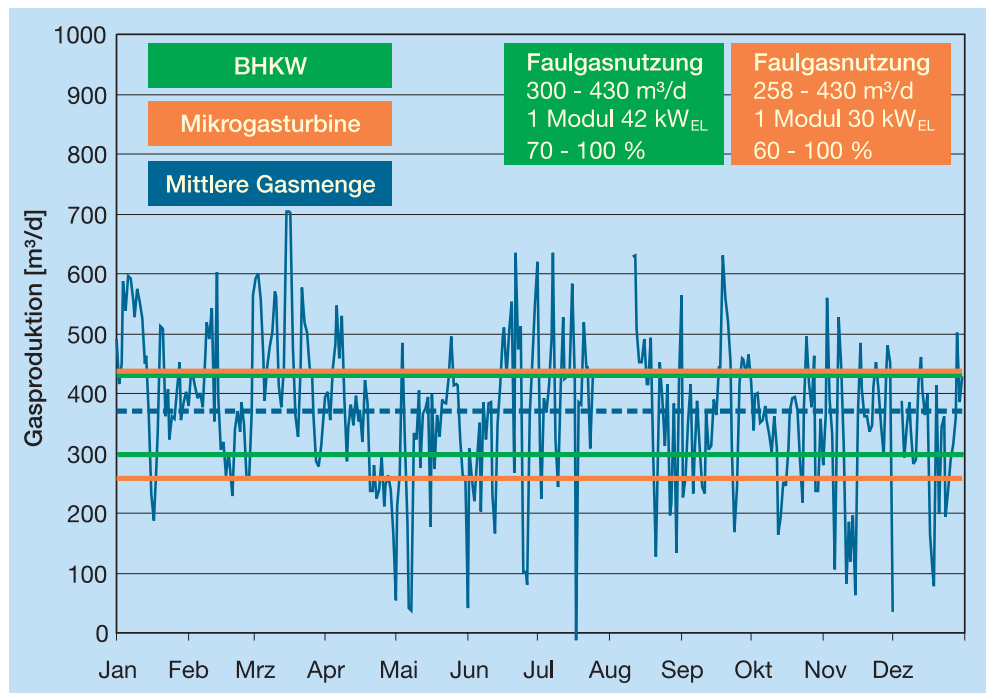
Der Gesamtwirkungsgrad eines BHKWs liegt heute üblicherweise bei 85 %, der elektrische Wirkungsgrad liegt zwischen 35 bis 40 %, die Differenz ergibt den thermischen Wirkungsgrad. Das BHKW-Modul sollte so ausgelegt sein, dass es nicht in einem ungünstigen Teillastbereiches kleiner 70 % geregelt werden muss. Im Vergleich dazu liegt der elektrische Wirkungsgrad einer MGT mit 25 bis 30 % deutlich niedriger als bei einem BHKW. Der Gesamtwirkungsgrad liegt bei 80 %. Vorteile der MGT sind demgegenüber ein guter Wirkungsgrad auch im Teillastbereich von 60 bis 100 % sowie deutlich kleinere Aggregateinheiten im Bereich

von 30 bis 60 kW. Durch die Kopplung mehrerer Einheiten bei geringen und stark schwankenden Faulgasmen-gen kann der Einsatz einer MGT daher wirtschaftliche Vorteile bieten.

In Bild rechts ist die mögliche Faulgasnutzung für die KA Bad Ems durch ein BHKW-Modul mit einer elektrischen Leistung von 42 kW und einer MGT mit einer elektrischen Leistung von 30 kW gegenübergestellt. Der Arbeitsbereich der MGT liegt zwischen 258 - 430 m³/d, unter Berücksichtigung einer mittleren Auslastung von 85 % kann eine elektrische Leistung von 187.000 kWh/a erzeugt werden. Das BHKW hat einen kleineren Arbeitsbereich zwischen 300 - 430 m³/d (mittlere Auslastung 80 %), aufgrund des höheren Wirkungsgrades kann eine elektrische Leistung von 216.520 kWh/a erzielt werden.

Neben den Investitionskosten für das BHKW bzw. MGT sind auch die Betriebs- und Wartungskosten zu berücksichtigen. Diese fallen bei der MGT aufgrund des verschleißarmen Antriebs deutlich geringer aus. Zusätzliche Investitionskosten fallen in Bad Ems für die Schlammvoreindickung an, um die erforderliche Wärmemenge für die Aufheizung des Faulschlammes weiter bereitzustellen.





*Faulgasproduktion der Kläranlage Bad Ems und ermittelter
Arbeitsbereich von BHKW und Mikrogasturbine*

Abwärmenutzung

Bei Anlagen ohne anaerobe Faulstufe wird die benötigte Wärmeenergie für die Heizung des Betriebsgebäudes überwiegend über einen Heizkessel mit fossilen Energieträgern zur Verfügung gestellt. Als Alternative bietet sich hier die Nutzung der Abwasserwärme an.

Die Temperatur im Zulauf zur Kläranlage liegt in der Regel zwischen 7 - 20 °C. Um die Wärme aus Abwasser zu nutzen, kann zum einen ein Wärmetauscher in die Sohle des Abwasserkanals eingebaut werden, oder es kann das gereinigte Abwasser des Ablaufs direkt einem Wärmetauscher zugeführt werden. Mit Hilfe von Wärmepumpen wird das Abwasser auf das für die Raumheizung benötigte Temperaturniveau angehoben.

Für die Kläranlage Fischbachtal wurde der Einsatz eines

Wärmetauschers für die Raumheizung des Betriebsgebäudes überprüft. Für die Ermittlung des Wärmebedarfs für das Betriebsgebäude wurde nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 eine spezifische Heizlast von 50 W/m² angesetzt. Mit einer Fläche des Betriebsgebäudes von 130 m² errechnet sich ein Wärmebedarf von 6,5 kW. Die spezifische Wärmetauscherleistung bei einem Wärmetauscher im Zulaufkanal liegt bei 3 - 4 kW/m² (Bundesamt für Energie, CH, 2004). Hiermit ergibt sich für die Kläranlage Fischbachtal eine erforderliche Wärmetauscheroberfläche von 2 m². Die Abkühlung des Abwassers durch die Wärmepumpe ist mit 0,005 °C vernachlässigbar, die Wärmenutzung im Zulaufkanal hat somit keinen Einfluss auf die Abwasserreinigung.

4 Ergebnisse von Referenzanlagen in Rheinland-Pfalz

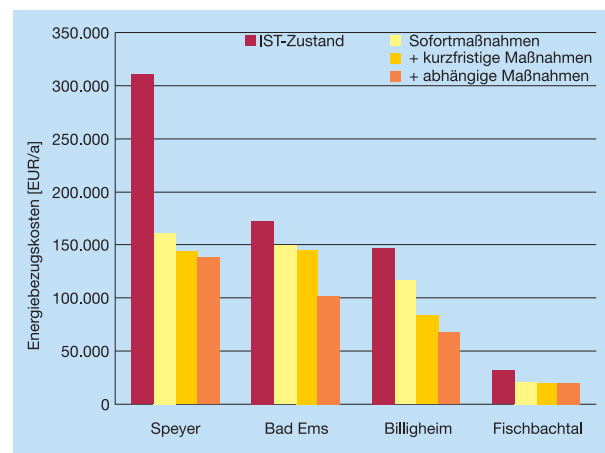
4.5 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Kosten-Nutzen-Analyse

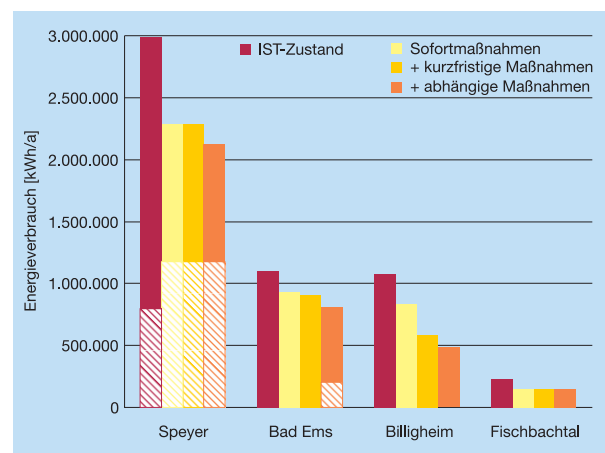
Die Wirtschaftlichkeit der möglichen Energiesparmaßnahmen ist zu prüfen. Hierzu werden in einer Kosten-Nutzen-Analyse die gesamten jährlichen Kosten (Kapitalisierung der energetisch bedingten Zusatzinvestitionen und evtl. zusätzlicher Unterhaltskosten) durch den gesamten jährlichen Nutzen (Einsparung bei den Energiekosten und evtl. weiteren Betriebskosten) dividiert. Ein Kosten-/Nutzenverhältnis $< 1,0$ ist wirtschaftlich. Die Jahreskosten werden mit der zugehörigen Annuität aufgrund des Zinssatzes und der Nutzungsdauer des Anlagenteils berechnet (vgl. a. LAWA, 2005). Im Rahmen dieser Studie wurde ein Zinssatz von 4 % und eine Nutzungsdauer von 10 Jahren angesetzt. Die Energiekosten basieren auf dem Mittelpreis des Untersuchungszeitraums zuzüglich eines Preisaufschlages von 20 %, die sich an den Preissteigerungen im Energiesektor der letzten Jahre orientiert.

Die Maßnahmen werden nach drei Realisierungsphasen zeitlich unterteilt:

- Für Sofortmaßnahmen ist ein Realisierungshorizont von 0 - 2 Jahren vorgesehen. Sofortmaßnahmen sind sehr rentabel, erfordern geringe Investitionen und können auf Grund der technischen betrieblichen Randbedingungen sofort realisiert werden.
- Kurzfristige Maßnahmen sind in der Regel insgesamt wirtschaftlich, sie sind aber mit entsprechenden Investitionen verbunden und müssen zumindest bei größeren Maßnahmen in einer Ausführungsplanung präzisiert werden (Realisierungshorizont: 2 - 5 Jahre).
- Abhängige Maßnahmen sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So kann z.B. ein hocheffizienter Motor in der Regel erst nach Nutzungsdauerende des alten Motors eingesetzt werden. Abhängige Maßnahmen können vielfach erst mittel- und langfristig realisiert werden (Realisierungshorizont: 1 - 10 Jahre).



Energiebezugskosten vor und nach
Umsetzung der Maßnahmen



Energiebilanz vor und nach Umsetzung der Maßnahmen:

- Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage
- Energieeigenproduktion

Berechnungsbeispiel

Für die Kläranlage Fischbachtal wurde ein spezifischer Energiebedarf für die Rücklaufsschlammpumpe von 34 Wh/(m³ * m_{FH}) bei einer Förderhöhe von 0,75 m ermittelt. Durch den Austausch der zu groß dimensionierten RS-Pumpe durch eine Pumpe mit einer spezifischen Leistung von 5 Wh/(m³ * m_{FH}) kann eine Einsparung von 22.000 kWh/a erreicht werden. Dies entspricht einen Nutzen von 3.000 €/a.

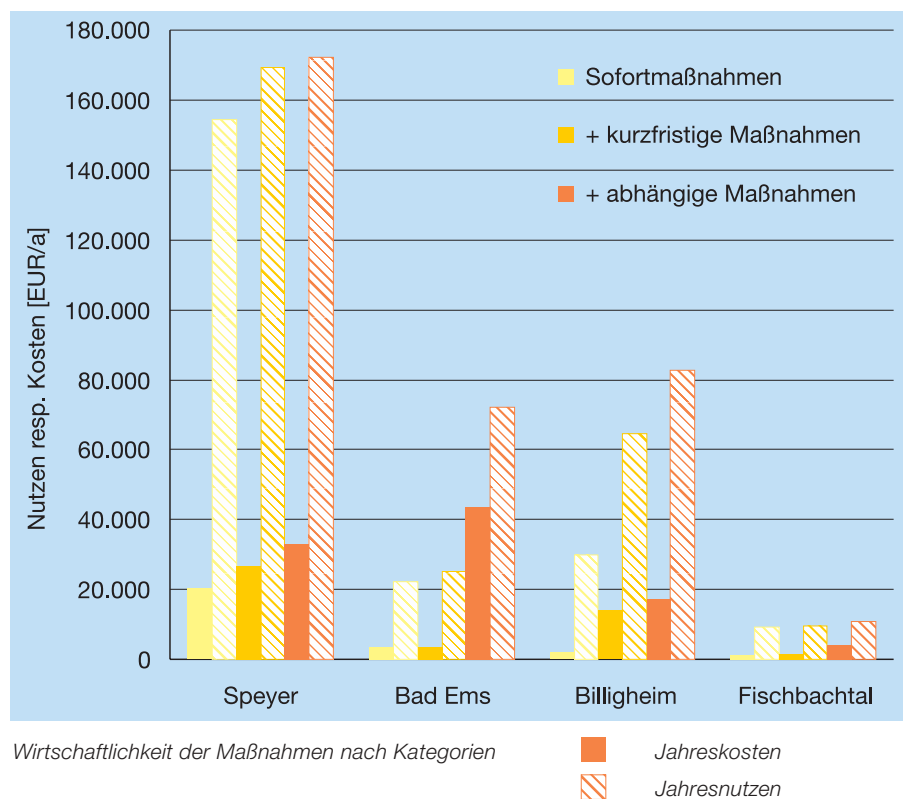
Die Kosten für die verfahrenstechnische Optimierungsmaßnahme berechnen sich wie folgt:

1 Tauchmotorpumpe, 2,5 kW	4.400 €
Rohrarbeiten	920 €
Elektroarbeiten	800 €
Unvorhergesehenes	612 €
Zwischensumme	6.732 €
zzgl. 19 % MwSt.	1.279 €
Gesamtkosten	8.011 €

Die Jahreskosten betragen bei einer Nutzungsdauer der Pumpe von 10 a, einem Zinssatz von 4,0 % und einem Annuitätenfaktor nach LAWA von 0,1233 ca. 1000 €/a. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis beträgt 0,33. Der Austausch würde sich innerhalb von 3 Jahren amortisieren und wird daher als wirtschaftliche Maßnahme empfohlen.

Einsparpotenzial der Maßnahmen

Die Auswertung der vier Referenzkläranlagen ergab ein Einsparpotenzial von insgesamt 1.756.500 kWh/a bzw. 245.900 €/a. 65 % der Einsparung, d.h. 159.700 €/a, können durch Sofortmaßnahmen realisiert werden. Die damit verbundenen Jahreskosten sind mit 25.600 €/a relativ gering, da es überwiegend verfahrenstechnische Optimierungsmaßnahmen sind. Der Kosten-Nutzen-Faktor über alle Sofortmaßnahmen ergibt einen Wert von 0,12. Neben der Energieeinsparung kann für die Kläranlage Speyer die Faulgasproduktion und Umwandlung in Energie erhöht werden, so dass der Eigendeckungsgrad von 27 % auf 53 % ansteigt. Für die Kläranlage Bad Ems kann mit dem Einsatz einer MGT eine Eigendeckung von 26 % und eine Einsparung von 30.900 €/a erreicht werden, demgegenüber stehen die Investitionskosten für die MGT.



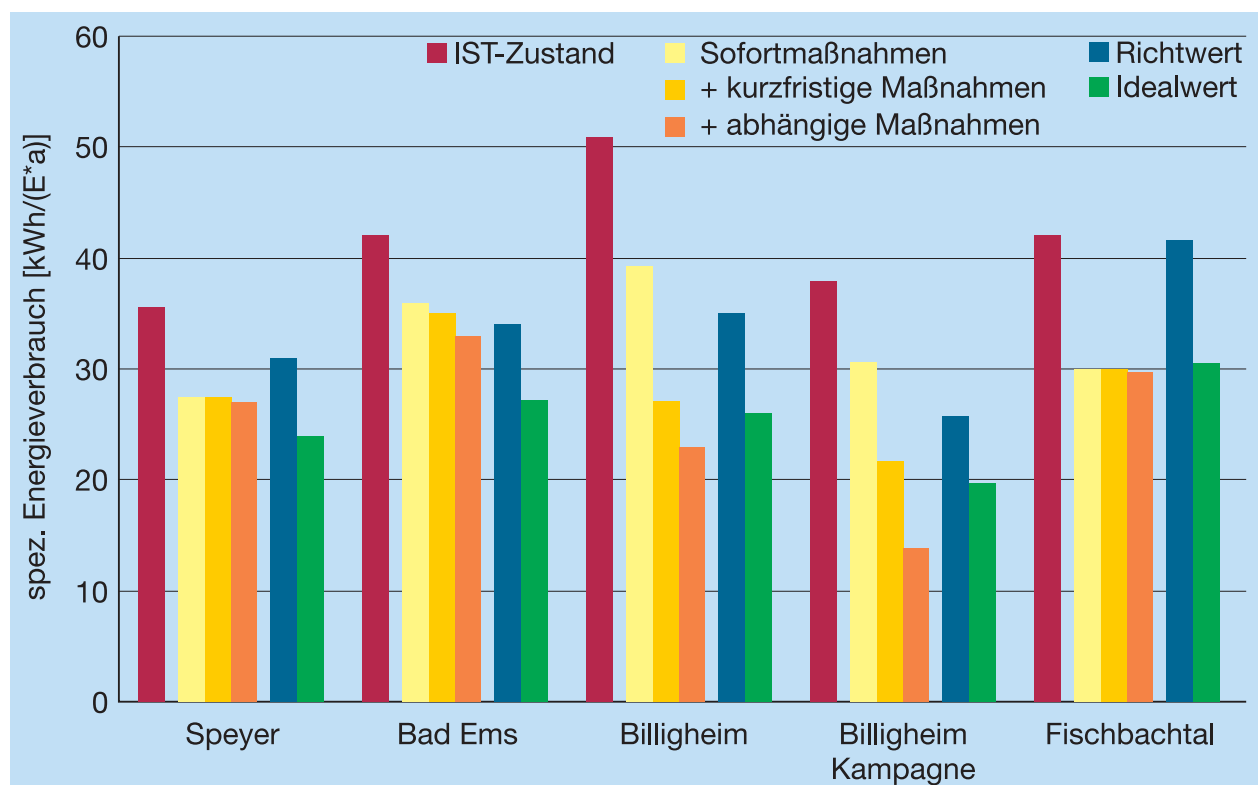
4.6 Energienachweis nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen

Zur Beurteilung der gesamten Optimierungsmaßnahmen auf den Energiehaushalt der Kläranlage wird erneut ein Energienachweis (Kapitel 4.3) durchgeführt. Die unter Berücksichtigung der Optimierungsmaßnahmen neu berechneten Energiekennwerte der Kläranlagen werden wieder mit den Richt- und Idealwerten verglichen. Der Energienachweis zeigt, dass mit Umsetzung der Maßnahmen auf den untersuchten Referenzanlagen der jeweilige Richtwert erreicht bzw. unterschritten werden kann. Für die Kläranlagen Billigheim und Fischbachtal wird sogar der Idealwert der Anlage erreicht.

Durch die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen werden im Mittel 13,2 kWh/(E*a) eingespart. Für die Kläranlage Speyer kann durch die Sofortmaßnahmen der Energieverbrauch von 36 kWh/(E*a) auf 28 kWh/(E*a) gesenkt werden. Der Hauptteil der Einsparung von 7 kWh/(E*a) ist

auf Maßnahmen in der Belebungsstufe zurückzuführen. Neben der Energieeinsparung kann durch geplante Umbaumaßnahmen im Bereich der Schlammbehandlung die Gasproduktion vergleichmäßigt und damit die Auslastung der BHKWs erhöht werden, so dass der Eigendeckungsgrad von 27 % auf 53 % ansteigt.

Das größte Potenzial zeigt sich auf der Kläranlage in Billigheim, bei der vor allem außerhalb der Kampagne allein durch Sofortmaßnahmen ein deutliches Potenzial besteht. Bei Umsetzung kurzfristiger bzw. abhängiger Maßnahmen zeigt sich noch ein größeres Potenzial. Gerade auf der Kläranlage Billigheim sind die Maßnahmen jedoch sukzessive – unter ständiger Beobachtung der Ablaufwerte sowie der Schlammigenschaften – umzusetzen. Ein Teil der Maßnahmen wurde in der Zwischenzeit bereits umgesetzt.



Energienachweis vor und nach Umsetzung der energetischen Optimierungsmaßnahmen

Maßnahmen	Speyer	Bad Ems	Billigheim	Fischbachtal
Hebewerke	Einstaupunkt erhöhen / Austausch Schnecken			
Mechanische Stufe		Austausch Sandfanggebläse	Austausch Sandfanggebläse / Sandfangräumer	FU oder Austausch Sandfanggebläse / Betriebszeit Sandfangpumpe
Biologie	Abstufung u. Austausch Gebläse / Schlammalter anpassen / O ₂ -Sollwert reduzieren / Gleitdruckregelung / Reinigung Belüfterelemente / Rührwerksleistung reduzieren / RS-Pumpen austauschen / RV reduzieren	Schlammalter anpassen / ggf. Belebungsbecken ausser Betrieb nehmen (Versuchsbetrieb erforderlich) / Rührwerke während Belüftung ausschalten / RS-Pumpen austauschen / RV reduzieren	Austausch Belüftungselemente / O ₂ -Sollwert reduzieren / FU für Verdichter / Rührwerke während Belüftung ausschalten / RV reduzieren / Verfahrensoptimierung (vorgeschaltete DN)	RS-Pumpe austauschen / Rührwerksleistung reduzieren / RZ ausschalten
Schlammbehandlung	Umwälzleistung reduzieren	Faulung / Eindicker	keine aerobe Stabilisierung	ÜS-Pumpe austauschen
BHKW / MGT	Auslastung BHKW erhöhen	Gasnutzung mit MGT		
Wärme				Wärme aus Abwasser
Infrastruktur	Austausch HW-Pumpwerk			

Überblick über die Optimierungsmaßnahmen auf den Referenzanlagen

Die Darstellung links verdeutlicht, dass bereits die Umsetzung von Sofortmaßnahmen (also Maßnahmen, die ohne Umbauten der Ablage rein betrieblich/verfahrenstechnisch umzusetzen sind) bei allen betrachteten Referenzanlagen zu einer sehr deutlichen Reduzierung der Energieverbrauchswerte führen kann. Es erscheint realistisch, alle untersuchten Referenzanlagen energetisch im Bereich des Richtwertes, teilweise sogar im Bereich des Idealwertes, zu betreiben, ohne dass hieraus eine Verschlechterung der Ablaufwerte resultiert.

Die Schwerpunkte der Maßnahme liegen hierbei in den Bereichen mechanische Stufe (insbesondere Sandfangpumpe bzw. -gebläse), biologische Stufe (Reduktion des Schlammalters, Gebläseleistung, Rücklaufschlammverhältnis) und Faulgasumwandlung in Elektrizität durch BHKW bzw. MGT. Einen Überblick über die Maßnahmen auf den Referenzanlagen gibt die Tabelle.

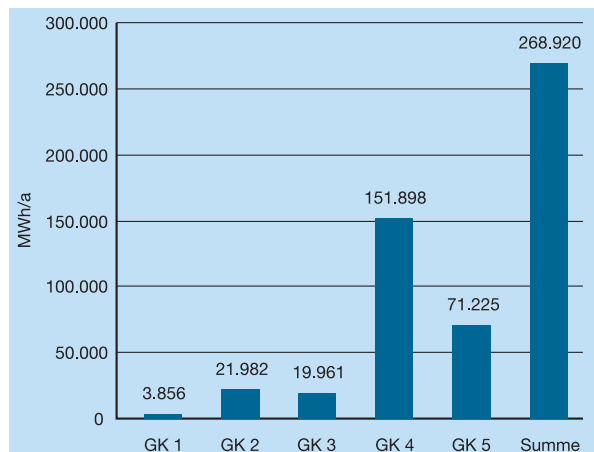
Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass auf allen

untersuchten Referenzanlagen ein z.T. erhebliches Optimierungspotenzial besteht. Als realistische Größenordnung kann hier ein Potenzial von ca. 30 bis 40 % genannt werden, wobei der Großteil auf Sofortmaßnahmen und kurzfristige Maßnahmen entfällt. Das weitaus größte Potenzial ist im Bereich der Belebungsstufe zu sehen, die auf den analysierten Referenzanlage mit > 50 % den größten Energieverbraucher darstellte. Daneben stellt der Bereich der Eigenstromerzeugung/-nutzung einen gewichtigen Faktor zur energetischen Optimierung dar.

Besondere Anforderungen sind an die Kampagne beeinflussten Anlagen zu stellen, bei denen sowohl während als auch außerhalb der Weinbaukampagne ein erhebliches Potenzial besteht, aufgrund der Besonderheiten der Kampagnebelastung müssen die Maßnahmen hier jedoch unter ständiger Beobachtung der Reaktion der Anlage durchgeführt werden.

5 Optimierungspotenzial in Rheinland-Pfalz

Im folgenden wird – ausgehend von den Ergebnissen der Untersuchungen an den Referenzanlagen sowie unter Berücksichtigung weiterer Untersuchungen zur Energieeffizienz auf Kläranlagen – der energetische IST-Zustand der Abwasserreinigung in Rheinland-Pfalz abgeschätzt. Es werden Maßnahmen für die energetische Optimierung von Kläranlagen in Rheinland-Pfalz beschrieben und in ihrer Umsetzung über Szenarien bewertet.



Energieverbrauch der Belebungsanlagen in Rheinland-Pfalz

5.1 Darstellung des energetischen IST-Zustandes

Der energetische IST-Zustand wird über die Verteilung der Abwasseranlagen in Rheinland-Pfalz auf die Größenklassen 1 bis 5 nach Abwasserverordnung sowie spezifische Verbrauchswerte für die jeweilige Größenklasse abgeschätzt. Eine Konzentration erfolgt hierbei auf die Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren (sowohl nach dem Durchlauf- als auch nach dem Batchbetrieb), an die in Rheinland-Pfalz weit mehr als 95 % aller Einwohnerwerte angeschlossen sind.

In der Tabelle ist der angenommene Wert für den spezifischen Energieverbrauch pro Einwohner und Jahr in Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit von der Größenklasse der Kläranlage dargestellt. Die Werte wurden abgeleitet aus einer bundesweiten Erhebung zur Energieeffizienz von Kläranlagen (iat, 2006), Untersuchungen im Rahmen eines ATV-Arbeitsberichtes (ATV, 1999 b) sowie den Untersuchungen an den Referenzanlagen.

Hiervon ausgehend ergibt sich für den Gesamtenergieverbrauch aller Belebungsanlagen ein Wert von rund 268.920 MWh/a, der sich auf 533 Belebungsanlagen verteilt.

	spezifischer Energieverbrauch [kWh/(EW*a)]					angenommene Werte RLP
		bundesweit	ATV-Arbeitsbericht	RLP-Energieprojekt		
Spezifische Energieverbrauchswerte in Kläranlagen unterschiedlicher Größenklasse (GK)	GK 1	75	-	-		75
	GK 2	55	44,8 ¹⁾	42 ³⁾		45
	GK 3	44	41,3 ²⁾	-		42
	GK 4	35	-	42 ⁴⁾	51 ⁵⁾ 38 ⁶⁾	40
	GK 5	32	-		36 ⁷⁾	35

1) Medianwert von 18 Anlagen i. Rheinland-Pfalz

2) Medianwert von 7 Anlagen i. Rheinland-Pfalz

3) KA Fischbachtal

4) KA Bad Ems

5) KA Billigheim außerhalb Kampagne

6) KA Billigheim während Kampagne

7) KA Speyer

Zur Abschätzung des Anteils der Weinbaukampagne am Gesamtenergieverbrauch wurden folgende Überlegungen vorgenommen:

- **Kampagnebetrieb**

In Rheinland-Pfalz gibt es ca. 68.000 ha Rebfläche. Ausgehend von einer spezifischen Kohlenstoffbelastung von 10 EGW/ha Rebfläche resultiert hieraus eine Belastung von rund 680.000 EW pro Kampagnetag. Der spezifische Verbrauch – abgeleitet von Ergebnissen von kampagnebeeinflussten Kläranlagen – beträgt ca. 19 kWh/(E*a) bzw. 0,05 kWh/(E*d). Unter Annahme von durchschnittlich 40 Kampagnetagen ergibt sich hieraus ein Gesamtverbrauch von 1.415 MWh/a (bezogen auf den Gesamtverbrauch rund 0,5 %).

- **Grundlast außerhalb der Kampagne**

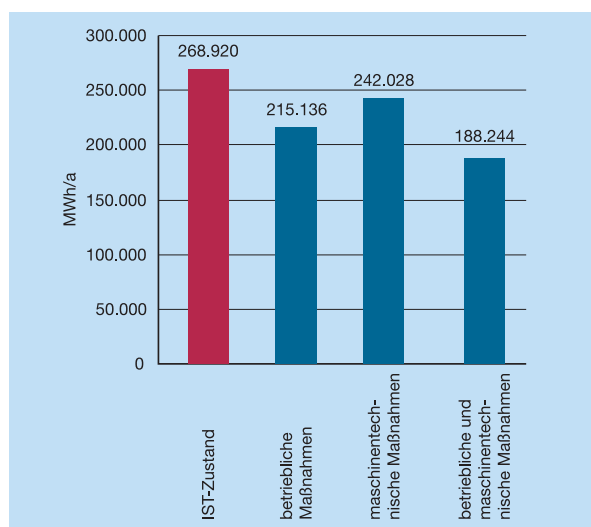
Unter Berücksichtigung der gleichen Rahmenbedingungen wie beschrieben und der Annahme einer Grundlast aus dem Weinbau von 2 EW/ha Rebfläche (außerhalb der Kampagne) ergibt sich bei 325 d eine Belastung von 2.210 MWh/a (entsprechend 0,8 %), die aus Einleitungen aus dem Weinbau außerhalb der Kampagne resultieren.

5.2 Abschätzung des energetischen Optimierungspotenzials

Umsetzung aller betrieblichen und maschinentechnischen Maßnahmen zur Optimierung

Bei den in Kapitel 4 beschriebenen Energieanalysen der Referenzanlagen ergab sich aus dem Kennzahlenvergleich ein Gesamteinsparpotenzial von im Mittel 38 %. Die detaillierte Überprüfung der einzelnen Verbrauchergruppen ergab ein Einsparpotential bei Umsetzung aller betrieblichen und maschinentechnischen Optimierungsmaßnahmen von 30 %. Dieses verteilt sich zu ca. 20 % auf die betrieblichen Maßnahmen (wie Anpassung des Schlammalters, Optimierung der Sauerstoff-Sollkonzentration, Anpassung von Rücklaufverhältnis und Umwälzung etc.) und zu rund 10 % auf die Umsetzung der maschinentechnischen Maßnahmen (wie Austausch von Belüftungselementen und Aggregaten).

Unter Ansatz dieser Zahlen würde sich der Gesamtenergieverbrauch in Rheinland-Pfalz bei Umsetzung aller betrieblichen und verfahrenstechnischen Maßnahmen um rund 80.676 MWh/a verringern. Dies entspricht in etwa Stromverbrauch von 20.000 4-Personen-Haushalte pro Jahr. Demgegenüber stehen insbesondere bei der Umsetzung der maschinentechnischen Maßnahmen entsprechende Aufwendungen, die für Umbauarbeiten bzw. Austausch von Aggregaten zu tätigen sind.



Szenario "Umsetzung aller betrieblicher und maschinentechnischer Maßnahmen zur Optimierung"

5.3 Umsetzung von Beispielmaßnahmen

Optimierung von Schlammalter und Sauerstoffkonzentration

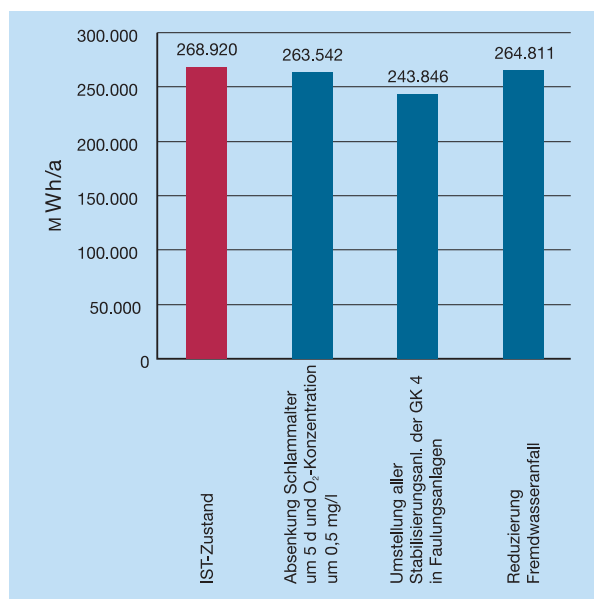
Wie in Kapitel 4 dargestellt, trägt insbesondere das Belebungsbecken und hier vor allem die Belüftung zum Energieverbrauch der Belebungsanlagen bei. Im Mittel wurde bei der Untersuchung der Referenzanlagen ermittelt, dass fast die Hälfte der eingesetzten Energie für die Belüftung des Abwasser-Belebtschlamm-Gemisches eingesetzt wird.

Der Sauerstoffverbrauch für die Belüftung wird im Wesentlichen durch den eingestellten Sauerstoffgehalt sowie die im System befindliche Belebtschlammmenge (TS-Gehalt) beeinflusst.

5 Optimierungspotenzial in Rheinland-Pfalz

Die Sauerstoffkonzentration und das Schlammalter sollten belastungs- und temperaturabhängig eingestellt werden (vgl. Merkblatt DWA-M 268). Der eingestellte TS-Gehalt (und damit das Schlammalter) sowie die Sauerstoff-Sollkonzentration im Belebungsreaktor werden auf vielen Anlagen jedoch deutlich zu hoch gefahren. Hieraus resultieren unnötige Energiemehrverbräuche.

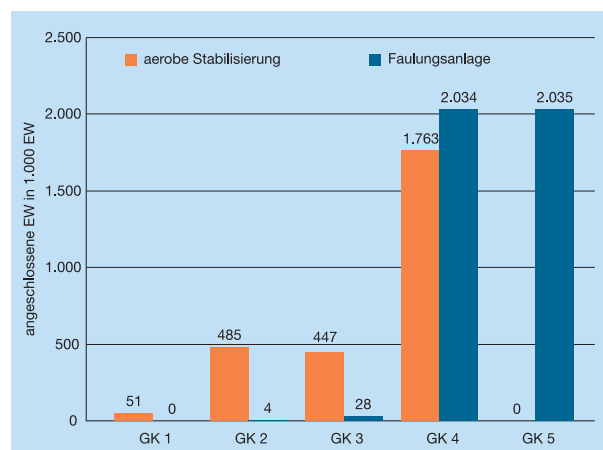
Im nachfolgenden Szenario (Abb. unten links, Säule 2) wird dargestellt, welchen Einfluss eine gezielte Verminderung von Schlammalter und Sauerstoffkonzentration auf den Energieverbrauch hat. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass bei 50 % aller Einwohnerwerte das Schlammalter um 5 d und die Sauerstoffkonzentration um 0,5 mg/l abgesenkt werden kann. Diese Abschätzung erscheint aufgrund der Erfahrungen auf vielen rheinland-pfälzischen Anlagen gerechtfertigt. Bei der Darstellung des Energieeinsparpotenzials wurde der vermehrte Gasanfall durch eine Erhöhung des Glühverlustes (und damit des organischen Anteils, der der Faulung zugeführt wird) bei Faulungsanlagen nicht berücksichtigt. Die resultierende Energieeinsparung würde bis zu 5.400 MWh/a entsprechend 4 % betragen.



Szenario "Umsetzung von Beispielmaßnahmen"

Umstellung aller aeroben Stabilisierungsanlagen der Größenklasse 4 auf Faulung

In Rheinland-Pfalz finden sich in den Größenklassen 1 bis 5 insgesamt ca. 460 Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung (Stabilisierungsanlagen), an die rund 2.747.000 EW angeschlossen sind. Der Schwerpunkt der Stabilisierungsanlagen findet sich in den Größenklassen 2 bis 4. Demgegenüber existieren rund 75 Anlagen mit anaerober Stabilisierung (Faulungsanlagen), insbesondere in den Größenklassen 4 und 5, die das Abwasser von ca. 4.100.000 EW behandeln (Abb. unten). Faulungsanlagen weisen gegenüber den Stabilisierungsanlagen energetische Vorteile auf, da zum einen der Energiebedarf für die Belüftung aufgrund des deutlich geringeren Schlammalters niedriger ist. Zum anderen wird der anfallende Überschussschlamm ausgefaut, das entstehende Gas kann über Kraft-Wärme-Koppelung verwertet werden.



Verteilung der Einwohnerwerte auf Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung und Faulung in Rheinland-Pfalz

Nachfolgend wird untersucht, welche Auswirkung der Umbau aller Stabilisierungsanlagen der Größenklasse 4 in Faulungsanlagen hätte. Für die Ermittlung der Energieeigenproduktion wird ein spezifischer Gasanfall von 17 l/(E*d) angesetzt. Das entstehende Gas wird über BHKWs mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 30 % verstromt. Zusätzlich wird die Minderung des Energiebedarfs für die Belüftung mit 2 kWh/(E*a) abgeschätzt.

Nicht berücksichtigt wird der zusätzliche Belüftungsaufwand zum Abbau der über das Schlammwasser rückgeführten Frachten sowie der spezifische Schlamm-mehranfall durch Verminderung des Schlammalters (Abb. ganz links). Der Umbau aller Stabilisierungsanlagen der Größenklasse 4 würde zu einer theoretischen Energieeinsparung von rund 25.000 MWh/a (entsprechend ca. 9,5 % Reduzierung des Gesamtenergiebedarfes) führen; dem entgegen stehen die beträchtlichen finanziellen Aufwändungen, die für den Umbau der insgesamt 82 Anlagen zu tätigen wären.

Reduzierung des Fremdwasseranfalls

Das über undichte Kanäle in das Kanalnetz eindringende Fremdwasser hat negative Auswirkungen auf die Reinigungsprozesse und die Absetzvorgänge in der Nachklärung und beeinflusst zudem auch den Energiebedarf auf den Kläranlagen. Das zusätzlich zum Schmutzwasser der Kläranlage zugeführte Wasser muss an verschiedenen Stellen in der Anlage gehoben und ggf. rückgeführt werden und erhöht somit den Gesamtenergieverbrauch.

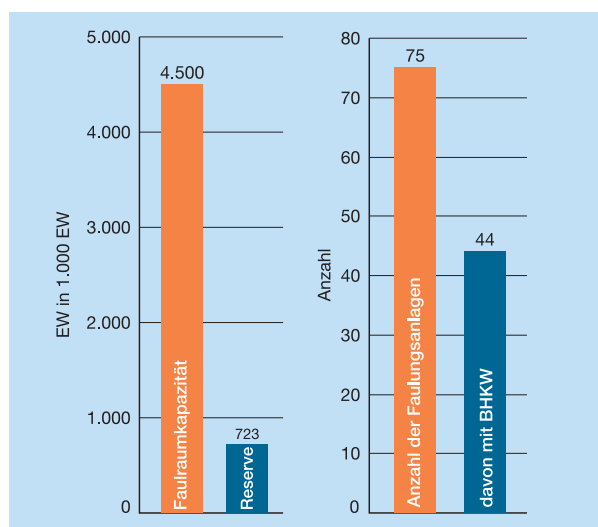
Im nachfolgenden Szenario wird untersucht, welche Auswirkung die Reduzierung des Fremdwasseranfalls auf den Gesamtenergiebedarf der Kläranlagen in Rheinland-Pfalz hätte.

Hierbei wird davon ausgegangen, dass der mittlere Fremdwasseranteil z.Z. 30 % beträgt und dieser durch Sanierungsmaßnahmen auf 20 % reduziert werden kann. Die mittlere Pumpenergie auf den Anlagen wird unter Zugrundelegen der Ergebnisse der Referenzanlagen mit 6 kWh/(E*a) abgeschätzt. Durch Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung könnte somit der Energiebedarf um 4.109 MWh/a (entsprechend 1,5 %) gesenkt werden (Abb. ganz links).

Dem relativ geringen Einsparpotenzial stünden erhebliche finanzielle Aufwändungen zur flächendeckenden Fremdwasserreduzierung gegenüber; die Umsetzung einer entsprechenden Maßnahme würde darüber hinaus Jahre in Anspruch nehmen und nur mit großem Aufwand umsetzbar sein.

5.4 Erhöhung der Eigenstromerzeugung

Nach einer (unveröffentlichten) Umfrage der Regionalstellen (MUFV, 2006) gibt es in Rheinland-Pfalz 75 Behandlungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung. Das Gesamt-Faulraumvolumen beträgt rund 174.000 m³, die Summe der zugehörigen Ausbaugrößen beträgt 4.500.000 EW. Im Rahmen der Umfrage wurde die mittlere Auslastung der Faulbehälter zu 84 % (entsprechend einer Reserve von 723.000 EW) ermittelt (unten links). Nur 44 Anlagen betreiben ein BHKW zur Kraft-Wärme-Kopplung (unten rechts) mit einem mittleren elektrischen Wirkungsgrad von ca. 30 %. Der gesamte Gasanfall beträgt ca. 23 Millionen Kubikmeter pro Jahr. Hiervon werden etwa 74 % genutzt. Mit dem anfallenden Faulgas werden etwa 36.000 MWh/a elektrische Energie und ein nahezu doppelt so hoher Anteil Wärmeenergie erzeugt. Die spezifische Gasproduktion pro Einwohner und Tag beträgt 17 l und liegt damit innerhalb der von (Kapp, 1998) angegebenen Spanne von 13...18 l/(E*d).



links: Faulraumkapazitäten in Rheinland-Pfalz

rechts: Ausstattung der rheinland-pfälzischen Kläranlagen mit BHKW's

Ausgehend von den vorgenannten Zahlen werden nachfolgend verschiedene Strategien zur Erhöhung der Eigenstromerzeugung und Eigenstromnutzung diskutiert.

Nachrüstung aller Faulungsanlagen mit einem BHKW

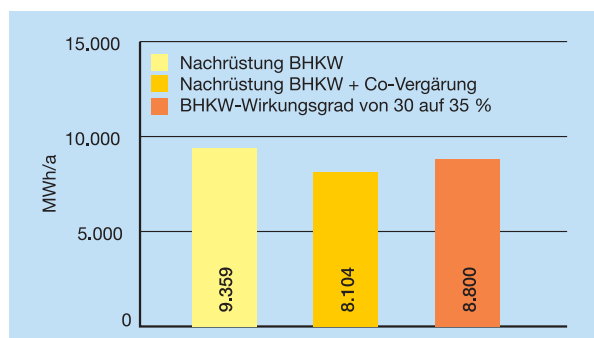
Bei der Nachrüstung aller Faulungsanlagen mit einem BHKW wird davon ausgegangen, dass 80 % des anfallenden Gases in einem BHKW genutzt werden. Die restlichen 20 % werden zur zusätzlichen Wärmeerzeugung in einem Heizkessel bzw. als Fackelverluste angesetzt. Der Gesamtwirkungsgrad des BHKWs wird mit 80 %, der elektrische Wirkungsgrad des BHKW's mit 30 % angenommen. Unter diesen Annahmen werden aus den rund 6,1 Mio m³ ungenutztem Gas ca. 9.400 MWh/a Strom und 15.600 MWh/a Wärme erzeugt.

Nutzung vorhandener Faulraumkapazitäten zur Co-Vergärung

Die derzeit nicht genutzten Faulraumkapazitäten in einer Größenordnung von 723.000 EW werden zur Co-Vergärung mit geeigneten Substanzen genutzt. Aufgrund der eingebrachten leicht abbaubaren Substrate wie Bioabfälle, Fette etc. wird mit einem gegenüber Rohschlamm um 25 l/(E*d) erhöhten spezifischen Gasanfall gerechnet (in der Literatur wird zum Teil von einer Verdopplung des Gasanfalls gesprochen). Hieraus resultiert bei Nutzung des Gases über ein BHKW ein Gesamtenergiegewinn von 33.770 MWh/a, der Anteil der elektrischen Energie beträgt 10.130 MWh/a.

Erhöhung des Wirkungsgrades der BHKW's

Der Wirkungsgrad der BHKW's wird – unter Nutzung des gesamten verfügbaren Biogases und unter Nutzung aller Faulraumkapazitäten – sukzessive von 30 auf 35 % erhöht. Hieraus resultiert ein Gewinn an elektrischer Energie von ca. 8.800 MWh/a.



Szenario "Erhöhung Eigenstromerzeugung/Eigenstromnutzung"

5.5 Energiemehrbedarf durch Einsatz weitergehender Reinigungsverfahren

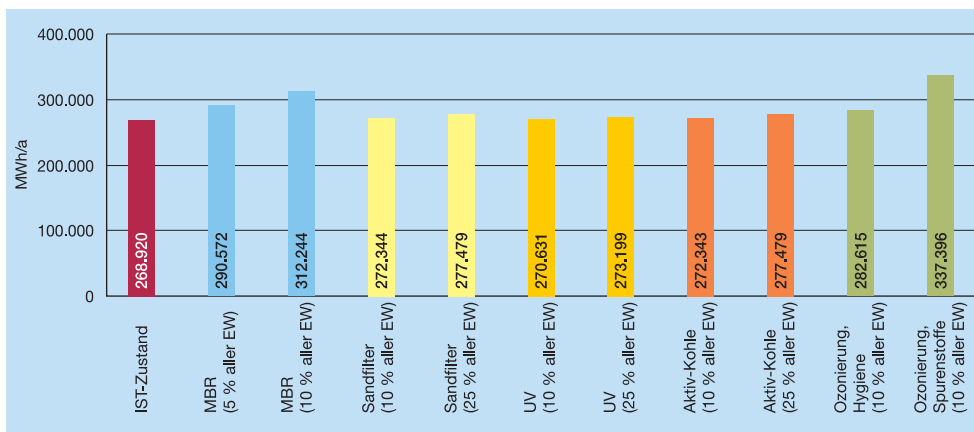
Derzeit wird intensiv über einen Einsatz "neuer" Technologien wie Membranverfahren, UV-Desinfektion oder Ozonierung diskutiert. Eine solche, über die Kohlenstoff- und Nährstoffelimination hinausgehende weitergehende Reinigung der Abwässer ist mit z.T. erheblichem Energiemehraufwand verbunden. Für die nachfolgenden Abschätzungen wird von folgenden spezifischen Energiekennwerten ausgegangen:

Verfahren	Reinigungsziel	Verbrauch [kWh/(E*a)]
Membranbio-reaktor (MBR)	Hygienisierung, vollständige Partikelentfernung	80
Sandfiltration	Partikelrückhalt, weitergehende Phosphor-Elimination	5
UV	Hygienisierung	2,5
Aktivkohle	Adsorption von Hormonen und Pharmaka	5
Ozonierung	Hygienisierung	20
Ozonierung	Entfernung anthropogener Spurenstoffe	100

Energieeinsatz weitergehender Technologien zur Abwasserbehandlung

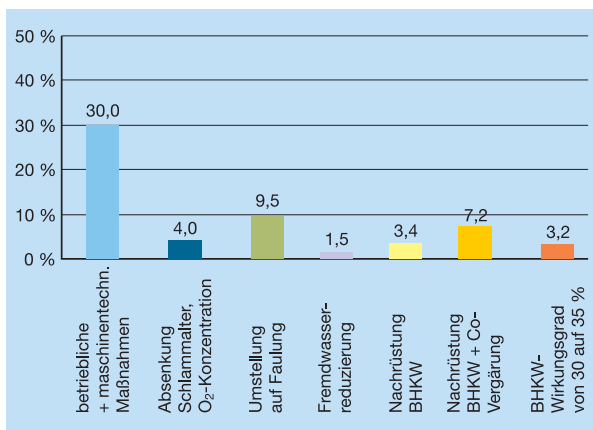
Für den energetischen Mehraufwand bei Einsatz dieser Technologien wird nicht von einem flächendeckenden, sondern nur von einem gezielten (punktuellen) Einsatz in Höhe von guten Prozentsätzen der EW ausgegangen. Entsprechende Anforderungen könnten aus den Erfordernissen bei der Umsetzung der EU-WRRL bzw. der EU Richtlinie Badegewässer erwachsen.

Es zeigt sich, dass insbesondere beim Einsatz von Membranbioreaktoren und beim Einsatz der Ozonierung mit dem Ziel der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen wie Pharmaka und Hormonen mit einem beträchtlichen Energiemehraufwand zu rechnen wäre. So würde der Einsatz von Membranbioreaktoren für nur 10 %



Szenario "Einsatz weitergehender Technologien zur Abwasserbehandlung"

5.6 Fazit



Einsparpotenziale bei Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen

aller Einwohnerwerte in Rheinland-Pfalz zu einem Anstieg des Energieverbrauches von knapp 17 % im Vergleich zum IST-Zustand führen. Eine Einführung der UV-Desinfektion zur Hygienisierung der Kläranlagenabläufe von 25 % der Einwohnerwerte in Rheinland-Pfalz würde hingegen nur zu einer relativ moderaten Steigerung des Energieverbrauchs in einer Größenordnung von knapp 2 % führen. Auch die Einführung einer Sandfiltration bedingt nur eine relativ geringfügige Steigerung des Gesamtenergieverbrauches (rund 3 % bei einer Umsetzung für 25 % aller EW).

Die vorstehenden Abschätzungen zeigen, dass für die energetische Optimierung der Abwasserreinigungsanlagen in Rheinland-Pfalz ein erhebliches Potenzial besteht. Die Umsetzung von betrieblichen und maschinentechnischen Maßnahmen weist mit etwa 30 % das größte Potenzial auf. Zahlreiche Maßnahmen sind hierbei ohne großen finanziellen Aufwand kurzfristig umsetzbar bzw. amortisieren sich in relativ kurzer Zeit. Die sehr kostenaufwändige Umstellung von aeroben Stabilisierungsanlagen auf Schlammfaulung birgt ein Potenzial von knapp 10 %, dem gegenüber stehen jedoch erhebliche finanzielle Aufwendungen. Ähnlich ist die Situation bei einer flächendeckenden Fremdwasserentflechtung zu sehen: das Einsparpotenzial beträgt hierbei nur 1,5 %, der Aufwand zur Umsetzung dieser Maßnahme steht jedoch in keinem Verhältnis zum energetischen Nutzen.

Ein durchaus großes Potenzial bietet die Eigenstromerzeugung und -nutzung: eine konsequente Nachrüstung der vorhandenen Faulungsanlagen mit effizienten BHKWs sowie eine Nutzung der verfügbaren Faulraumkapazitäten (z.B. zur Co-Vergärung von geeigneten Bioabfällen) bietet hier ein erhebliches Optimierungspotenzial.

In zahlreichen Fällen werden Kombinationen der genannten Maßnahmen möglich und sinnvoll sein, so dass in Summe durchaus Einsparungen bis zu 35...40 % zu erwarten sind. Die Einsparpotenziale von dann bis zu 120.000...130.000 MWh/a entsprechen dem Energieverbrauch von rund 30.000 4-Personen-Haushalte pro Jahr.

6 Energiebezug und -einspeisung

Die Energiebezugskosten der Kläranlage ergeben sich aus dem verfahrenstechnisch bedingten Elektrizitätsverbrauch in Verbindung mit den vertraglichen Lieferbedingungen für den fremdbezogenen Strom. Es besteht daher die Möglichkeit, durch eine Anpassung des Liefervertrages an die Verbrauchsstruktur ggf. in Verbindung mit einer Vergleichmäßigung des Verbrauchsverhaltens über ein Lastmanagement die Bezugskosten zu senken. Neben dieser Optimierung des Strombezugs ist auch eine Einspeisung des auf der Kläranlage selbst erzeugten Stromes in das Bezugsnetz nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2004) auf ihre Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

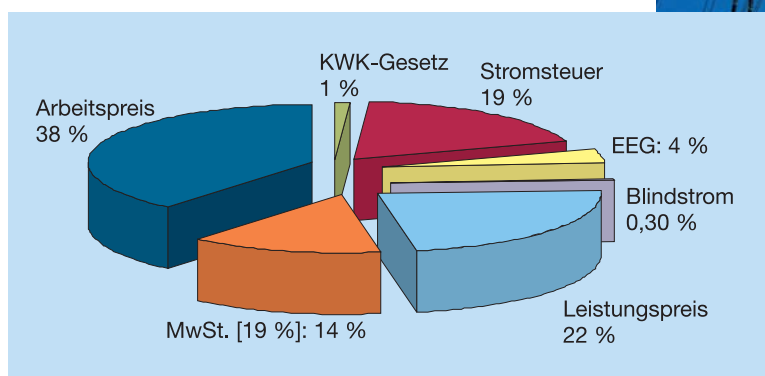
6.1 Prüfen des Stromliefervertrages

Grundsätzlich schließt ein Stromversorger mit größeren Verbrauchern wie z. B. Kläranlagen Sondertarifverträge. Darin wird der Strombezug nach einem Leistungspreis, der an den 15min-Höchstwert für die Bereitstellung der Wirkleistung gekoppelt ist, und einem meist degressiv gestaffelten, häufig noch nach Tages- und Nachtzeiten unterschiedlichen (Hoch-/Niedertarif) Arbeitspreis für den Verbrauch abgerechnet. Im Gegensatz zu der früher üblichen jährlichen Abrechnung des Leistungspreises kann heute zwischen jährlicher oder monatlicher Abrechnung gewählt werden.

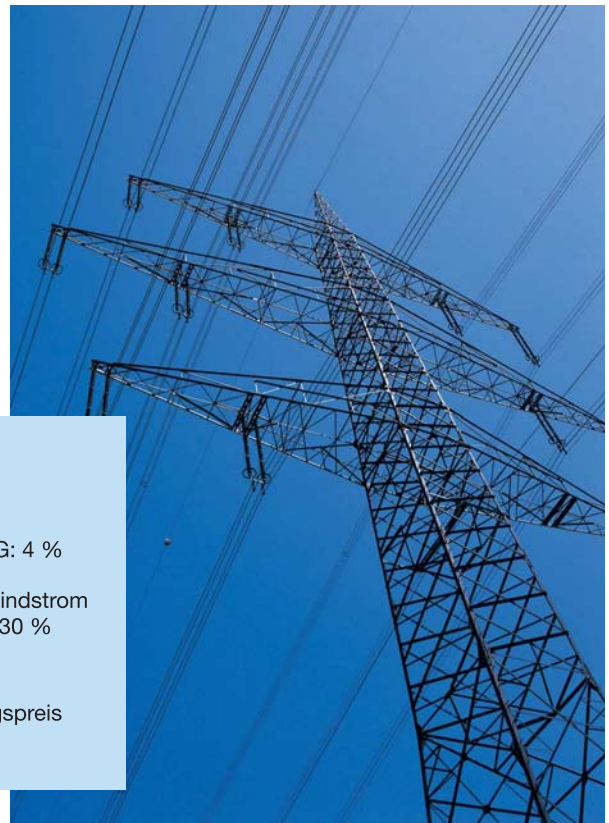
Für die Kommunen gilt seit dem Jahr 2005 die zwingende Anwendung des Vergaberechts für die Stromlieferung. Eine Verlängerung bestehender Verträge ist grundsätzlich unzulässig.

Zusätzlich zu den Ausschreibungen können neue Beschaffungsmethoden, wie z.B. die sogenannte Fahrplanbeschaffung, evtl. in Kooperation mit einem Energiedienstleister angewendet werden. Dabei wird ein prognostizierter Lastgang zugrunde gelegt und mit den eingekauften Mengen abgedeckt. Erworbene Mehr- oder Mindermengen werden von dem Energiedienstleister mit eigenem Bilanzkreis ausgeglichen.

Der Prozess des "Unbundlings" hat in den Energieversorgungsunternehmen zu einer gesellschaftsrechtlichen Trennung des Stromvertriebs vom Netzbetrieb geführt. Sollte diese Struktur in den Energielieferverträgen abgebildet werden, so wäre ein Abschluss von Netzanchluss- und Netznutzungsverträgen notwendig. Die



Typische Aufteilung der Strombezugskosten für eine Kläranlage



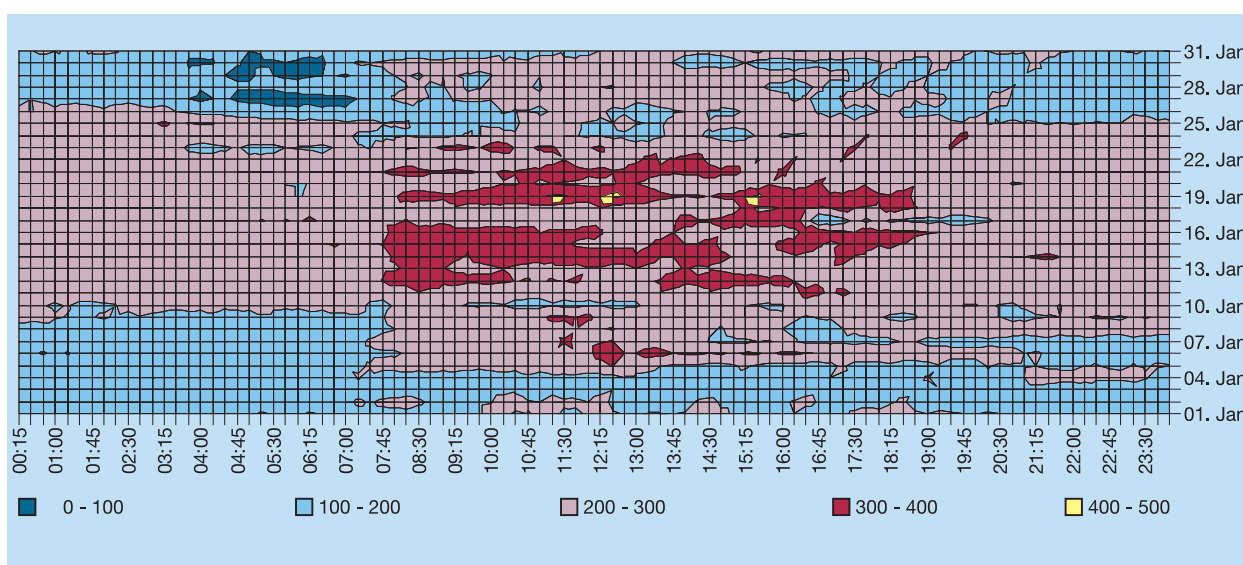
Verträge mit den Netzbetreibern decken den Monopolmarkt Netznutzung ab. Danach wird bei einer Ausschreibung nur noch die Lieferung von elektrischer Energie betrachtet. Der Vorteil könnte eine erhöhte Anzahl von Angeboten insbesondere von Energiehändlern sein. Der Nachteil wäre ein leicht erhöhter interner Verwaltungsaufwand.

6.2 Vergleichmäßigung des Leistungsbezugs

Die elektrische Leistungsaufnahme einer Kläranlage ist aufgrund von Belastungsschwankungen in Zulauf und Betrieb bzw. der Außerbetriebnahme von leistungsstarken Aggregaten, wie z.B. Dekantern, Pumpen oder BHKWs, zum Teil erheblichen Schwankungen unterworfen. Das vom mittleren Bedarf abweichende Bezugsverhalten der Anlage wird vom Versorgungsunternehmen über vorhandene Reserven in der Kraftwerkskapazität abgedeckt. Da diese Reserven außerhalb der Spitzenzeiten nicht genutzt werden, trägt der Betreiber die Kosten für deren Vorhaltung.

Grundlage hierfür sind die Jahresbenutzungsstunden als die verbrauchte Arbeit (kWh/a) dividiert durch die bezogene Spitzenleistung eines Jahres (kW). Je weniger Leistung die Kläranlage im Verhältnis zu den verbrauchten Kilowattstunden benötigt, zu desto günstigeren Konditionen bezieht der Betreiber seine Energie. Es bietet sich daher an, den Strombezug über ein automatisiertes Lastmanagement zu vergleichmäßigen und hierüber die Strombezugskosten zu reduzieren.

Ein Lastmanagement bezieht sich daher weniger auf den Energieverbrauch als auf die durch Spitzenbelastungen verursachten Vorhaltekosten. Während Energiemanagementsysteme den optimierten Verbrauch von Energie und deren Bereitstellung einschließen, bezieht sich das Lastmanagement nur auf die Vergleichmäßigung des Fremdleistungsbezugs. In Abhängigkeit des aktuellen Bezugswertes und unter Berücksichtigung der betrieblichen Erfordernisse werden hierbei einzelne Verbraucher in einer festgelegten Reihenfolge weggeschaltet.



Auswertung von 15-min-Höchstlastwerten für einen Monat [kW]

6 Energiebezug und -einspeisung

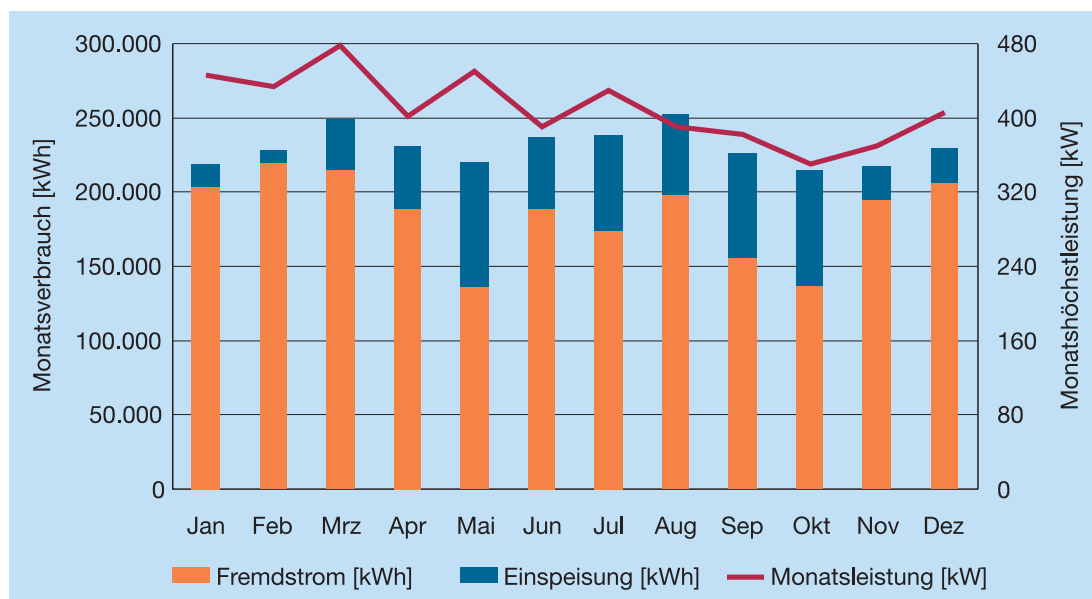
Ausgehend vom Stromliefervertrag wird untersucht, wie sich hydraulische und schmutzfrachtbedingte Belastungsspitzen auf die Energiekosten auswirken. Dabei wird eine maximale Leistungsabnahme definiert, die möglichst nicht überschritten werden soll. Zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit eines Lastmanagementsystems werden zunächst die 15-Minuten-Leistungswerte ausgewertet, die in der Regel der Energieversorger bereitstellen kann. Im Abgleich mit den aufgezeichneten Betriebsdaten lässt sich analysieren, welche Anlagen-teile und -zustände die Spitzenlasten verursachen.

Das mögliche Einsparpotenzial wird über eine Verbraucherliste mit Laufzeiten und Wirkleistungen der einzelnen Aggregate ermittelt. In Verbindung mit der maximal zulässigen Abschaltzeit, einem sogenannten Gleichzeitigkeitsfaktor und der minimalen Laufzeit kann das Reduktionspotenzial je Verbraucher berechnet werden. Sollte sich ein automatisiertes Lastmanagementsystem nicht oder nur langfristig amortisieren, kann auch ein gezielter manueller Eingriff, wie z.B. der Einsatz eines BHKW unter gesteuerter Nutzung der Gasreserve oder das Aussetzen einer Filterrückspülung, bei regelmäßig auftretenden Lastspitzen bereits eine spürbare Senkung der bezogenen Leistung bewirken.

6.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Größere Kläranlagen sind nicht nur Energieverbraucher, sondern meist auch Energieerzeuger: das bei der Faulung anfallende Klärgas wird zur gekoppelten Strom- und Wärmegewinnung in einem Blockheizkraftwerk eingesetzt. Einige Kläranlagen nutzen auch vorhandene geodätische Höhenunterschiede zur Erzeugung von Strom aus Wasserkraft. Ein weiteres energetisches Potenzial ist die Abwärmenutzung aus Abwasser.

Klärgas gilt nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (2004) als regenerative Energie. Demnach sind die Netzbetreiber verpflichtet, den daraus erzeugten Strom für den gesetzlich festgelegten Preis abzunehmen. Die Vergütung erfolgt rein netto und beträgt mindestens 7,67 Cent/kWh bei Anlagen, deren elektrische Nennleistung 500 kW nicht übersteigt. Bei größeren Anlagen beträgt die Vergütung für den Anteil oberhalb von 500 kW mindestens 6,65 Cent/kWh. Der eingespeiste Strom fehlt auf der Kläranlage und muss aus dem Netz bezogen werden. Der so rückgekaufte Strom ist von der Stromsteuer in Höhe von 2,05 Cent/kWh befreit, auch wenn er nur virtuell eingespeist, d. h. verrechnet wird.



Monatliche Leistungsspitzen und gesamter Stromverbrauch

Der Kläranlagenbetreiber zahlt für die bei der Netzeinspeisung erhöhte Fremdbezugsmenge den vertraglich festgelegten Strompreis zzgl. der Umlagen aus EEG und KWK sowie der Mehrwertsteuer. Manche Energieversorger bestehen zudem darauf, dass der um die BHKW-Leistung erhöhte Leistungspreis gezahlt wird. Ob eine Einspeisung wirtschaftlich lohnend ist, muss daher im Einzelfall geprüft werden. Aufgrund der deutlichen Strompreiserhöhungen der letzten Monate ist die EEG-Einspeisung bei den aktuellen steuerlichen Randbedingungen für die meisten Betreiber jedoch wirtschaftlich nicht interessant.

Auf vielen Kläranlagen werden BHKW- und Heizungsanlagen aus Verfügbarkeits- und Redundanzgründen zumindest zeitweise mit Klärgas und Erdgas betrieben. Nach dem neuen Energiesteuergesetz wird die Steuer auf Erdgas beim Einsatz zur Kraft-Wärme-Kopplung komplett erstattet, hingegen beim Verfeuern in der Kesselanlage nicht. Aus Unkenntnis über diesen Sachverhalt wird auch heute noch vornehmlich in der Winterperiode Klärgas in der BHKW-Anlage verstromt und zusätzlich Erdgas in der Kesselanlage verfeuert. Durch eine Umstellung der Gasart und einen Antrag auf Erstattung beim zuständigen Hauptzollamt lassen sich in diesem Fall leicht finanzielle Vorteile erzielen (Seibert-Erling u. Etges, 2007).

Das komplexe Energierecht – Energiesteuergesetz (2006), Energiewirtschaftsgesetz (2005), Erneuerbare-Energien-Gesetz (2004), Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (2002) und Stromsteuergesetz (1999) – wirkt sich erheblich auf die Strombezugskosten aus. Die Betreiber von Kläranlagen müssen sich daher bei weiter steigenden Energiebezugskosten aktiv mit diesem Thema auseinandersetzen.

6.4 Contracting

Der Einsatz von Contracting Modellen bietet sich an, wenn für die Umsetzung von wirtschaftlichen Energiesparmaßnahmen das Investitionsvolumen für den Betreiber der Kläranlage zu groß ist oder das Know-how zur Umsetzung der Maßnahme fehlt. Beim Energiespar-Contracting realisiert ein Contractor die Energiesparmaßnahme und übernimmt die vertragliche Verantwortung für das Erreichen einer festgelegten Energieeinsparung. Hierbei wird vom Contractor die Planung, Umsetzung und Finanzierung der Anlage übernommen. Üblicherweise wird die Anlage auch durch den Contractor betrieben und instand gehalten.

Aufgrund des auf kommunalen Kläranlagen vorhandenen Fachpersonals sollte ein Betrieb in Eigenregie jedoch grundsätzlich erwogen werden. Die hiermit verbundenen Haftungsfragen sollten in einem Betreibervertrag berücksichtigt werden.

Die vom Contractor getätigten Investitionen werden aus der erzielbaren Einsparung an Energiebezugskosten bestritten. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Energieeinsparungen nicht auf Kosten der Stabilität der Anlage (Reinigungsleistung, Schlammigenschaften,...) gehen. Nach Ablauf der Vertragsdauer geht üblicherweise die jeweilige Anlage auf den Nutzer bzw. Contracting-Nehmer über. Contracting Modelle bieten sich bei klar abgrenzbaren technischen Einzel-Komponenten sowie für technische Paketlösungen, z.B. Bau eines BHKWs, die möglichst ausschließlich der Energieeinsparung dienen, an. Informationen zu Contracting-Modellen und deren Umsetzung unter Berücksichtigung des Vergaberechts finden sich u.a. bei (UBA, 2000), (Hessenenergie, 2002), (DENA, 2005).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die kommunalen Kläranlagen des Landes Rheinland-Pfalz sind nach den Vorgaben der Abwasserverordnung (AbwV, 2005) bzw. der Europäischen Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EC, 1991) für die Nährstoffelimination ausgebaut und entsprechen von der Ablaufqualität den Anforderungen. Damit hat die Abwasserbeseitigung ein hohes Niveau erreicht, was sich in einer erfreulichen Verbesserung der Gewässergüte widerspiegelt. In den nächsten Jahren wird die Optimierung der betrieblichen Aufwendungen ein Schwerpunkt im Bereich der Abwasserbeseitigung sein.

Mit der Broschüre zum Unternehmens-Benchmark wurde das betriebswirtschaftliche Potenzial durch den Vergleich von Kennzahlen von einer Gruppe von Kläranlagen der jeweiligen Eigenbetriebe aufgezeigt. In der vorliegenden Broschüre „Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen“ wird aufgezeigt, welches Einsparpotenzial auf Kläranlagen in Rheinland-Pfalz vorhanden ist und mit welchen Maßnahmen der Energieeinsatz auf Kläranlagen optimiert werden kann.

Mit dem Werkzeug der Energieanalyse kann der Energieeinsatz bei der Abwasserreinigung detailliert erfasst werden. Durch den Vergleich der IST-Werte mit Richt- und Idealwerten kann der Energieverbrauch der untersuchten Kläranlagen eingeordnet und Maßnahmen zur Energieeinsparung abgeleitet werden. Die einzelnen Maßnahmen werden wirtschaftlich beurteilt. Mit der Energieanalyse sollen die Betreiber motiviert werden, die für ihre Anlage erkannten und als wirtschaftlich eingestuften Einsparmaßnahmen zeitnah umzusetzen.

Für die Beurteilung des energetischen Einsparpotenzials auf Kläranlagen in Rheinland-Pfalz wurden Energieanalysen auf vier repräsentativen Kläranlagen durchgeführt. Hierbei wurden Kläranlagen in unterschiedlichen Größenklassen von 6.000 EW bis 90.000 EW untersucht. Zur Beurteilung des Einflusses der Weinbaubaukampagne als typische Belastungssituation in Rheinland-Pfalz wurde eine Anlage mit Kampagneeinfluss berücksichtigt.

Die Bewertung des IST-Zustandes ergab einen spezifischen Energieverbrauch der Gesamtanlagen zwischen 36 bis 43 kWh/(E*a). Nur der Energieverbrauch der Kampagneanlage außerhalb der Kampagne liegt mit 51 kWh/(E*a) deutlich höher. Im Vergleich zum Idealwert des Handbuches Energie auf Kläranlagen ergibt sich ein



Kesselanlage einer Kläranlage

Einsparpotenzial von im Mittel 38 %. Für die beiden untersuchten Faulungsanlagen zeigte sich, dass der Grad der Faulgasnutzung bzw. Umwandlung in Energie unterhalb des Richtwertes liegt und somit auch hier ein Optimierungspotenzial vorhanden ist.

Die ermittelten Optimierungspotenziale lassen sich in verfahrenstechnische und maschinentechnische Maßnahmen einteilen. Ein Schwerpunkt der verfahrenstechnischen Maßnahmen liegt im Bereich der Beliebungsstufe: Einstellung eines angepassten Schlammalters und von (belastungs- und temperaturabhängigen) Sauerstoffsollwerten, Reduzierung des spezifischen Energieeintrags der Rührwerke bzw. Einstellung eines konstanten Rücklaufschlammverhältnisses im Bereich von 0,7 bis 1. Bei den maschinentechnischen Maßnahmen liegt das überwiegende Einsparpotenzial beim Austausch von Belüftungselementen, Erhöhung der spezifischen Gebläseleistung sowie Austausch von Pumpen. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen erfolgte über Kosten-Nutzen-Analysen. Die Auswertung der vier Referenzanlagen ergab ein Einsparpotenzial von 1.800.000 kWh/a, 70 % der Einsparung können durch Sofortmaßnahmen realisiert werden. Mit der Umsetzung der ermittelten Maßnahmen kann für alle Referenzanlagen der jeweilige Richtwert erreicht bzw. unterschritten werden.

Anhand der vier Referenzanlagen wurde das Einsparpotenzial für Rheinland-Pfalz abgeschätzt. Durch eine Umsetzung energierelevanter Maßnahmen und eine Erhöhung der Eigenstromerzeugung durch konsequente Nutzung der vorhandenen Faulraumkapazitäten zur energetischen Klärschlamm-Verwertung und Cofermentation liegt könnten rund 130.000 MWh/a eingespart werden.

Dies entspräche einer Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs von mehr als 40 %. Hierbei sind allerdings auch abhängige Maßnahmen berücksichtigt. Das geschätzte Einsparpotenzial entspricht dem Energieverbrauch von ca. 30.000 4-Personen-Haushalten. Diese Zahl verdeutlicht das erhebliche Potenzial, welches im Bereich der energetischen Optimierung von Abwasserbehandlungsanlagen in Rheinland-Pfalz besteht.

Neben der Energieeinsparung können die finanziellen Aufwendungen für den fremdbezogenen Strom durch eine Anpassung der Lieferbedingungen an die Verbrauchsstrukturen, aber auch durch ein Vergleichmäßigen des Energieverbrauchs (Lastmanagement) reduziert werden. Die Überprüfung der vertraglichen Lieferbedingungen bei weiter steigenden Energiepreisen hat zunehmend Bedeutung für die Betreiber öffentlicher Kläranlagen.

Neben den im Rahmen dieser Studie beschriebenen Möglichkeiten der Energieeinsparung gewinnen weitere Möglichkeiten der Energieoptimierung, z.B. durch Abwärmenutzung aus Abwasser und Druckluft, den Einsatz neuer/innovativer Techniken zur energetischen Klärschlammverwertung oder auch ein anlagenübergreifendes Klärschlammmanagement, an Bedeutung.

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen verdeutlichen, dass die konsequente energetische Optimierung von Abwasserreinigungsanlagen zu Recht einen gewichtigen Baustein in der Gesamtenergiekonzeption Rheinland-Pfalz und einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz darstellt.

Die kommunalen Gebietskörperschaften sind gefordert, z.B. im Rahmen des anstehenden Prozess-Benchmarkings die vorhandenen Potenziale zu nutzen.

8 Anhang

Energiematrix	Speyer		Bad Ems		Billigheim außerh. Kamp.		Billigheim Kampagne		Fischbachtal	
einwohnerspez. Energie- verbrauch kWh/(E*a)]	Ist- Zustand	Ideal- Wert	Ist- Zustand	Ideal- Wert	Ist- Zustand	Ideal- Wert	Ist- Zustand	Ideal- Wert	Ist- Zustand	Ideal- Wert
Abwasser-Behandlung										
Regenüberlaufbecken	0,03	0,00	0,36	0,00						
Einlaufhebewerk	2,32	1,86	6,79	6,20						
Rechen	0,05	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,04	0,09	0,07	0,09
Sandfang	0,23	0,50	2,74	0,49	3,01	0,49	1,39	0,49	2,20	0,50
Vorklärung	0,12	0,10	0,17	0,10					0,00	0,00
Biologische Stufe/Belebung	27,50	16,60	21,00	16,10	43,90	23,40	34,50	17,20	26,90	28,00
Nachklärung	0,37	0,15	0,77	0,15	1,33	0,30	0,65	0,30	2,06	0,23
Fällmitteldosierung	0,01	0,04	0,05	0,04	0,18	0,04	0,00	0,00	0,14	0,04
Schlamm-Behandlung										
Voreindickung	0,68	1,46	0,70	1,46	0,24	0,07	0,12	0,07	0,46	0,07
Anaerobe Stabilisierung	1,76	1,10	2,58	1,10						
Entwässerung	1,01	0,91	2,26	0,73	1,30	0,91	0,86	0,91	1,17	0,91
Infrastruktur										
Betriebsgebäude	0,20	0,18	²⁾ 3,67	0,18	0,18	0,18	0,08	0,18	²⁾ 0,91	0,18
Heizung			0,75	0,37	0,37	0,37	0,17	0,37	²⁾ 1,56	0,37
Betriebswasserpumpe	0,00	0,26	0,13	0,26	0,26	0,26	0,12	0,26		
Lüftung	0,79	0,73							²⁾ 1,91	0,15
Messtechnik									²⁾ 1,91	0,00
Hochwasserpumpwerk	0,68	0,11								
Endverbrauch berechnet ¹⁾	35,00	24,00	41,70	27,30	50,90	26,15	38,00	19,85	39,30	30,50
Endverbrauch gemessen ¹⁾	35,50		41,70		50,90		38,00		42,00	
Belebung										
Umwälzenergie	3,32	1,75	6,46	1,75	7,97	3,00	5,45	0,00	5,90	3,00
Rezirkulation	0,39	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,09	0,60
Rücklaufschlamm	0,84	0,62	4,64	0,62	7,41	0,70	3,42	0,62	4,69	0,70
Belüftung	22,90	13,70	9,90	13,70	28,50	19,70	25,70	16,50	12,20	23,70
gesamt	27,50	16,60	21,00	16,10	43,90	23,40	34,50	17,20	26,90	28,00

¹⁾ Energiebezug ohne RÜB und Hochwasserpumpwerk

²⁾ Verbrauch Infrastruktur KA Fischbachtal und Bad Ems abgeschätzt, keine Leistungsmessung an diesen Aggregaten durchgeführt

In der Tabelle ist der ermittelte, einwohnerspezifische Energieverbrauch der vier untersuchten Kläranlagen im Vergleich zu den Verbrauchswerten für die Modellanlage gemäß Handbuch "Energie auf Kläranlagen" (MUNLV

NRW, 1999) angegeben. Rot hervorgehoben sind die Werte für Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen, für die ein mögliches Einsparpotenzial vorhanden ist.

Kennzahlenvergleich		IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmen 1)			Richtwert 2)	Idealwert 2)
			S	S+K	S+K+A		
Speyer							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	36	28	28	27	31	24
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	27	20	19	19	22	17
ges. Faulgasnutzung	%	83	90	90	90	98	99
Faulgasumwandlung in Elektrizität	%	23	30	30	30	30	31
spez. Faulgasproduktion	l/(kg oTR)	394	394	394	394	450	475
Eigenversorgungsgrad Wärme	%	96	96	96	96	97	98
Eigenversorgungsgrad Elektrizität	%	27	50	50	53	55	72
Bad Ems							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	42	36	36	33	34	27
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	21	16	16	13	21	16
ges. Faulgasnutzung	%	85	85	85	100	98	99
Faulgasumwandlung in Elektrizität	%	0	0	0	22	30	31
spez. Faulgasproduktion	l/(kg oTR)	388	388	388	388	450	475
Eigenversorgungsgrad Wärme	%	91	100	100	100	97	98
Eigenversorgungsgrad Elektrizität	%	0	0	0	26	42	78
Billigheim ausserhalb Kampagne							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	51	39	27	23	29	20
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	44	32	21	17	24	17
Billigheim während Kampagne							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	38	31	22	14	19	13
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	35	27	19	11	15	10
Fischbachtal							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	42	30	30	30	42	31
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	27	15	15	15	36	28
Eigenversorgungsgrad Wärme	%	0	0	0	100	-	-

1) S = Sofortmaßnahmen

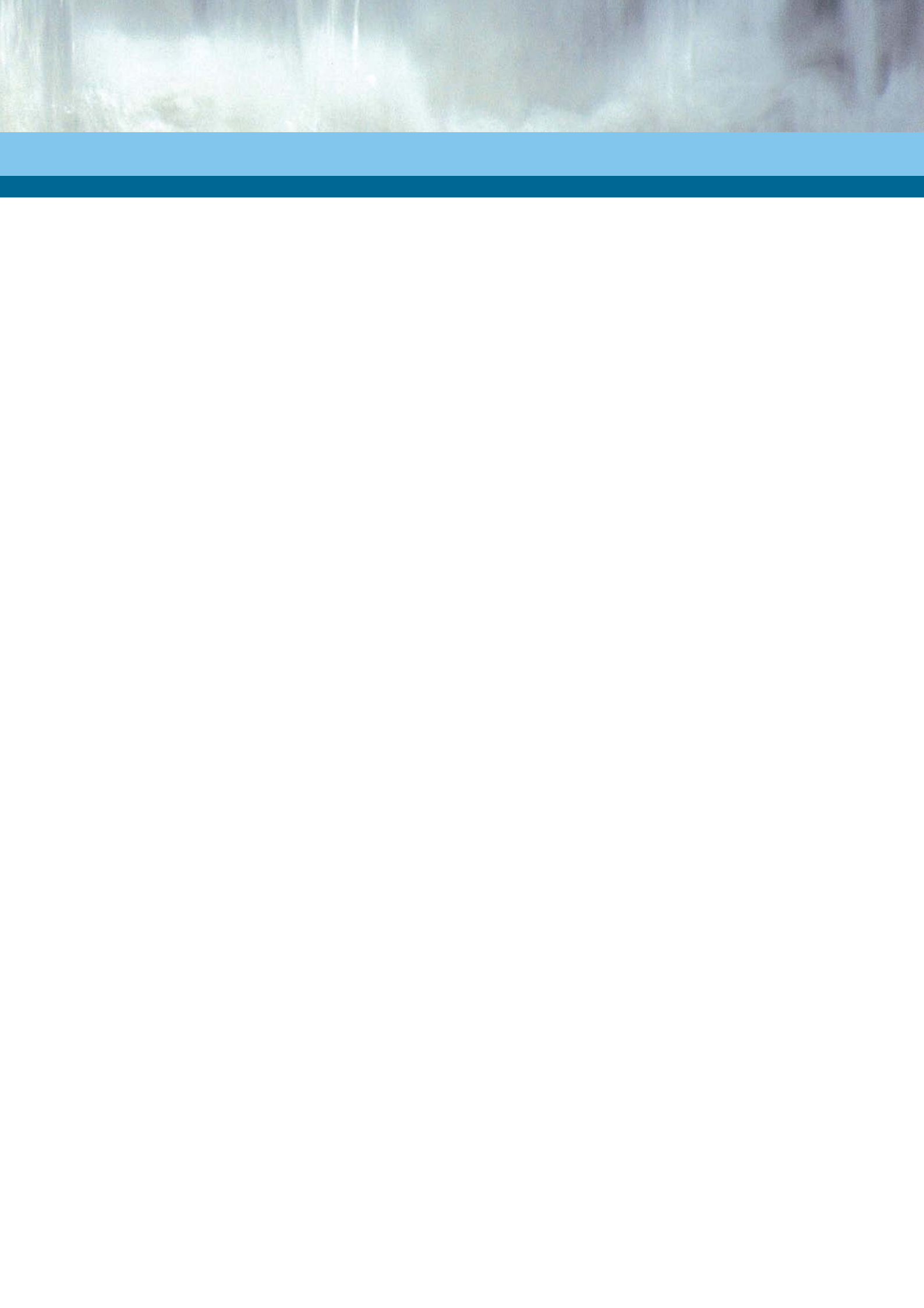
S + K = Sofortmaßnahmen + kurzfristige Maßnahmen

S + K + A = Sofortmaßnahmen + kurzfristige Maßnahmen + abhängige Maßnahmen

2) Richt- und Idealwerte nach (MUNLV NRW, 1999)

9 Literatur

- (ATV, 1999 a) Leitfaden: Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, ATV Landesgruppe Baden Württemberg 1999
- (ATV, 1999 b) Energiebilanzierung auf Kläranlagen. ATV-Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 3.1, Hennef 1999
- (Bundesamt für Energie, 2004) Wärmenutzung aus Abwasser: Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen, Bern/Zürich 2004
- (Cornel, 2006) Cornel, P., Potenziale zur Betriebskosteneinsparung bei der Abwasserableitung und -behandlung, 78. Darmstädter Seminar, Schriftenreihe WAR 176, Darmstadt 2006
- (DENA, 2005) Deutsche Energie-Agentur, Contracting-Offensive für öffentliche Liegenschaften, Berlin 2005
- (Hessenenergie, 2002) Hessenenergie GmbH, Meixner, H., Contracting – Modelle, grundlegende Konzepte und ihre ökonomische Eignung im Überblick, Wiesbaden, 2002, Darmstadt 2006
- (iat, 2006) Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen – Studie im Auftrag des Bundesumweltamtes, Arbeitsgemeinschaft iat – Ingenieurberatung für Abwassertechnik
- (Kapp, 1998) Einfluss der Schlammfäulung auf die Energiebilanz von Kläranlagen. Stuttgarter Berichte Zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 149, Stuttgart 1998
- (Kaste et. al, 2006) Kaste, A.; Müller, E. A.; Kobel, B., Verfahrenstechnische Potenziale bestehender Kläranlagen – Auswertung von mehr als 100 Energieanalysen, 39. Essener Tagung für Abwasser- und Abfallwirtschaft, Schriftenreihe GWA 202, Aachen 2006.
- (LAWA, 2005) Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) Hrsg. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 7. Auflage, Berlin 2005
- (LFU, 1998 zit. in WAR 2006) Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen, Handbuch Wasser 4, Karlsruhe 1998, zit. in 78. Darmstädter Seminar: Neue Maschinen- und Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Einsparung von Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung, Schriftenreihe WAR 176, Darmstadt 2006
- (MUFV, 2007) Stand der Abwasserbeseitigung in Rheinland-Pfalz – Lagebericht 2006 (2007). Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, Mainz 2007
- (MUFV, 2006) Benchmarking Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz – Öffentlicher Bericht für das Projektjahr 2005 (2006). Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, Mainz 2006
- (MUNLV NRW, 1999) Handbuch Energie in Kläranlagen, Hrsg. Ministerium für Umweltschutz, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, Düsseldorf 1999
- (Müller 1999) Müller, E. A., Vorstellung des Handbuches „Energie auf Kläranlagen“, 32. Essener Tagung für Abwasser- und Abfallwirtschaft, Schriftenreihe GWA 172, Aachen 1999
- (Seibert-Erling und Etges, 2007) Energiekosten von Kläranlagen und Kanalnetzen, John Becker Ingenieure, Kerpen 2007
- (UBA, 2000) Umweltbundesamt, Energiespar-Contracting als Beitrag zu Klimaschutz und Kostensenkung – Ratgeber für Energiespar-Contracting in öffentlichen Liegenschaften, Berlin 2000
- (Wagner, 2006) Wagner, M.; Looock, P.; Betriebskosteneinsparung durch Optimierung von Belüftungseinrichtungen, 78. Darmstädter Seminar: Neue Maschinen- und Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Einsparung von Betriebskosten bei der Abwasserbehandlung, Schriftenreihe WAR 176, Darmstadt 2006
- (Zettl, 2001) Einsatz der dynamischen Simulation als Bemessungshilfe für Kläranlagen in Weinbaugemeinden (2001). Dissertation U. Zettl; Schriftenreihe SIWAWI Kaiserslautern, Bd. 13, Kaiserslautern 2001



Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz