

Energieeinsatz auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

Leitfaden zur Optimierung



Impressum

Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz
Mecklenburg-Vorpommern
Paulshöher Weg 1, 19061 Schwerin
www.lu.mv-regierung.de

Bearbeitung:



Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH
Dr.-Ing. Gerd Kolisch, Dipl.-Ing. Thomas Osthoff, Dipl.-Ing. Dirk Salomon
Untere Lichtenplatzer Straße 100, 42289 Wuppertal
www.wiwmbh.de



Ingenieurbüro Friedrich
Dipl.-Ing. Michael Friedrich, Dipl.-Ing. Michael Frommholz
August-Bebel-Straße 14, 19055 Schwerin
www.ibf-thiox.de

Gestaltung: www.wiwmbh.de

Fotos: S. 6: Pressefoto Lindenbeck, S. 12: M. Friedrich, S. 17: Bild 3.3: Stadtwerke Parchim,
S. 17: Bild 3.4: Zweckverband Grevesmühlen, S. 47: Thermo-System GmbH,
S. 51, 53: cc.vision.de, alle anderen: WiWmbH/Ingenieurbüro Friedrich

Druck: Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern
Zentrale Druckerei

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz herausgegeben.

Sie darf nicht zur Wahlwerbung verwendet werden.

Energieeinsatz auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

Leitfaden zur Optimierung

Inhalt

Vorwort	6
1. Veranlassung	8
2. Energieeinsatz bei der Abwasserbeseitigung	
2.1 Stand der Abwasserbehandlung	10
2.2 Besondere Einflüsse in der Abwasserentsorgung	10
2.3 Datenlage zum Energieeinsatz	14
3. Energieeinsparpotenzial	
3.1 Vorbemerkung	16
3.2 Untersuchung von Referenzanlagen	17
3.2.1 Beschreibung der Kläranlagen	18
3.2.2 Bewertung des Energieverbrauchs	23
3.2.3 Maßnahmen zur Optimierung	25
3.2.4 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen	27
3.3 Abschätzung des Einsparpotenzials	28
4. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz	
4.1 Vorgehensweise	30
4.2 Betriebstechnische Maßnahmen	32
4.3 Maschinentechnische Maßnahmen	36
5. Energierrelevante zukünftige Entwicklungen	
5.1 Energiebilanz der Schlammstabilisierung	42
5.2 Schlammstabilisierung im Verbund	45
5.3 Thermische Schlammverwertung	46
5.4 Weitergehende Reinigungsverfahren	48
5.5 Einsatz regenerativer Energien	49
6. Hinweise zum Energiebezug	
6.1 Entwicklungen des Energiemarktes	52
6.2 Ausschreibung der Stromlieferung	53
6.3 Bereitstellung von Lastprofilen	54
6.4 Neue Beschaffungsansätze	55
7. Ausblick	56
8. Literatur	58
9. Anhang	60



*Dr. Till Backhaus
Minister für Landwirtschaft, Umwelt
und Verbraucherschutz*

Vorwort

Zu Beginn der 90er Jahre haben sich die Gemeinden in Mecklenburg-Vorpommern zur Erfüllung der Aufgaben in der Siedlungswasserwirtschaft neu aufgestellt und meist in kommunalen Unternehmen organisiert. Sie haben engagiert, zielstrebig mit hoher Geschwindigkeit konzeptionell geplant und auf die zügige Ausführung der erforderlichen Baumaßnahmen für eine moderne Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung hin gearbeitet. Dass dies in so kurzer Zeit gelingen konnte, ist sicher auch der kontinuierlichen Unterstützung mit öffentlichen Mitteln zu verdanken.

Die Abwasserbeseitigung ist als ein wesentlicher Teil der Infrastruktur der Gemeinden Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung des Landes. Die mittlerweile erzielten Ergebnisse zeigen, dass dieser Ansatz und der damit einhergehende Einsatz erfolgreich waren. Industriebetriebe, die vornehmlich der Landwirtschafts- und Lebensmittelbranche zuzuordnen sind, können ohne das Angebot einer ausreichenden Reinigungskapazität nicht erfolgreich wirtschaften. Tourismus in Größenordnungen, wie er sich hier erfreulicherweise entwickelt hat, wäre ohne ausreichende Kapazitäten im Kläranlagenbereich nicht denkbar.

Der Ausbau der Abwasseranlagen hat auch dazu geführt, dass bereits bis zur Jahrtausendwende die Belastung der Gewässer erheblich zurückgegangen ist; dies gilt auch für die Nährstoffbelastung aus den Kläranlagen.

Bis vor einigen Jahren ging es bei der Abwasserbeseitigung in den Bereichen Planung, Bau und Betrieb von Kläranlagen in erster Linie um die Reduzierung bzw. Einhaltung der Ablaufwerte im Interesse des Gewässerschutzes; die Umweltbelange jenseits dieses Schutzbereiches spielten eine eher untergeordnete Rolle.

Mittlerweile sind weltweit Klimaschutz und Energiesicherung als besondere Herausforderung dieses Jahrhunderts in den Vordergrund gerückt.

In Mecklenburg-Vorpommern wurde bereits 1997 ein Klimaschutzkonzept aufgestellt; und auch im Energiekonzept 2020 spielt Klimaschutz eine entscheidende Rolle.

Die Grundausstattung der Gemeinden mit zentralen Abwasseranlagen da, wo es auch unter Berücksichtigung demografischer Tendenzen fachlich zweckmäßig erscheint, ist nahezu vollständig erreicht.

Es kommt nun darauf an, über die Ziele des Gewässerschutzes und der wirtschaftlichen Infrastrukturausstattung hinaus durch intelligente Betriebsweise sowohl einen Beitrag für den Klimaschutz zu leisten als auch die Kosten, an denen die Energiekosten einen beachtlichen Anteil haben, möglichst zu optimieren bzw. zu reduzieren.

Da die Kläranlagen einen durchaus erheblichen Verbrauch an Energie im kommunalen Bereich aufweisen, habe ich dieses Projekt in Auftrag gegeben, um

- das mögliche Energieeinsparpotenzial bei der Abwasserreinigung abzuschätzen,
- die Erfordernisse und Möglichkeiten an konkreten Untersuchungsbeispielen aufzuzeigen und daraus
- Hinweise und Handreichungen in Form eines Leitfadens für die Unternehmen dieses Fachbereiches abzuleiten.

Ich bin sicher, dass die Abwasserunternehmen diesen Leitfaden als Denkanstoß aufnehmen und ihn sukzessive im Interesse des Klimaschutzes, der Bürger und der Wirtschaft umsetzen.



1. Veranlassung

In einer ersten zusammenfassenden Darstellung auf Landesebene wurde 1998 der Generalplan ‚Abwasserbeseitigung Mecklenburg-Vorpommern‘ veröffentlicht. Darin ist die Situation mit Stand 1997 dokumentiert. Seit 1991 waren 250 zentrale Kläranlagen entstanden mit Reinigungsstufen und Reinigungsleistungen, die den Anforderungen des Gewässerschutzes und den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprachen.

Der Anschlussgrad der Einwohner war von anfangs 64 % auf 78 % angestiegen. Unterstützt wurde diese wichtige kommunale Aufgabe zur Verbesserung des Gewässerschutzes und der Infrastruktur durch den Einsatz von Fördermitteln in Höhe von rd. 480 Mio. Euro, die zunächst bis 1995 zum überwiegenden Teil für den Ausbau und den Neubau von Kläranlagen eingesetzt wurden und ab 1996 zu etwa 90 % in Kanalisationsmaßnahmen flossen.

Insgesamt standen von 1991 bis 2008 Fördermittel in Höhe von rd. 888 Mio. Euro für etwa 2.100 Einzelmaßnahmen der Abwasserbeseitigung zur Verfügung. Das damit ausgelöste Investitionsvolumen im öffentlichen Bereich beträgt rd. 1,6 Mrd. Euro; einschließlich der Kosten der Grundstücksentwässerungsleitungen belaufen sich die Investitionen auf rd. 2,27 Mrd. Euro. Bis 2013 stehen noch einmal rd. 60 Mio. Euro zur Förderung zentraler Abwasseranlagen bereit.

Jetzt sind in Mecklenburg-Vorpommern 575 zentrale Kläranlagen in Betrieb. Die in den Abwasserbeseitigungskonzepten der Unternehmen angestrebten Ziele zum Ausbau

der Abwasseranlagen sind praktisch erreicht. Der Anschlussgrad der Einwohner beträgt 86 %; er wird bis zur vollständigen Ausgestaltung der Konzepte nur noch um wenige Prozentpunkte steigen. Mit der technischen Ausstattung hat sich auch die Leistungsfähigkeit der Abwasseranlagen in Mecklenburg-Vorpommern seit 1991 kontinuierlich verbessert (s. Bild 1.2). Die Reinigungsleistung und die Betriebsstabilität der Kläranlagen liegen auf dem Niveau der anderen Bundesländer. Die Anforderungen der EU-Kommunalabwasserrichtlinie sind ebenso erfüllt wie die der EG-Wasserrahmenrichtlinie für Punktquellen.

Um diesen Standard zu erhalten, womöglich zu verbessern, werden sich die Aufgaben bei der Abwasserbeseitigung künftig auf den effizienten Betrieb der Kläranlagen konzentrieren. Die Herausforderungen des globalen Klimawandels und die steigenden Energiebezugpreise haben den Energieeinsatz auf Kläranlagen verstärkt in den Blickpunkt der Fachleute gerückt. Kommunale Kläranlagen sind nach bundesweiten Untersuchungen mit durchschnittlich 20 % Anteil am Stromverbrauch kommunaler Einrichtungen beteiligt und stellen damit den größten Einzelstromverbraucher in Kommunen dar.

Landesweite Untersuchungen mit dem Ziel der Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen sind bereits 1998 in Baden-Württemberg und 1999 in Nordrhein-Westfalen mit der Veröffentlichung des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) erfolgt. Eine entsprechende Studie ist 2007 in Rheinland-Pfalz durchge-

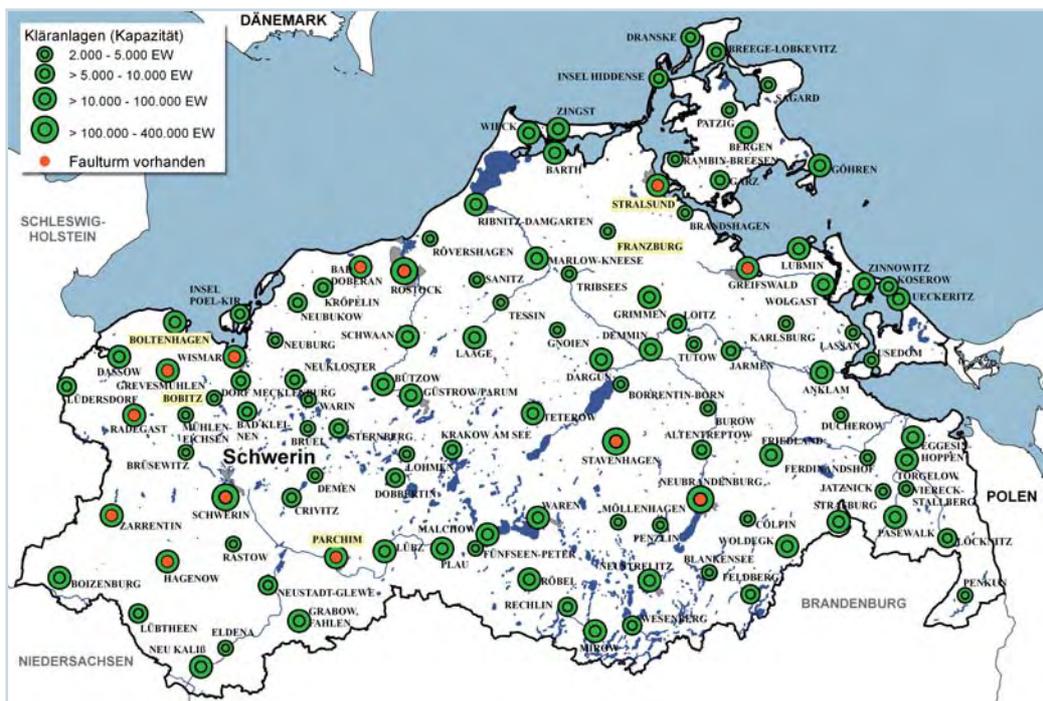


Bild 1.1: Kläranlagen-Standorte in Mecklenburg-Vorpommern (LU, 2009)

	Ausbaugröße [E]	UBA (2006)		LU (2008)	
		Anzahl	[kWh/(E*a)]	[ER]	[kWh/(E*a)]
GK 1	< 1.000	4.305	75	109	66
GK 2	1.000 - 5.000	2.742	55	26	79
GK 3	5.000 - 10.000	913	44	8	53
GK 4	10.000 - 100.000	1.960	35	33	40
GK 5	> 100.000	268	32	3	25

Tabelle 1.1: Energieverbrauchswerte kommunaler Kläranlagen

führt worden. Diese Untersuchungen belegen, dass selbst bei relativ neuen Anlagen sowohl in der maschinellen Ausrüstung der Abwasserreinigung, hier vor allem bei der Belüftung, als auch bei der Klärschlammbehandlung durch kurz- und mittelfristige Maßnahmen eine Verringerung des Stromverbrauches von bis zu 30 % erreicht werden kann.

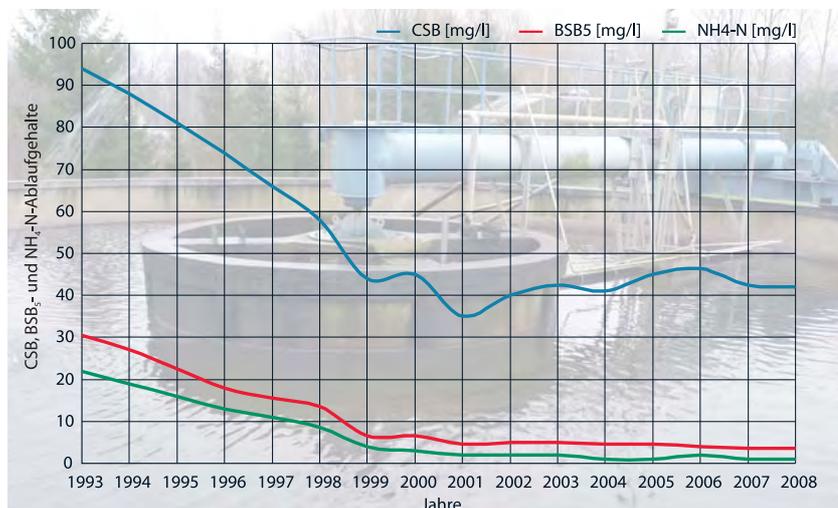
Nach den Erhebungen im Rahmen des vom Umweltbundesamt 2006 in Auftrag gegebenen UFOPLAN-Forschungsprojektes, 'Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen' (UBA, 2006) wurden bundesweite Durchschnittswerte für die spezifischen Stromverbräuche je Einwohnerwert (E) nach Größenklassen (GK) ermittelt. Zur Ermittlung des Wertumfangs der Abwasseranlagen in Mecklenburg-Vorpommern wurde insbesondere zur Flankierung der Förderung das Kostenrechnungsprogramm KoRe für Entsorgungsräume (ER), d.h. die Kläranlage und das daran angeschlossene Kanalnetz aufgestellt (UM, 2005).

Für die Berechnungen mit KoRe werden die Investitions- und Betriebskosten in dem jeweiligen ER erfasst und in diesem Rahmen auch die Jahreskosten für Energieaufwendungen abgefragt. Mittlerweile liegen Datensätze für 179 ER vor, in denen rd. 60 % des Abwasseranfalls von Mecklenburg-Vorpommern behandelt wird. Die Auswertung ergab vergleichbare Werte wie die UBA-Studie (s. Tabelle 1.1). Die Datenerhebung wird bis zum Abschluss der Förderung 2013 ergänzt. Für die Bewertung der Energieeffizienz beim Betrieb der Kläranlagen sind allerdings differenziertere Untersuchungen notwendig.

Nur durch bewussten Umgang mit Energie kann der Ausstoß klimaschädlicher Gase, insbesondere CO₂, reduziert werden. Die Bundesrepublik hat sich durch die Vereinbarung von Klimazielen verpflichtet, bis zum Jahr 2020 die CO₂-Emission deutlich zu reduzieren. Mecklenburg-Vorpommern hat sich durch frühzeitige Aufstellung eines Klimaschutzkonzeptes bereits 1997 dieser Herausforderung gestellt. Durch energetische Optimierung der Kläranlagen kann hierzu ein wirkungsvoller Beitrag geleistet werden. Auch wenn der Energieverbrauch für die Abwasserreinigung nur einen relativ geringen Anteil am gesamten Energieverbrauch ausmacht, ist es wichtig, dass die Gemeinden als abwasserbeseitigungspflichtige Körperschaften beispielhaft den sparsamen Umgang mit dieser Ressource demonstrieren.

Aufgrund dieser Erkenntnisse und der damit verbundenen grundsätzlichen Verpflichtungen hat das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz (LU) dieses Projekt in Auftrag gegeben. Die landesspezifischen Besonderheiten hinsichtlich Besiedlungsdichte – mit 72 Einwohnern pro km² das am dünnsten besiedelte Bundesland – waren dabei ebenso zu berücksichtigen wie die Tatsache, dass insbesondere an der Ostseeküste eine erhebliche saisonale Belastung der Kläranlagen durch den Fremdenverkehr erfolgt. Im Jahr 2008 wurden über 27 Mio. Übernachtungen registriert. Auf Grundlage detaillierter Untersuchungen an fünf ausgewählten Kläranlagen (gelb unterlegt in Bild 1.1) sollen Möglichkeiten zur Optimierung des Energieeinsatzes aufgezeigt werden. Für Abwasserunternehmen soll damit ein Anreiz zur Überprüfung eigener Anlagen gegeben werden.

Bild 1.2: Leistungsvergleich DWA Kläranlagennachbarschaften 2008 (DWA-NO, 2009)



2. Energieeinsatz bei der Abwasserbeseitigung

2.1 Stand der Abwasserbehandlung

Die Abwasserentsorgung ist in Mecklenburg-Vorpommern, wie in den anderen Bundesländern auch, eine hoheitliche Aufgabe, die der Daseinsvorsorge dient und den Gemeinden übertragen ist. Die Gemeinden nehmen diese Aufgabe im Rahmen der Selbstverwaltung wahr; vielfach haben sie sich zu kommunalen Körperschaften des öffentlichen Rechts, meist Zweckverbänden, zusammengeschlossen. Aktuell bestehen in Mecklenburg-Vorpommern 120 abwasserbeseitigungspflichtige Körperschaften, die sich zur Aufgabenerledigung zum Teil auch privater Dritter bedienen.

Das in die öffentliche Kanalisation eingeleitete Abwasser wird in 575 Kläranlagen mit einer Ausbaupkapazität von rd. 3,2 Mio. EW behandelt. Im Vergleich zu der geringen Anzahl großer Kläranlagen der GK 4 und 5 werden aufgrund der Bevölkerungsverteilung (s. Bild 2.4) sehr viele Kläranlagen der GK 1 und 2 betrieben; Kläranlagen der mittleren GK 3 sind selten (s. Bild 2.1). Der Anschlussgrad an die zentralen Abwasseranlagen liegt bei 86 %. Nach dem Lagebericht 2009 – Kommunale Abwasserbeseitigung Mecklenburg-Vorpommern (LUNG, 2009) erfolgt bei 92 % der EW bezogen auf die Ausbaugröße eine Stickstoffentfernung durch Nitrifikation/Denitrifikation; eine gezielte Phosphorelimination wird bei 89 % der EW bezogen auf die Ausbaugröße durchgeführt.

Die 499 Kläranlagen der GK 1 und 2 reinigen lediglich 12 %, die 4 Kläranlagen der GK 5 – Rostock, Stavenhagen, Neubrandenburg und Schwerin – etwa 30 % des Abwassers. Der größte Anteil der anfallenden Abwasserfracht, insgesamt 54 %, wird in Kläranlagen der GK 4 behandelt.

2.2 Besondere Einflüsse in der Abwasserentsorgung

Zulaufkonzentrationen

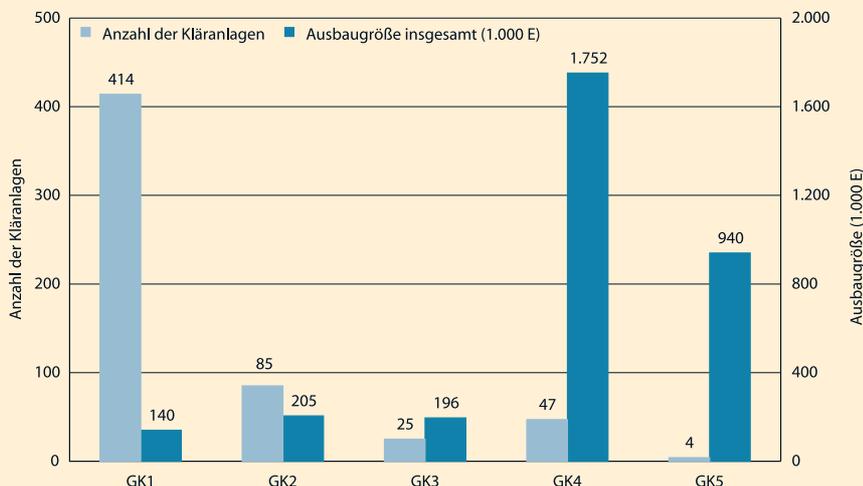
Der Wasserverbrauch in Mecklenburg-Vorpommern liegt im Durchschnitt bei 102 l/(E*d); in manchen ländlichen Gebieten werden zum Teil unter 80 l/(E*d) verbraucht. Der durchschnittliche Verbrauchswert für die Bundesrepublik Deutschland liegt bei 126 l/(E*d). Der niedrige landesspezifische Wasserverbrauch bewirkt einen insgesamt geringeren Abwasseranfall mit erhöhten Zulaufkonzentrationen des Abwassers. Dies erfordert eine spezifisch höhere Reinigungsleistung, um die Überwachungswerte einzuhalten, weil diese als Konzentrationswerte der begrenzten Parameter festgesetzt sind.

Klärschlamm

Aus der Abwasserbehandlung fallen jährlich rd. 42.000 t Klärschlamm – gerechnet als Trockenmasse TR – auf den kommunalen Kläranlagen an (LU/LMS, 2009). Davon entfallen rd. 90% auf industrielle und zentrale kommunale Kläranlagen der GK 1 bis 5. Fäkalschlämme aus Kleinkläranlagen sowie das Abwasser aus abflusslosen Gruben werden gesammelt und den kommunalen Kläranlagen zugeführt; dies macht mit rd. 4.200 t TR/a 10 % der Gesamtmenge aus. Der weit überwiegende Teil der Kläranlagen verfügt über eine aerobe Schlammstabilisierung. Lediglich 9 Kläranlagen der GK 4 und die vier Anlagen der GK 5 haben eine separate anaerobe Schlammfäulung. In diesen 13 Kläranlagen werden allerdings die Schlämme von insgesamt rd. 1,5 Mio. EW (46 %) behandelt, auf die aerobe Schlammstabilisierung entfallen rd. 1,7 Mio.

EW (54 %). Mehr als 70 % der Klärschlämme werden landwirtschaftlich verwertet. Der übrige Schlamm wird überwiegend im Landschaftsbau eingesetzt. Ein Anteil muss allerdings schon heute aufgrund von Grenzwertüberschreitung – meist beim Parameter Kupfer – einer Verbrennung zugeführt werden.

Bild 2.1: Kläranlagen in Abhängigkeit von der Größenklasse in Mecklenburg-Vorpommern (LUNG, 2009)



DWA-Landesverband	Einheit	Baden- Württemberg	Bayern	Hessen / Rheinland- Pfalz / Saarland	Nord	Nord- Ost	Nordrhein- Westfalen	Sachsen / Thüringen
Kläranlagen (Anzahl)	[-]	1.026	1.625	1.585	570	286	462	555
Jahresabwassermenge	[Mio. m ³]	1.650	1.722	1.625	959	535	2.584	496
Ausbau-EW	[Mio. E]	21,6	27,8	19,0	21,2	13,2	29,9	7,9
Mittlere EW-Belastung	[Mio. E]	16,3	19,8	16,3	17,2	12,6	23,2	6,9
Auslastung	[%]	75,5	71,2	85,8	81,1	95,5	77,6	87,3
Spez. Abwasseranfall	[m ³ /(E*a)]	101,0	87,0	100,0	56,0	42,0	111,0	72,0
BSB ₅	Zulauf	-	255	214	379	406	-	283
	Ablauf	-	4,2	4,5	3,6	3,6	-	4,1
CSB	Zulauf	432	503	438	785	1035	393	513
	Ablauf	24	29	23	37	41	26	28
N _{ges}	Zulauf	41,0	46,4	43,5	68,0	80,4	36,4	46,7
	Ablauf	10,4	10,4	8,9	8,5	9,6	7,7	9,2
P _{ges}	Zulauf	6,7	7,8	7,1	10,8	14,5	5,4	7,6
	Ablauf	0,75	0,96	0,94	0,60	0,59	0,49	0,75
NH ₄ -N	Ablauf	0,91	1,57	1,48	1,08	0,90	0,96	1,18

Tabelle 2.1: Abwasseranfall und Schmutzwasserkonzentration in den DWA-Landesgruppen (DWA-NO, 2009)

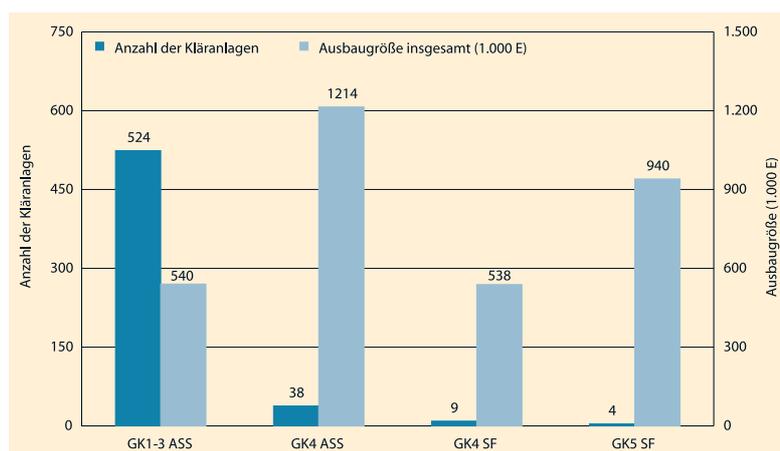


Bild 2.2: Schlammstabilisierung in Mecklenburg-Vorpommern (ASS: simultan aerobe Schlammstabilisierung; SF: Nährstoffelimination mit separater Schlammfäulung)

Die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes ist die kostengünstigste Entsorgungsmöglichkeit. Für andere Verfahren der Klärschlammbehandlung und -verwertung war die Motivation bei den Betreibern der Kläranlagen insbesondere wegen der erforderlichen hohen Investitionskosten bisher gering, zumal auch bezüglich der geplanten Novellierung der Klärschlammverordnung noch weitgehend Unsicherheit über die zu erwartende Ausgestaltung herrscht. Sollte sich z. B. durch Verschärfung der

Grenzwerte oder allgemeine Anforderungen des Verbraucherschutzes die Situation für das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen ändern, so entsteht für die Abwasserunternehmen Handlungsdruck, um die Entsorgung trotzdem zu sichern.

Aufgrund der niedrigen Einwohnerdichte und der großen Anzahl kleiner Kläranlagen erhalten hierbei die Transportkosten von Klärschlamm ein größeres Gewicht als in anderen Bundesländern.

Tourismus

Die Tourismusentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern weist seit Jahren kontinuierliche Zuwachsraten auf. Bei über 100 Mio. Aufenthaltstagen und Übernachtungen pro Jahr halten sich rechnerisch pro Tag mehr als 275.000 Touristen im Land auf, die Bevölkerungszahl erhöht sich durchschnittlich um 1/7 (MWAT, 2007). Die Tourismusanfrage konzentriert sich auf die Küstenregionen der mecklenburgischen und der vorpommerschen Ostseeküste mit der Insel Usedom sowie den Inseln Rügen/Hiddensee, ist aber auch im Binnenland sowie in den Städten Rostock und Schwerin beachtlich. Der Erhalt und die Erweiterung von touristischen Angeboten einschließlich der flankierenden Dienstleistungen schaffen eine Vielzahl an Arbeitsplätzen und stellen einen wesentlichen Wirtschaftsfaktor für Mecklenburg-Vorpommern dar.

In den touristisch geprägten Landesteilen schwankt der Abwasseranfall besonders stark und kann sich in den Sommermonaten gegenüber der Grundbelastung verdoppeln, in manchen Fällen sogar verdreifachen. Für die Betriebsführung der betroffenen Kläranlagen ergeben sich während der Tourismussaison folgende Besonderheiten:

- Nur auf wenigen Kläranlagen besteht die Möglichkeit, im Vorlauf der Saison zusätzliches Belegungsvolumen zu aktivieren. Durch die erhöhte Belastung und den damit verbundenen vermehrten Abzug von Überschussschlamm wird auf den meisten Kläranlagen das Schlammalter vermindert.
- Der Aufenthalt einer hohen Zahl an Tagesgästen bewirkt deutlich höhere Stickstoffkonzentrationen im Zulauf der Kläranlagen, die eine Anpassung der Belüftung der biologischen Stufe und der Regelung der Denitrifikation erfordern.
- Die Reinigungsleistung und die Prozessstabilität werden im Wesentlichen durch einen ausreichenden Sauerstoffeintrag bestimmt. Bemessungstechnisch werden die Belüftungsaggregate in der Regel auf die erhöhte Belastung der Tourismussaison ausgelegt. Die Schwachlastzeiten außerhalb der Tourismussaison werden vielfach nicht optimal abgedeckt.

- Die aggregatetechnische Ausstattung ermöglicht insbesondere bei den kleineren Kläranlagen nur eine begrenzte Anpassung an die unterschiedliche Anlagenbelastung. Hierdurch bedingt steigt die Energieeffizienz der Kläranlagen mit hohem Tourismuseinfluss zwar im Sommer an, fällt jedoch im Winter deutlich ab.

Die großen saisonalen Belastungsunterschiede stellen hohe Anforderungen an die Bemessung und den Betrieb der betroffenen Kläranlagen. Der Abbau der zusätzlichen Kohlenstofffrachten und die Nitrifikation der Stickstofffrachten erhöhen die Energiekosten auf diesen Kläranlagen deutlich. Der Abbau der organischen Schlammsubstanz wird bei einer simultanen aeroben Stabilisierung (ASS) verringert, bei der Schlammfäulung (SF) kann sich ebenso ein reduzierter Ausfallgrad während der Tourismussaison ergeben.

Demografie

Die Bevölkerungsdichte beträgt in Mecklenburg-Vorpommern 72 Einwohner je km², in der Bundesrepublik 231 Einwohner je km². Nur fünf Städte in Mecklenburg-Vorpommern haben mehr als 50.000 Einwohner, in diesen leben aber 35 % der Bevölkerung. 65 % der Bevölkerung leben in ländlich strukturierten Räumen, mehr als die Hälfte davon in Gemeinden mit weniger als 3.000 Einwohnern. Seit 1990 ist die Einwohnerzahl Mecklenburg-Vorpommerns von ca. 1,9 Mio. auf mittlerweile 1,68 Mio. Einwohner gesunken. Hauptursache dafür sind die geringen Geburtenraten seit 1990 und die hohen Abwanderungsverluste insbesondere von jungen Menschen. Nach neuesten Prognoserechnungen werden im Jahr 2020 die 50- bis 64-jährigen den größten Teil der Erwerbsfähigen stellen und die geburtenstarken Nachkriegsjahrgänge in Rente gehen. Die Bevölkerungsanzahl wird bis 2020 auf etwa 1,56 Mio. und bis 2030 auf 1,45 Mio. zurückgehen. Der Bevölkerungsrückgang vollzieht sich in Mecklenburg-Vorpommern allerdings regional sehr unterschiedlich (s. Bild 2.5). Neben Universitätsstädten wie Greifswald und Rostock mit Bevölkerungsgewinnen, wird es Landkreise wie Demmin und Mecklenburg-Strelitz mit Verlusten von mehr als einem Drittel der Einwohner geben.

Bild 2.3: Schwerin



Jeder Schrumpfungsprozess ist aufgrund der Selektivität von Wanderungen, der Erhöhung der Lebenserwartung und der geringen Geburtenraten mit einer starken Überalterung der verbleibenden Bevölkerung gekennzeichnet. Dabei steigt der Altenquotient – Anzahl der über 65-jährigen in Bezug zu jeweils 100 Personen im Alter von 20 bis unter 65 – von heute 33 auf 72. Der Anteil der über 65-jährigen an der Gesamtbevölkerung wird in den meisten Landkreisen künftig rd. 40 % betragen. Spitzenwerte von fast 50 % sind in den Landkreisen Demmin und Mecklenburg-Strelitz möglich.

- Aufgrund dieser Rückläufigkeit in den Bevölkerungszahlen ergibt sich auch eine Verringerung des Abwasser- und damit des Klärschlammaufkommens. Diese Entwicklung wird vorrangig kleinere Kläranlagen in den ländlichen Gebieten insbesondere der Landkreise Parchim, Güstrow, Demmin und Mecklenburg-Strelitz betreffen. Allerdings liegt in diesen Gebieten der Anteil der Grundstücke mit dezentraler Abwasserentsorgung schon jetzt deutlich über dem Landesdurchschnitt.
- Die Abwasserzusammensetzung wird sich bei sinkendem Wasserverbrauch und damit längeren Verweilzeiten im Kanalnetz verändern, weiter steigende Zulaufkonzentrationen, Probleme beim Abwassertransport durch Geruch und Korrosion und eine größere Dynamik in der Anlagenbelastung sind mögliche Folgewirkungen.
- Die Kläranlagen der GK 1 und 2 sind robust und einfach konstruiert. Bei diesen Anlagen kann die demographische Entwicklung in einigen Jahren technischen Anpassungen erfordern. Es gilt dann, Lösungen für vorhandene Abwasseranlagen zu finden, die die Reinigungsleistung bei weiterhin energieeffizientem Betrieb gewährleisten.

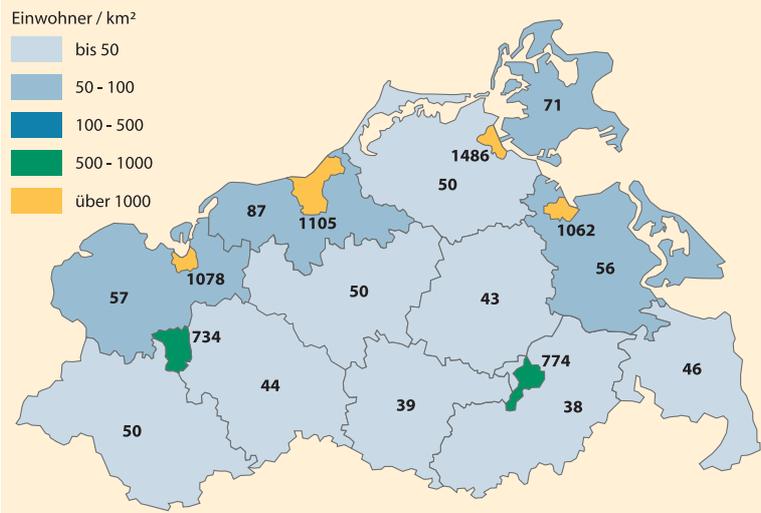


Bild 2.4: Bevölkerungsdichte in Mecklenburg-Vorpommern (VM, 2009)

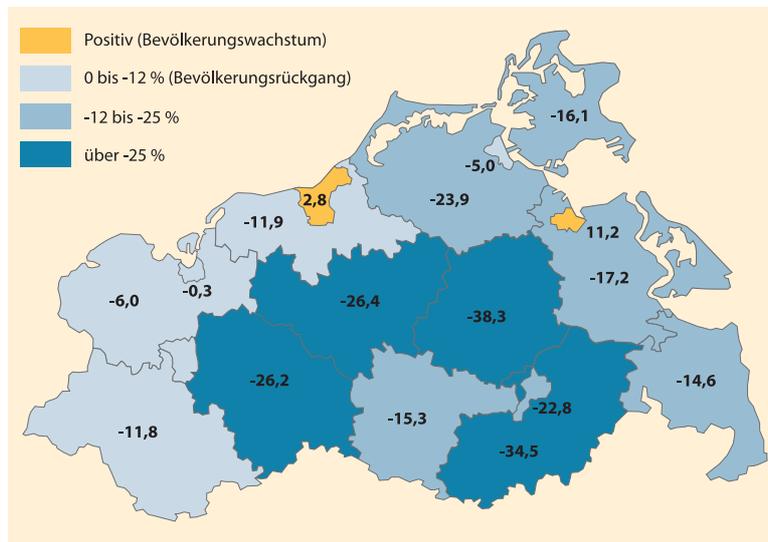


Bild 2.5: Bevölkerungsentwicklung 2006 bis 2030 in den Landkreisen (VM, 2009)

2.3 Datenlage zum Energieeinsatz

Der Energieeinsatz für die Abwasserbehandlung wurde über eine Datenumfrage bei den Betreibern der Kläranlagen untersucht. Bei der Gesamtzahl von 575 Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern wurde ein Datenrücklauf von insgesamt 272 Anlagen erreicht, das sind 47 %. Die Kläranlagen der GK 3 bis 5, auf die der überwiegende Teil des Energieverbrauchs entfällt, wurden mit einer Rücklaufquote von 96 % nahezu vollständig erfasst. Bei den Anlagen der GK 1 und 2 wurden die Daten von 38 % bzw. 53 % von den Betreibern zur Verfügung gestellt. Unter Berücksichtigung der Ausbaugrößen wurde mit der Datenerhebung der Energieverbrauch von 87 % der gesamten Kläranlagenkapazität in Mecklenburg-Vorpommern erfasst. Bei den Anlagen der GK 4 und 5 ist das klassische Belebungsverfahren das typische Reinigungsverfahren. Erst bei den Anlagen der GK 1 bis 3 mit Ausbaugrößen bis 10.000 EW werden auch andere Reinigungsverfahren eingesetzt. Dominierend ist in diesen Größenklassen das SBR-Verfahren.

Der Jahresverbrauch der Kläranlagen an elektrischer Energie wurde, wie allgemein üblich, auf die mittlere Zulaufbelastung bezogen. Die hierzu verfügbaren Daten weisen je nach der Größenklasse der Kläranlage, der Art der Probenahme, den erfassten Parametern und der Analysehäufigkeit große Unterschiede auf. Die mittlere Zulaufbelastung wurde daher vereinfacht aus den Jahresabwassermengen und den ebenfalls abgefragten CSB-Zulaufkonzentrationen

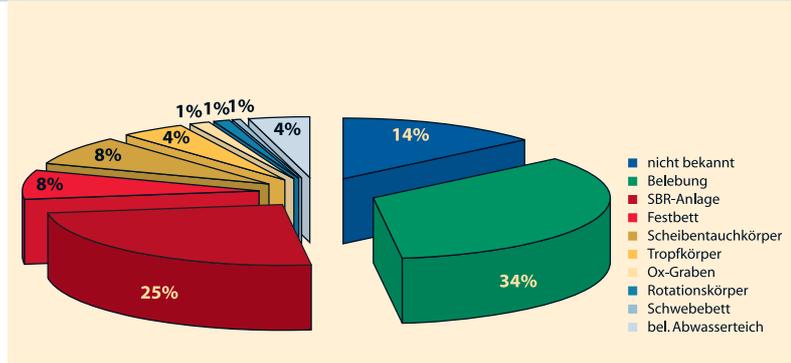


Bild 2.6: Reinigungsverfahren der in der Datenumfrage erfassten Kläranlagen

der Kläranlagen berechnet. Als Bezugsgröße für die Umrechnung der Zulaufkraft in Einwohnerwerte wurde eine einwohnerspezifische Schmutzfracht im Zulauf von 120 g CSB/(E*d) gemäß ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK, 2000) angesetzt. Diese Vorgehensweise ist zwar auch mit Unsicherheiten behaftet, ermöglicht aber ein genaueres Gesamtbild als ein Bezug des Energieverbrauchs auf die Ausbaugrößen. Bei den Kläranlagen der GK 1 und 2 mit einer Ausbaugröße bis 5.000 EW sind der Gesamtstrombedarf und die Streubreite des Energieverbrauchs sehr hoch. Dies ist auf die technologischen Unterschiede in den eingesetzten Reinigungsverfahren, wie Abwasserteiche, Tropfkörper- oder SBR-Anlagen, zurückzuführen. Eine weitergehende Auswertung der Energieeffizienz einzelner Reinigungsverfahren, gerade mit Bezug auf die kleinen Kläranlagen, ist auf Basis der begrenzten Datenbasis jedoch nicht möglich. Als weitere Ursachen für die hohen Verbrauchswerte sind die geringere Stafflung der eingesetzten Aggregate, ein schlechterer Wirkungsgrad von Motoren und Pumpen und ein erhöhter Einfluss von peripheren Einrichtungen zu berücksichtigen. Auffällig ist in den GK 1 und 2 der hohe Anteil von 35 % bzw. 20 % an Kläranlagen mit einem spezifischen Stromverbrauch von über 100 kWh/(E*a).

Die Kläranlagen der GK 3 bis 5 weisen eine reduzierte Streubreite des spezifischen Stromverbrauchs bei gleichzeitig niedrigeren Verbrauchswerten auf. Zurückzuführen ist dies maßgeblich auf das einheitliche Klärverfahren dieser Anlagen (Belebungsverfahren/SBR-Verfahren) und die energetisch günstigere maschinelle Ausstattung. Etwa die Hälfte der Anlagen erreicht einen Verbrauch zwischen 30 und 60 kWh/(E*a). Gleichwohl ist zu beachten, dass der Ver-

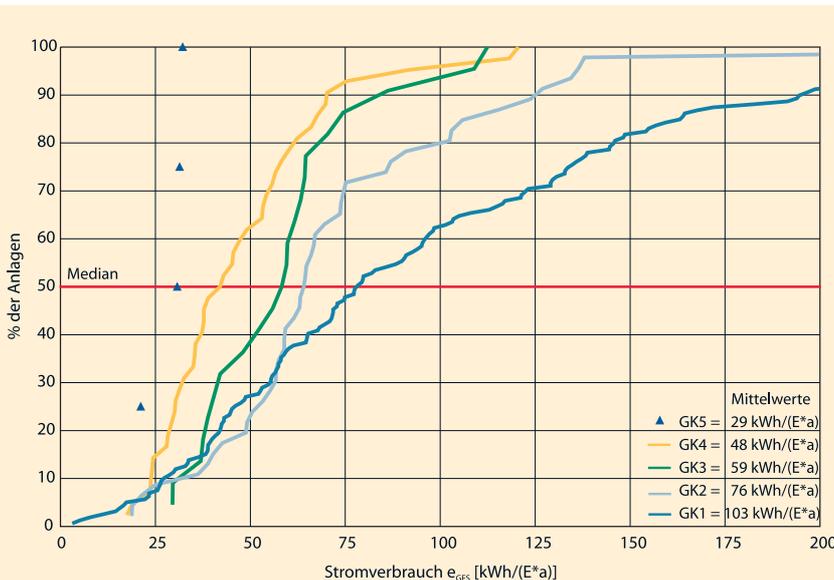


Bild 2.7: Streubreite des Stromverbrauchs nach Größenklassen bezogen auf die mittlere Zulaufbelastung

brauchswert der Kläranlagen der GK 3 und 4 mit Mittelwerten von 59 bzw. 48 kWh/(E*a) deutlich über dem Verbrauchswert der vier großen Kläranlagen von rund 30 kWh/(E*a) liegt. Die hohen Verbrauchsunterschiede sind auf die überwiegend aerobe Schlammstabilisierung mit einem im Vergleich zu Kläranlagen mit Schlammfäulung höheren Energieverbrauch zurückzuführen.

Das mögliche Potenzial für eine energetische Optimierung kann aus einem Vergleich der mittleren Verbrauchswerte in den Größenklassen mit veröffentlichten Orientierungswerten abgeleitet werden. Die Richtwerte des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) sind aus durchgeführten Energieanalysen und Bestandsaufnahmen an Kläranlagen über 10.000 EW in Nordrhein-Westfalen abgeleitete Werte. Die Richtwerte repräsentieren damit die Betriebsergebnisse realer Anlagen. Die Toleranzwerte, die in der UBA-Studie zur Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen genannt werden, beschreiben dagegen den Stand der Energieeffizienz, der üblicherweise bei optimierter Betriebsweise von Kläranlagen mit vertretbarem Aufwand

heute erreicht werden kann (UBA, 2006). Orientierungswerte für die in Mecklenburg-Vorpommern anzahlmäßig dominierenden kleinen Kläranlagen der GK 1 und 2 finden sich daneben in dem DWA-Leitfaden zur Senkung des Stromverbrauchs auf kommunalen Kläranlagen (DWA-BW, 2008).

Die Idealwerte sind theoretische Werte, die anhand von Berechnungen einer Modellanlage von 100.000 Einwohnerwerten unter optimalen Voraussetzungen erreicht werden können. Die Zielwerte für den spezifischen Energieverbrauch wurden demgegenüber aus Häufigkeitsverteilungen im Bestand abgeleitet.

Unter Berücksichtigung der Verbrauchsdifferenzen und der angeschlossenen Einwohnerzahlen ist eine Steigerung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung in Mecklenburg-Vorpommern insbesondere in den GK 3 bis 5 von großer Bedeutung. Bezogen auf die Orientierungswerte besteht in allen Größenklassen ein zum Teil erhebliches Optimierungspotenzial. Dies gilt umso mehr bei einer Betrachtung der Idealwerte des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) und der Zielwerte der UBA-Studie.

Tabelle 2.2: Orientierungswerte für den Gesamtstromverbrauch [kWh/(E*a)]

Kennwert	Ausbaugröße [E]	GK1 < 1.000	GK2 1.000 - 5.000	GK3 5.001 - 10.000	GK4 10.001 - 100.000	GK5 > 100.000
Richtwerte (MUNLV NRW, 1999)						
- aerobe Schlammstabilisierung			54	46	40	
- mit Schlammfäulung				39	34 / 30	26
Toleranzwerte (UBA, 2006)						
- mit Schlammfäulung				35	30	30
Toleranzwerte (DWA-BW, 2008)						
- aerobe Schlammstabilisierung	70	45	38	34	34	
- mit Schlammfäulung			34	30	30	27
Idealwerte (MUNLV NRW, 1999)						
- aerobe Schlammstabilisierung			41	35	31	
- mit Schlammfäulung				30	26 / 23	20
Zielwerte (UBA, 2006)						
- mit Schlammfäulung				18	18	18
Mittelwerte Datenerhebung						
- KoRe (LU, 2008)		83	99	67	50	26
- Projekt M-V (2008)		103	76	59	48	29

3. Energieeinsparpotenzial

3.1 Vorbemerkung

Der Energieverbrauch bei der Abwasserbehandlung ist in den vergangenen Jahren verstärkt in den Blickpunkt von Betreibern abwassertechnischer Anlagen gerückt.

Der Stromverbrauch der Kläranlagen in Deutschland wird mit mehr als 4 TWh/a (Mrd. kWh) abgeschätzt und liegt damit deutlich über dem aller Schulen oder dem der Straßenbeleuchtung (Schröder und Schrenk, 2008). Der Energiebedarf einer Kläranlage variiert in Abhängigkeit der Ausbaugröße, des Verfahrensprinzips der Abwasserreinigung und der Art der Schlammbehandlung sowie der spezifischen Standortbedingungen. Bezogen auf die mittlere Belastung der Kläranlage ergeben sich spezifische Verbrauchswerte an elektrischer Energie zwischen etwa 30 und 60 kWh/(E*a) für die Gesamtanlage bzw. von 15 bis 40 kWh/(E*a) für die biologische Stufe. Insbesondere bei den kleineren Kläranlagen der Größenklassen 1 und 2 können sich deutlich höhere Verbrauchswerte von bis zu 150 kWh/(E*a), bei unbelüfteten Teichanlagen dagegen auch Werte kleiner 10 kWh/(E*a) ergeben.

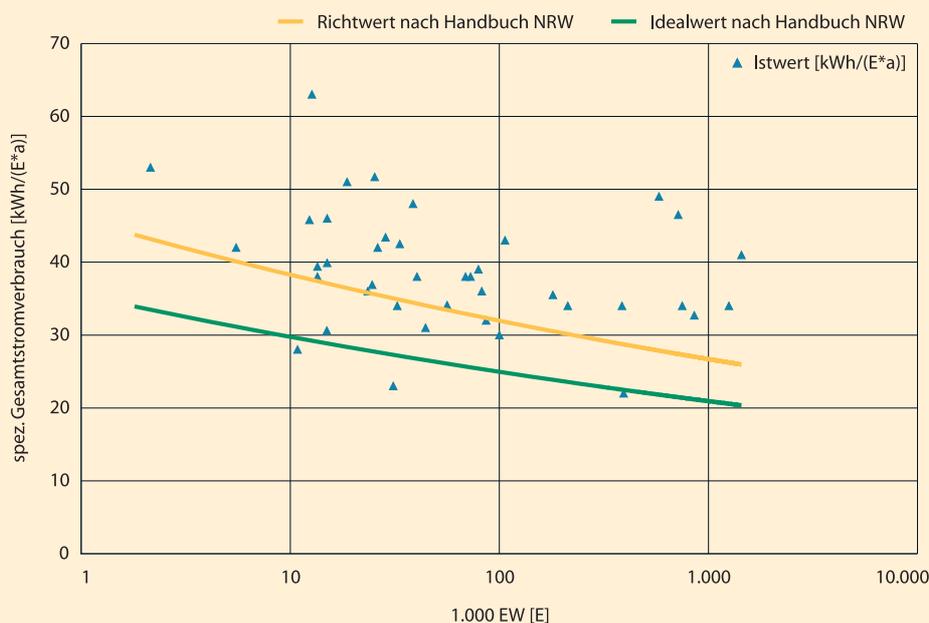
Im Vergleich zu dem Stromverbrauch eines typischen 4-Personen-Haushalts von etwa 3.500 bis 4.000 kWh/(E*a) ist der

einwohnerspezifische Stromverbrauch der Abwasserreinigung als ausgesprochen niedrig einzustufen. Er entspricht in etwa dem Verbrauch einer Glühbirne mit einer Leistung von 60 W über rund 650 Stunden pro Jahr.

Gleichwohl stellt die Kläranlage als in der Regel größter und zentraler kommunaler Verbraucher einen wesentlichen Ansatzpunkt für Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs und der hiermit verbundenen CO₂-Emissionen dar. Bei einer Senkung des bundesweiten Stromverbrauchs für die Abwasserreinigung auf den Bereich zwischen den Richt- und Idealwerten des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV, 1999) wird in der DWA-Studie zu den Energiepotenzialen der deutschen Wasserwirtschaft (Schröder und Schrenk, 2009) eine Gesamteinsparung von rund 1,25 TWh/a abgeschätzt.

Dies entspricht bei Ansatz eines Bezugspreises von 12 Ct/kWh einer Kostenreduktion in Höhe von insgesamt 150 Mio. Euro pro Jahr, der jedoch im Einzelfall die mit dieser Einsparung verbundenen energiebezogenen Investitionen und Betriebskosten gegenüber zu stellen sind.

Bild 3.1: Ergebnisse bundesweit durchgeführter Energieanalysen (Quelle: WiW, 2009), (Richt- und Idealwerte berechnet nach Handbuch ‚Energie in Kläranlagen‘ MUNLV NRW, 1999)



3.2 Untersuchung von Referenzanlagen

Im Rahmen dieses Projektes soll das Potenzial zur Energieeinsparung und -erzeugung auf den Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern aufgezeigt werden. Hierfür wurden 5 repräsentative kommunale Kläranlagen ausgewählt, auf denen Energiefeinanalysen durchgeführt wurden. Anhand der auf den Referenzkläranlagen gewonnenen Erkenntnisse sollte das realistisch umsetzbare Potenzial zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Steigerung der Energieproduktion – unter Einhaltung der Überwachungswerte – abgeschätzt werden.

Es wurden die folgenden Kläranlagen nach Ausbaugrößen ausgewählt:

- KA Stralsund (99.999 EW)
große Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung),
- KA Parchim (37.000 EW)
mittelgroße Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung),
- KA Boltenhagen (16.000 EW)
Anlage mit starkem Tourismuseinfluss,
- KA Franzburg (4.900 EW)
kleine Anlage mit aerober Stabilisierung und SBR,
- KA Bobitz (2.000 EW)
kleine Anlage mit aerober Stabilisierung.

Auf die Auswahl einer Kläranlage mit einer Ausbaugröße größer 100.000 EW wurde aufgrund der geringen Anzahl von nur 4 Anlagen dieser Größenklasse in Mecklenburg-Vorpommern verzichtet, zumal die Kläranlage Stralsund im Grenzbereich zur Größenklasse 5 liegt.

Hingegen wurde ein Schwerpunkt auf Anlagen der Größenklasse 4 (10.000 EW bis 100.000 EW) gelegt, da auf diesen ca. 54 % der Gesamtabwassermenge behandelt werden.

Ein detaillierter Überblick über die energetische Verbrauchssituation der untersuchten Kläranlagen sowie der zu erwartenden Änderungen nach Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen ist im Anhang aufgeführt.



Bild 3.2: Kläranlage Stralsund



Bild 3.3: Kläranlage Parchim



Bild 3.4: Kläranlage Boltenhagen



Bild 3.5: Kläranlage Franzburg



Bild 3.6: Kläranlage Bobitz

3.2.1 Beschreibung der Kläranlagen

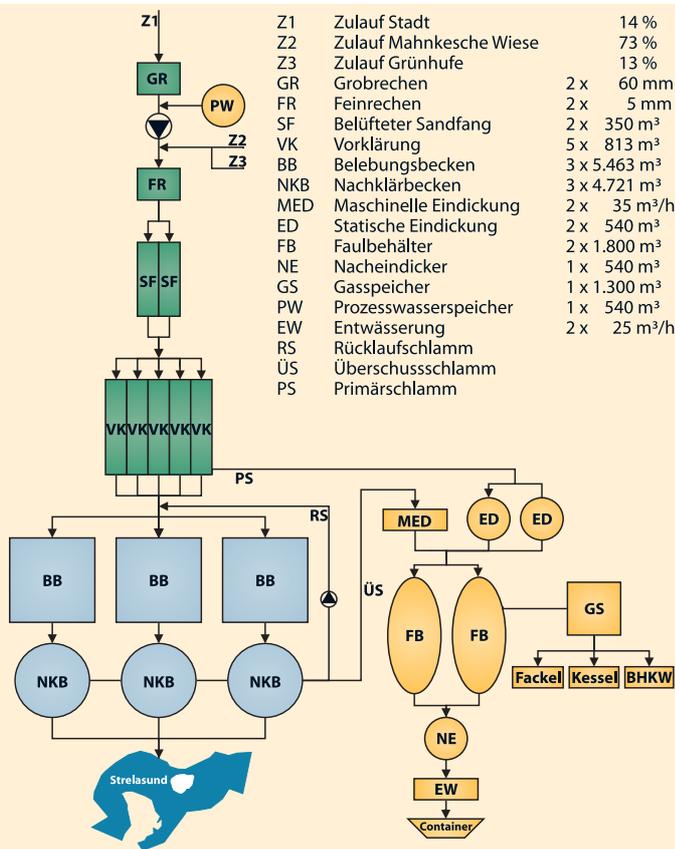


Bild 3.7: Fließschema der Kläranlage Stralsund

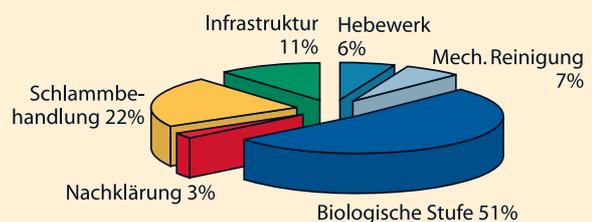
Kläranlage Stralsund

Die Kläranlage Stralsund ist auf 99.999 EW bemessen. Aktuell angeschlossen sind im Mittel 89.000 EW. Das Rohabwasser fließt der Kläranlage über zwei Druckleitungen und eine Freigefälleleitung zu. Das Abwasser der Freigefälleleitung wird nach Durchfließen einer Grobrechenanlage im Hauptpumpwerk auf das Niveau der ankommenden Druckleitungen gehoben. Die anschließende mechanische Reinigungsanlage besteht aus Feinrechen, belüftetem Sandfang und Vorklärung.

Anschließend erfolgt eine gleichmäßige Aufteilung auf drei Belebungsbecken. Jedes Belebungsbecken besteht aus einem Rücklaufschlamm-Denitrifikationsbecken, zwei Anaerobbecken, zwei Denitrifikationsbecken, zwei kombinierten Denitrifikations-/Nitrifikationsbecken, einem Nitrifikationsbecken und einem Entgasungsbecken. Im Bedarfsfall kann die vermehrte biologische Phosphorelimination durch eine chemische P-Fällung mittels Dosierung von Eisenchlorid in den Rücklaufschlamm unterstützt werden. Das Schlammalter liegt bei 20 d, die Rezirkulation beträgt 300 % und der Rücklaufschlamm im Mittel 72 % des Zulaufes. Der Primärschlamm wird statisch und der Überschussschlamm maschinell per Zentrifuge (Austausch in 2009 gegen Bandeindicker) eingedickt, bevor sie in den 2 Faultürmen ausgefault werden. Für die Entwässerung des Faulschlammes werden zwei Dekanter eingesetzt. Nach Zwischenspeicherung in einem Gasspeicher wird das anfallende Klärgas in einer BHKW-Anlage mit einer installierten Leistung von 340 kW_{el} energetisch nutzbar gemacht. Bei Bedarf wird für die Wärmebereitstellung das Klärgas zusätzlich in einer Kesselanlage verbrannt.

Der Elektrizitätsverbrauch der Kläranlage betrug im Jahr 2008 ca. 2.600 MWh und verteilt sich auf die einzelnen Verbrauchergruppen, wie es in Bild 3.8 dargestellt ist. Besonders auffällig sind die hohen Anteile der Schlammbehandlung, der Infrastruktur und der mechanischen Reinigung am Gesamtverbrauch der Kläranlage. Im Vergleich dazu besitzt die biologische Stufe einen relativ geringen Anteil am Gesamtverbrauch.

Bild 3.8: Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen am Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Stralsund



Kläranlage Parchim

Die Kläranlage Parchim wurde für 37.000 EW ausgebaut. Die maßgebende Belastung bezogen auf den CSB ist aktuell 34.000 EW. Der größte Teil des Abwassers wird von einem Hauptpumpwerk in Parchim über eine Druckrohrleitung zur Kläranlage transportiert.

Die sich anschließende mechanische Reinigung besteht aus Feinrechen, belüftetem Sandfang und Vorklärung. Das Belebungsbecken mit einem Volumen von 9.900 m³ ist einstraßig als Kaskade mit einem Bio-P Becken und mit einer vorgeschalteten Denitrifikation ausgeführt. In den Nitrifikations- und Wechselzonen ist eine feinblasige Belüftung installiert. Über die biologische P-Elimination hinaus wird Phosphor chemisch mit Eisen(III)chloridsulfat gefällt, um einen Grenzwert von 2 mg P/l einzuhalten. Die biologische Stufe wird mit einem Schlammalter von ca. 25 d betrieben, was für eine Anlage mit anaerober Stabilisierung ungewöhnlich hoch ist. Die Rezirkulation wird intern über getauchte Propellerpumpen realisiert. Das Rücklaufschlammverhältnis ist nicht konstant eingestellt und liegt zeitweise über 1,5.

Der Überschussschlamm wird in einer Siebtrommel eingedickt und zusammen mit dem Primärschlamm im Faulbehälter ausgefault. Nach Zwischenspeicherung in einem Nacheindicker wird der Faulschlamm mittels einer Zentrifuge entwässert. Als Vorlage für die Klärgasnutzung ist ein Gasspeicher vorhanden. Das Klärgas wird in einer BHKW-Anlage mit einer installierten Leistung von 72 kW_{el} energetisch verwertet. Im Bedarfsfall kann die Wärmebereitstellung durch Verfeuerung des Klärgases in einem Heizkessel unterstützt werden.

2007 lag der Elektrizitätsverbrauch der Kläranlage Parchim bei 850 MWh. Die Aufteilung auf die einzelnen Verbrauchergruppen ist in Bild 3.10 dargestellt. Hieran fällt der relativ hohe Anteil für die Infrastruktur auf.

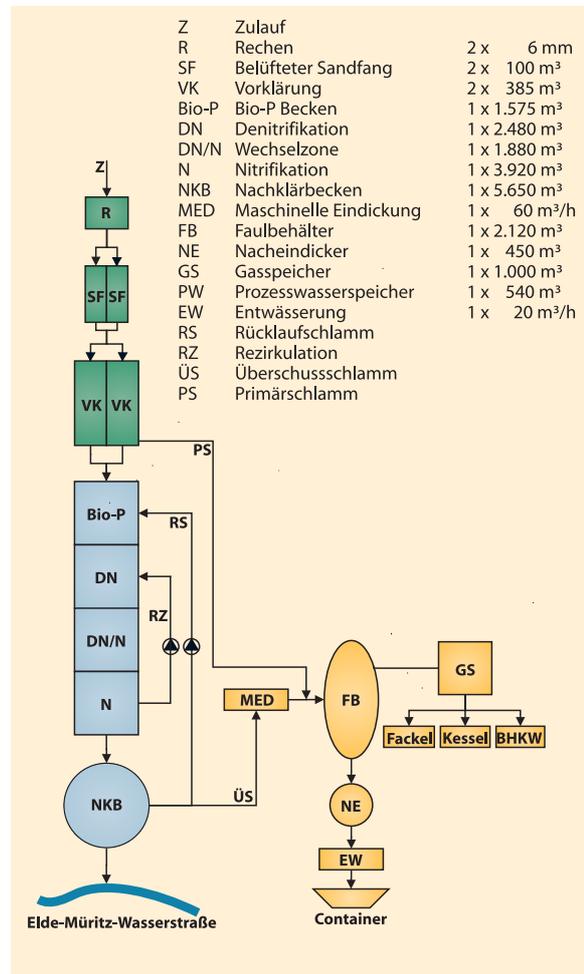
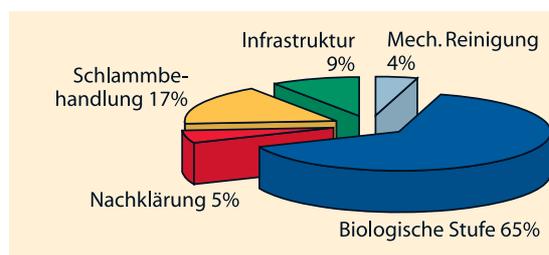


Bild 3.9: Fließschema der Kläranlage Parchim

Bild 3.10: Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen am Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Parchim



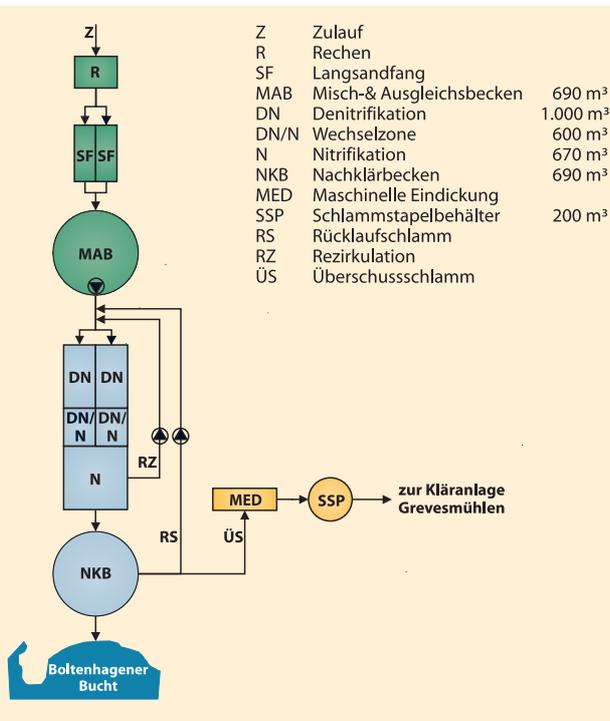


Bild 3.11: Fließschema der Kläranlage Boltenhagen

Kläranlage Boltenhagen

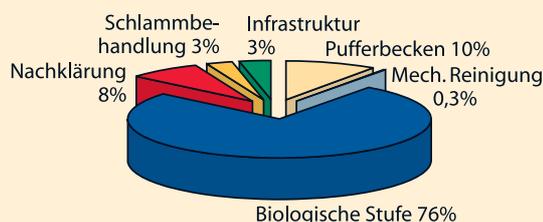
Die Kläranlage Boltenhagen zeichnet sich durch einen starken Tourismuseinfluss auf den Abwasseranfall aus. Die Kläranlage ist für 15.000 EW ausgelegt. Im Jahresmittel wird auf der Anlage das Abwasser von 12.300 EW behandelt, wobei während der Sommermonate die Belastung bis auf 16.100 EW ansteigt und sich dafür im Winter bis auf 8.200 EW reduziert. Das Rohabwasser wird der Kläranlage über Druckrohrleitungen zugeführt.

Die mechanische Reinigungsstufe besteht aus 2 Feinrechen in Form von Siebschnecken und einem Langsandfang. Nach der mechanischen Reinigungsstufe wird das Abwasser in einem Misch- und Ausgleichsbecken zwischengespeichert und von dort in den Zulauf zur biologischen Stufe gepumpt.

Die biologische Stufe gliedert sich räumlich in 2 Teile. Zunächst wird ein 2-straßiges Becken durchflossen, von dem der erste Teil als Denitrifikation und der zweite Teil als Wechselzone betrieben werden. Hieran schließt sich das Nitrifikationsbecken an. Phosphor wird mit Eisen(III)chloridsulfat gefällt, das in den Zulauf des Nitrifikationsbeckens dosiert wird. Das Schlammalter beträgt 15 d, das Rezirkulationsverhältnis ist im Mittel auf 400 % und das Rücklaufschlammverhältnis im Mittel auf 100 % des Zulaufs eingestellt. Vom Nachklärbecken fließt das gereinigte Wasser im freien Gefälle zur Vorflut ab. Der anfallende Überschussschlamm wird maschinell eingedickt und in einem Schlammstapelbehälter gelagert. Der Klärschlamm wird zur Kläranlage Grevesmühlen abtransportiert, wo er anaerob stabilisiert wird.

Auf der Kläranlage Boltenhagen lag der Elektrizitätsverbrauch im Jahr 2008 bei 525 MWh. Die Verteilung auf die einzelnen Verbrauchergruppen ist in Bild 3.12 aufgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass sich der Energieverbrauch der Schlammbehandlung nur aus den Verbräuchen der Eindickung und der Schlammspeicherung zusammensetzt, da keine anaerobe Schlammbehandlung auf der Kläranlage vorhanden ist. Der Betrieb des Misch- und Ausgleichsbeckens (Pufferbecken) hat erheblichen Anteil am gesamten Energieverbrauch.

Bild 3.12: Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen am Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Boltenhagen



Kläranlage Franzburg

Die Kläranlage ist für eine Anschlussgröße von 4.700 EW ausgelegt. Die aktuelle Belastung der Kläranlage beträgt im Jahresmittel 2.530 EW. Das Abwasser fließt der Kläranlage überwiegend per Druckrohrleitungen zu. Die mechanische Reinigungsstufe besteht aus einem Siebrechen und einem Sandfang. Nach Durchströmen dieser Stufe wird das Abwasser in einem runden Misch- und Ausgleichsbecken zwischengespeichert. Von dort wird es auf die zweistraßige biologische Stufe aufgeteilt.

Die Biologische Stufe besteht aus zwei unterschiedlichen Straßen: einem runden Belebungsbecken, das als intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation betrieben wird, und einem runden SBR, der im Batchbetrieb betrieben wird. Das Austauschvolumen des SBR beträgt 155 m³. An das Belebtschlammbecken sind zwei Nachklärbecken angeschlossen. Der abgesetzte Schlamm wird über zwei Rücklaufschlamm-pumpen in das Belebtschlammbecken zurückgeführt, welche gleichzeitig auch zur diskontinuierlichen Überschussschlamm-entnahme verwendet werden. Der Biomasserückhalt im SBR wird durch einen absenk- baren Dekanter gewährleistet, für die Überschussschlamm-entnahme ist eine Schlamm-pumpe installiert.

Der abgezogene Überschussschlamm wird in 2 Schlamm- stapelbehältern mit 300 und 350 m³ Volumen zwischengespeichert und anschließend ohne vorhergehende Eindickung zur KA Stralsund abgefahren.

Der Energieverbrauch der Kläranlage Franzburg belief sich für das Jahr 2008 auf rund 192 MWh. Dieser Verbrauch verteilt sich auf die verschiedenen Verbrauchergruppen, wie es in Bild 3.14 dargestellt ist. Es fällt auf, dass die biologische Stufe einen relativ hohen Anteil am Gesamtverbrauch besitzt. Die Schlammbehandlung hat dafür nur einen verschwindend geringen Anteil, da der anfallende Schlamm vor Abtransport zur Kläranlage Stralsund lediglich zwischengespeichert und nicht eingedickt wird.

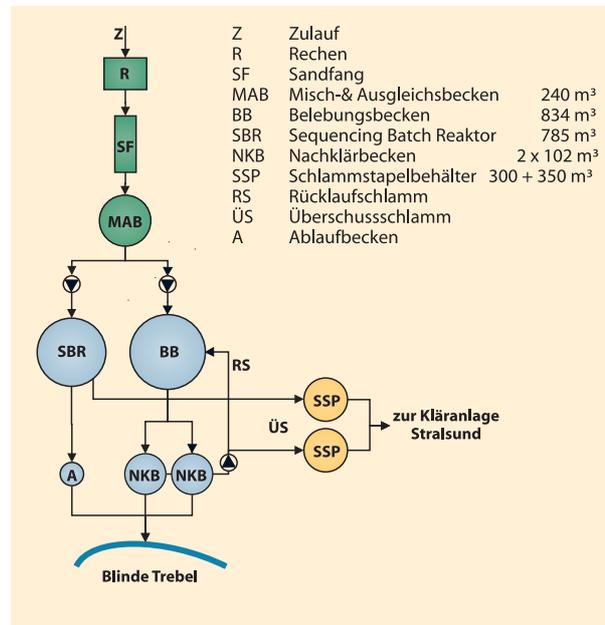
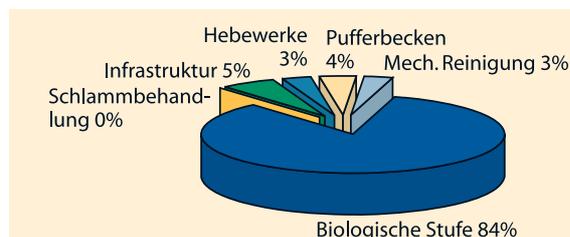


Bild 3.13: Fließschema der Kläranlage Franzburg

Bild 3.14: Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen am Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Franzburg



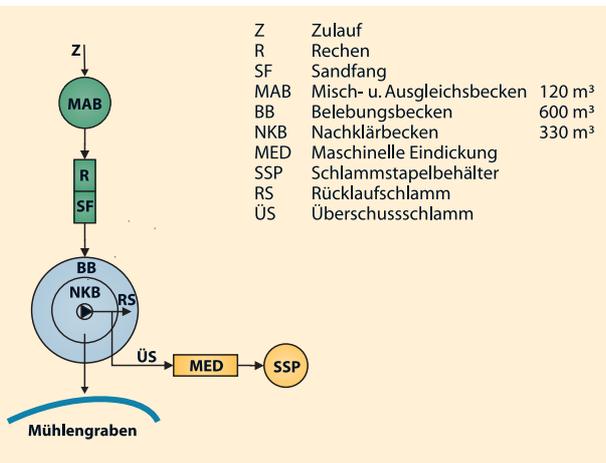


Bild 3.15: Fließschema der Kläranlage Bobitz

Kläranlage Bobitz

Die Kläranlage ist für 2.550 EW ausgebaut und behandelt im Jahresmittel das Abwasser von 1.800 EW. Das Abwasser fließt der Kläranlage in Druckrohrleitungen zu. Der größte Teil des Abwassers wird in einem Misch- und Ausgleichsbecken zwischengespeichert, von wo aus es im freien Gefälle zur mechanischen Reinigungsstufe abgelassen wird. Ein kleinerer Teilstrom des Abwassers wird der mechanischen Reinigung direkt im freien Gefälle zugeführt. Die mechanische Reinigungsstufe ist als Kompaktanlage mit Rechen und belüftetem Sandfang ausgeführt. Diese Anlage ist komplett eingekapselt. Im Anschluss an die mechanische Reinigungsstufe besteht die Möglichkeit, das Abwasser in einen als Regenspeicher umgenutzten Oxidationsgraben abzuschlagen, von wo aus es zum Belebungsbecken gepumpt wird. Seit Errichtung des Misch- und Ausgleichsbeckens wird das Abwasser allerdings vollständig von der mechanischen Reinigungsstufe direkt in das Belebungsbecken geleitet.

Das kreisförmige Belebungsbecken ist um das Nachklärbecken herum gebaut. Es wird als intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation betrieben, wobei ca. 1/3 des Belebungsbeckens mit Belüfterelementen ausgestattet ist. Phosphor wird chemisch gefällt und das Fällmittel in den Zulauf zum Belebungsbecken dosiert. Das Schlammalter beträgt 26 d und das Rücklaufschlammverhältnis ist mit einem Wert von 8 sehr hoch. Vom Nachklärbecken fließt das gereinigte Wasser dem Vorfluter zu. Der Überschussschlamm wird mittels eines Scheibeneindickers maschinell eingedickt und in einem Schlammstapelbehälter gespeichert. Von dort wird er auf eine zentrale Kläranlage abtransportiert, wo er entwässert wird.

Der Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage Bobitz betrug im Jahr 2008 rd. 85 MWh. Dieser Verbrauch verteilt sich auf s3.16 dargestellt ist. Bei der Betrachtung der einzelnen Verbrauchergruppen fällt der hohe Anteil der Infrastruktur am Gesamtverbrauch der Kläranlage auf.

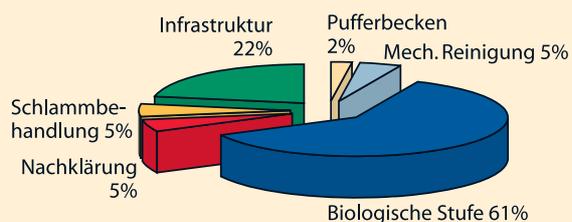


Bild 3.16: Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen am Gesamtenergiebedarf der Kläranlage Bobitz

3.2.2 Bewertung des Energieverbrauchs

Die energetische Verbrauchssituation der Referenzkläranlagen wurde über einen Kennzahlenvergleich auf Basis der Richt- und Idealwerte des Handbuches ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) bewertet.

Der spezifische Energieverbrauch der Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung, Stralsund und Parchim, liegen bei 29 bzw. 36 kWh/(E*a). Im Vergleich zu den in Bild 2.7 aufgeführten Werten für den Energieverbrauch von Kläranlagen der GK 4 liegen beide Kläranlagen unterhalb des Mittelwertes von 55 kWh/(E*a). Die Kläranlage Boltenhagen, als durch den Tourismus geprägte Anlage, weist in den Sommermonaten einen spezifischen Energieverbrauch von 33 kWh/(E*a) auf. Sonst ist der absolute Energieverbrauch zwar geringer, allerdings sinken dann auch die Zulaufmengen und -frachten, so dass sich insgesamt ein deutlich höherer spezifischer Energieverbrauch von 45 kWh/(E*a) ergibt.

Die untersuchten Kläranlagen der GK 2, Franzburg und Bobitz, weisen deutlich unterschiedliche spezifische Energieverbräuche auf. So liegt die Kläranlage Franzburg mit einem spezifischen Verbrauch von 74 kWh/(E*a) erheblich über dem der Kläranlage Bobitz von 47 kWh/(E*a). Der spezifische Energieverbrauch der Kläranlage Franzburg entspricht ungefähr dem in Bild 2.7 aufgeführten Durchschnittsverbrauch für Kläranlagen der GK 2. Hierfür ist vor allem der hohe Energieverbrauch für die Umwälzung der biologischen

Stufe auf der Kläranlage Franzburg verantwortlich, der 46 % des Gesamtverbrauchs ausmacht.

Der Vergleich des IST-Zustandes mit den Richt- bzw. Idealwerten des Handbuches ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) zeigt bei den betrachteten Anlagen ein unterschiedliches Potenzial zur energetischen Optimierung. Das größte Optimierungspotenzial besteht hiernach bei der Kläranlage Franzburg mit einem Energieverbrauch von 38 % über dem Richtwert für Kläranlagen dieser Größenklasse. Für die Kläranlage Parchim besteht ein Potenzial im Vergleich zum Richtwert von 16 %. Die Kläranlage Boltenhagen liegt während der Hochsaison unterhalb des Richtwertes, in der übrigen Zeit des Jahres 29 % über dem Richtwert. Der Energieverbrauch der Kläranlage Stralsund entspricht dem Richtwert. Besonders günstig hinsichtlich des Energieverbrauchs liegt die Kläranlage Bobitz, die den Richtwert für Kläranlagen der GK 2 um 9 % unterschreitet. Im Vergleich zu den Idealwerten besitzen alle Kläranlagen ein Optimierungspotenzial. Dies lässt auch bei den energetisch günstigeren Anlagen auf eine realistisch zu erreichende Energieeinsparung schließen.

Betrachtet man den spezifischen Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufen der einzelnen Referenzanlagen, der in Bild 3.18 den Richt- und Idealwerten gegenüber gestellt ist, weist ebenfalls die Kläranlage Franzburg das

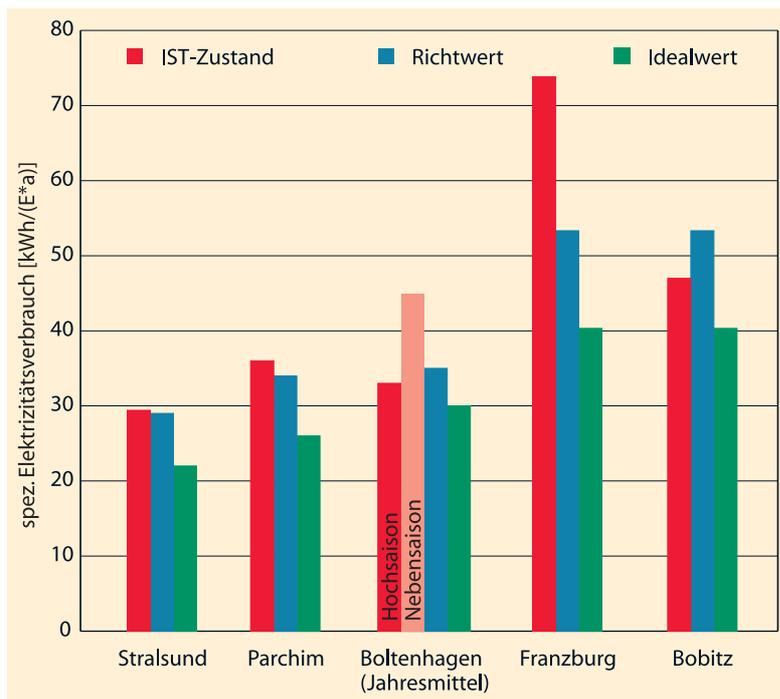


Bild 3.17: Spezifischer Energieverbrauch der Referenzanlagen im Vergleich zu den Richt- und Idealwerten (gesamte Kläranlage)

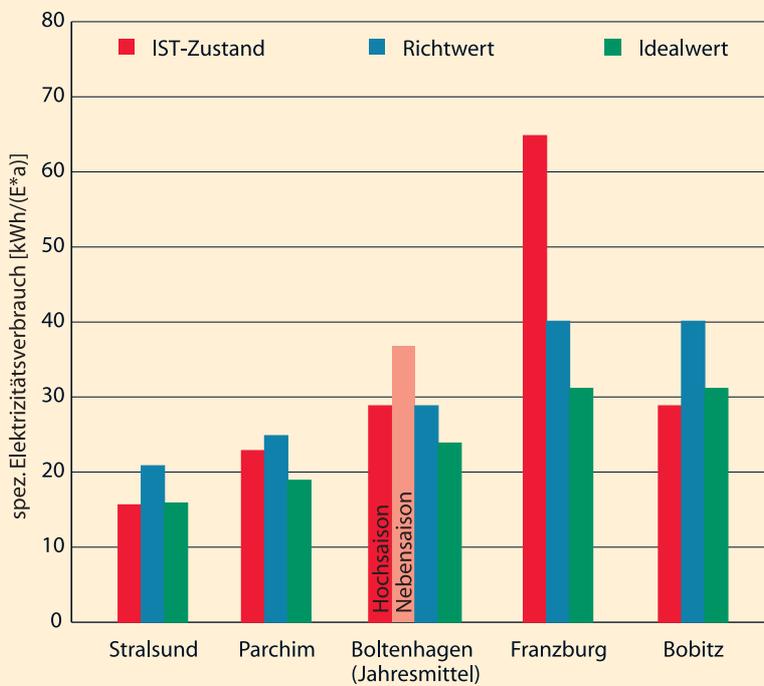
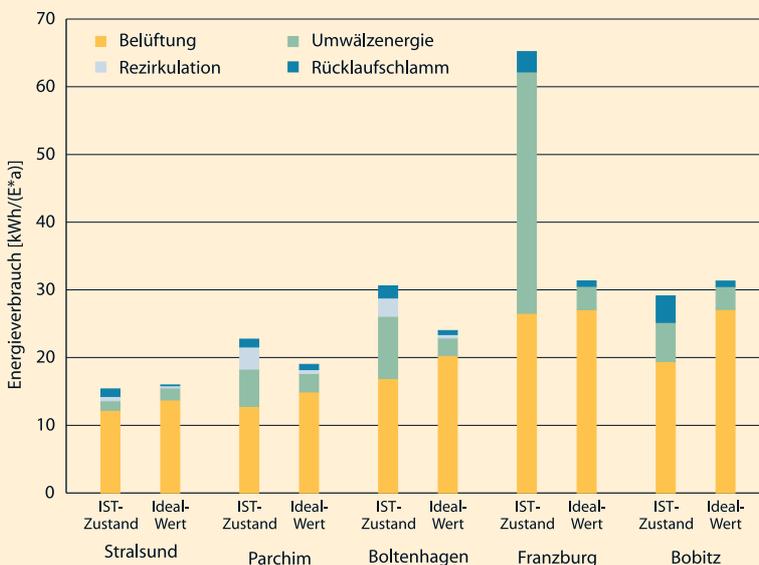


Bild 3.18: Spezifischer Energieverbrauch der Referenzanlagen im Vergleich zu den Richt- und Idealwerten (biologische Reinigungsstufe)

Bild 3.19: Spezifischer Energieverbrauch der einzelnen Verbraucher der biologischen Reinigungsstufe im Vergleich zum Idealwert



größte Optimierungspotenzial auf. Hier übersteigt der spezifische Energieverbrauch den Richtwert für Kläranlagen dieser Größenklasse um 63 %. Das Optimierungspotenzial liegt damit überwiegend im Bereich der biologischen Stufe. Für die Kläranlagen Parchim und Boltenhagen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der Gesamtanlage. Das Optimierungspotenzial ist damit nicht auf die biologische Stufe beschränkt. Die spezifischen Verbrauchswerte der biologischen Reinigungsstufen der Kläranlagen Stralsund und Bobitz liegen im Bereich des Idealwertes für die entsprechenden Größenklassen. Bei diesen beiden Anlagen liegt das Optimierungspotenzial vorwiegend außerhalb der biologischen Stufe.

Für den Energieverbrauch der biologischen Stufe kann zusammenfassend festgestellt werden, dass mit Ausnahme der Kläranlage Franzburg dieser schon auf einem niedrigen Niveau liegt. Dies ist vor allem auf einen sehr niedrigen Energieverbrauch der Belüftung zurückzuführen, wie man in Bild 3.19 erkennen kann. Gleichwohl besteht bei allen Referenzanlagen ein Optimierungspotenzial, das sich bezüglich der biologischen Stufe überwiegend auf die Bereiche der Rücklaufschlammförderung und der Rührwerke konzentriert.

Das auf den Kläranlagen Stralsund und Parchim produzierte Klärgas wird in beiden Fällen nahezu vollständig genutzt. Der Richtwert des Nutzungsgrades von 98 % wird jeweils überschritten. Auf beiden Kläranlagen wird das produzierte Klärgas überwiegend in den vorhandenen Kraftwärmekopplungsanlagen in Form von Blockheizkraftwerken (BHKW) eingesetzt. Die Umwandlung der im Klärgas enthaltenen Primärenergie in elektrische Energie

liegt bei beiden Kläranlagen bei 29 % und damit geringfügig unter dem Richtwert von 30 % bzw. dem Idealwert von 31 % des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999). Die Umwandlung des Klärgases in Elektrizität wird durch den elektrischen Wirkungsgrad der eingesetzten Anlagen begrenzt. Eine Steigerung lässt sich durch einen Austausch dieser gegen modernere Aggregate mit höheren Wirkungsgraden sowie durch eine verbesserte Bewirtschaftung von Faulturn und Gasspeicher erreichen.

Der Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie beträgt bei der Kläranlage Parchim 48 %. Der Richtwert von 55 % wird nicht erreicht. Auf der Kläranlage Stralsund wird ein höherer Eigenversorgungsgrad von 53 % erzielt, der damit nur geringfügig unter dem Richtwert liegt. Der Wärmebedarf kann auf beiden Kläranlagen zu 100 % über die Klärgasnutzung abgedeckt werden, wobei bei der Kläranlage Stralsund zeitweise die Wärmebereitstellung durch den Einsatz von Klärgas in einer Kesselanlage unterstützt werden muss.

Die spezifische Klärgasproduktion, die sich aus der produzierten Klärgasmenge bezogen auf den der Faulung zugeführten organischen Trockenrückstand (oTR) ergibt, liegt bei der Kläranlage Parchim mit 356 l/kg deutlich unterhalb des Richtwertes des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) von 450 l/kg. Hier besteht vor allem in Verbindung mit einer Absenkung des Schlammalters in der biologischen Stufe ein erhebliches Optimierungspotenzial. Bei der Kläranlage Stralsund beträgt die spezifische Klärgasproduktion 421 l/kg. Allerdings wurden im betrachteten Jahr 2008 beide Faultürme revisionsbedingt zeitweise au-

ßer Betrieb genommen, so dass durch die verringerte Faulraumkapazität nur eine relativ niedrige Faulzeit zur Verfügung stand. Daher wird davon ausgegangen, dass im normalen Betrieb eine höhere spezifische Klärgasausbeute im Bereich des Richtwertes von 450 l/kg realistisch ist.

Eine detaillierte Auflistung der spezifischen Verbrauchswerte für die einzelnen Anlagen ist im Anhang aufgeführt.

3.2.3 Maßnahmen zur Optimierung

Anhand der durchgeführten Energieanalysen konnten für verschiedene Verfahrensgruppen der einzelnen Referenzkläranlagen Optimierungspotenziale festgestellt werden. Die hieraus entwickelten Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs bzw. zur Steigerung der Energieeigenproduktion sind in Tabelle 3.1 (S. 26) zusammengefasst. Die größten Potenziale konnten beim Sandfang (vor allem Sandfanggebläse), in der biologischen Stufe (insbesondere Umwälzung und Rücklaufschlammumpwerk) sowie in der Überschussschlammverdickung ermittelt werden.

Die Maßnahmen werden in drei Bereiche unterteilt:

Für Sofortmaßnahmen (S) ist ein Realisierungshorizont von 0-2 Jahren vorgesehen. Sofortmaßnahmen sind sehr rentabel, erfordern geringe Investitionen und können auf Grund der technischen und betrieblichen Randbedingungen sofort realisiert werden.

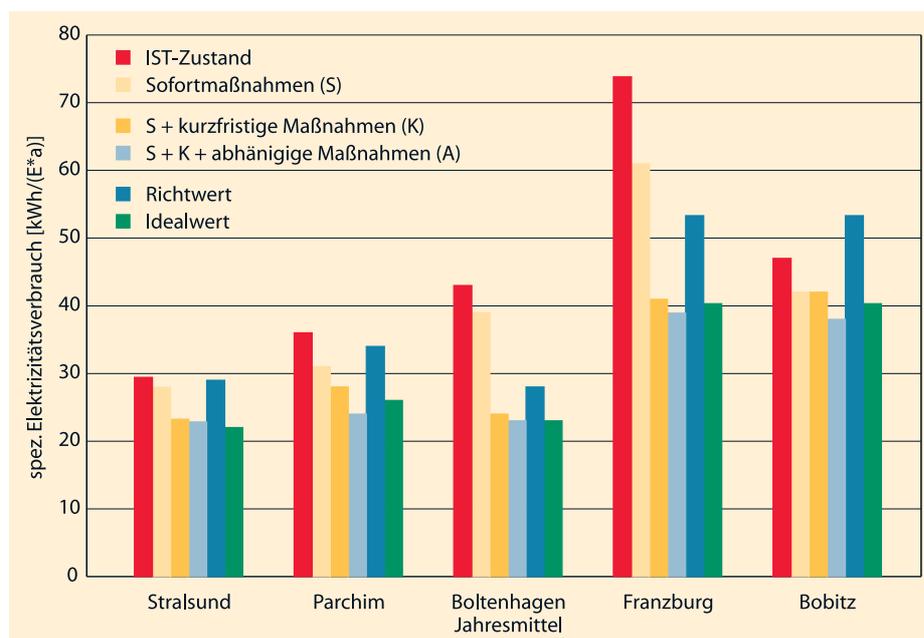


Bild 3.20: Energienachweis vor und nach Umsetzung der energetischen Optimierungsmaßnahmen

Kurzfristige Maßnahmen (K) 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 (A) sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So kann z.B. ein hocheffizienter Motor in der Regel erst nach Ende der Nutzungsdauer des alten Motors eingesetzt werden. Abhängige Maßnahmen können vielfach erst mittel- und langfristig realisiert werden (Realisierungshorizont: 1-10 Jahre).

Um die Auswirkungen der Optimierungsmaßnahmen auf den Energiehaushalt der Kläranlagen zu bestimmen, wird unter Berücksichtigung der Einsparungen erneut eine Energienachweisberechnung, äquivalent zu Kapitel 3.2.2, durchgeführt. Hierbei werden die nach den einzelnen Maßnahmengruppen (sofortige, kurzfristige und abhängige Maßnahmen) berechneten Energiekennwerte wieder mit den Richt- und Idealwerten des Handbuchs ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) verglichen.

Tabelle 3.1: Überblick der Optimierungsmaßnahmen auf den Referenzkläranlagen

	Stralsund	Parchim	Boltenhagen	Franzburg	Bobitz
mech. Reinigung	Hebewerke	Austausch Pumpen			
	Rechen				
	Sandfang	Drosselung Gebläse mit FU, 1-straßiger Betrieb bei TW	Verkleinerung des Sandfangtrichters		Austausch Gebläse
	Vorklärung				
Biologie	Pufferbecken				
	Umwälzung		Belüftung Wechselzonen statt Rührwerke	Bewirtschaftung des Beckens Taktung Rührwerke Revision Rührwerke, Tausch Rührwerk BB, Tausch Rührwerk SBR	Optimierung Umwälzenergie Taktung Rührwerke
	Rezirkulation		Austausch RZ-Pumpen		
	Rücklaufschlamm	Optim. RS-Pumpen	Austausch RS-Pumpen		Austausch RS-Pumpen
	Belüftung	Senkung Schlammalter	Senkung Schlammalter, Gebläse O ₂ regeln, Dosierung externer Schlämme in FB	Errichtung Vorklärung	Austausch RS-Pumpen Umstellung Biologie auf Nährstoffelimination
	Nachklärung				Optim. SS-Pumpe
	Fällmitteldosierung		Dosierpumpen abschalten		
Schlammbehandlung	Voreindickung	Austausch ÜS-Zentrifugen		maschinelle ÜS Eindickung	
	Faulung				
	Entwässerung	Außerbetriebnahme GS-Zerkleinerer, Austausch ÜS-Zentrifugen u. Entwässerungsdekanter,	Ausbau Doppelpaddelmischer		
	Infrastruktur	Optimierung Abluftansaugung			Einsatz der Elektroheizungen
	Energieerzeugung	BHKW-Anlage modernisieren	Schlammalter senken, Dosierung externer Schlämme in FB	Errichtung einer Vorklärung	

Für die Kläranlage Boltenhagen wird nicht mehr zwischen Hoch- und Nebensaison unterschieden, sondern es werden vereinfachend durchschnittliche Jahreskennwerte verwendet. Zusätzlich werden für diese Kläranlage die Richt- und Idealwerte an die veränderten Bedingungen nach Realisierung der Maßnahmen angepasst.

Bei allen Anlagen kann der spezifische Energieverbrauch durch die Optimierungsmaßnahmen unter die Richtwerte abgesenkt werden. Bei den Kläranlagen Parchim, Franzburg und Bobitz wird sogar der Idealwert erreicht. Das größte Optimierungspotenzial kann auf der Kläranlage Franzburg mit einer Reduktion des Energieverbrauchs um 49 % erzielt werden. Allein durch die Optimierung der Umwälzenergie in der biologischen Stufe kann der Energieverbrauch um 42 % verringert werden. Auch bei der Kläranlage Boltenhagen besteht ein erhebliches Einsparpotenzial. Hier kann der Energiebedarf durch die Umsetzung der Maßnahmen um 38 % reduziert werden, wobei der größte Anteil auf die Umstellung der Anlage auf reine Nährstoffelimination entfällt.

Im Bereich der Eigenenergieerzeugung aus Klärgas kann durch ein Absenken des Schlammalters (Parchim und Stralsund), die Modernisierung der BHKW-Anlage (Stralsund) und durch eine direkte Zugabe der externen Schlämme in den Faultrum (Parchim) die produzierte Gasmenge erheblich gesteigert werden. In Kombination mit einer Reduzierung des Energieverbrauchs würde der Eigenversorgungsgrad an Elektrizität deutlich gesteigert und überträfe bei beiden Anlagen nach Umsetzung der Maßnahmen mit über 85 % sogar den jeweiligen Idealwert. In Bild 3.21 sind der Gesamtenergieverbrauch und die Energieeigenproduktion auf den Referenzanlagen für die einzelnen Gruppen von Maßnahmen dargestellt. Die Energieeigenproduktion für die Kläranlage Boltenhagen ergibt sich hierbei aus der gesteigerten Elektrizitätsproduktion auf der zentralen Kläranlage Grevesmühlen infolge des zugeführten Überschussschlammes nach einer Umstellung der Kläranlage Boltenhagen auf Nährstoffelimination.

Insgesamt kann nach Umsetzung der Maßnahmen auf den Referenzanlagen der Elektrizitätsverbrauch um durchschnittlich 32 % gesenkt werden. Hiervon entfallen 13 % auf Sofortmaßnahmen, 15 % auf kurzfristige Maßnahmen und 4 % auf abhängige Maßnahmen. Im Mittel kann damit der spezifische Energieverbrauch um rd. 17 kWh/(E*a) gesenkt werden.

Bild 3.22: Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen nach Kategorien

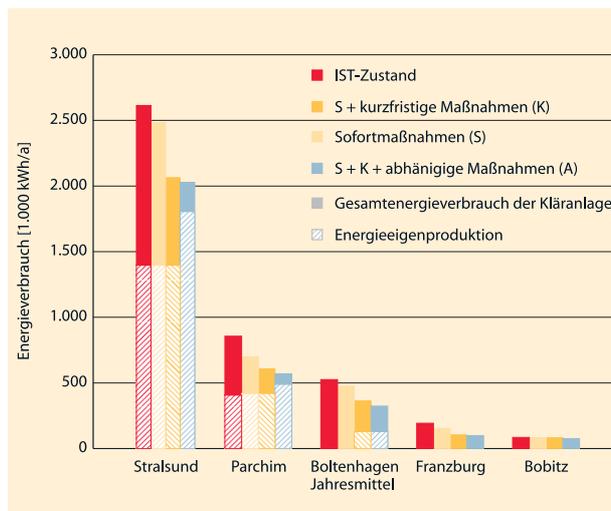
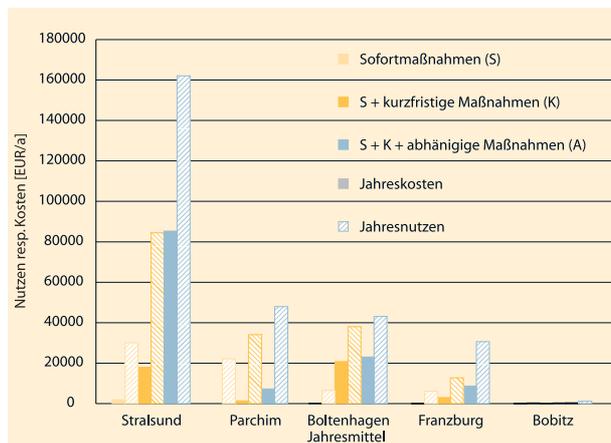


Bild 3.21: Energieverbrauch und Energieeigenproduktion auf den Referenzanlagen vor und nach Umsetzung der Maßnahmen

3.2.4 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen

Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen wird anhand einer Kostenvergleichsrechnung ermittelt, in der die Jahreskosten dem Jahresnutzen gegenübergestellt werden. Für die Kostenberechnung werden neben den energiebedingten Investitionen die notwendigen Gesamtinvestitionen einer Maßnahme berücksichtigt. Zusätzlich werden auf der Kostenseite evtl. durch die Investition bedingte Unterhaltungskosten einkalkuliert. Der Jahresnutzen setzt sich zusammen aus der Einsparung an Energiebezugskosten zuzüglich einer evtl. Verringerung von Betriebskosten.

Auf den beiden Kläranlagen mit anaerober Stabilisierung (Stralsund und Parchim) können die Energiebezugskosten um jeweils 82 % gesenkt werden, da zusätzlich zu den Energieeinsparmaßnahmen eine deutliche Steigerung der Energieeigenproduktion erzielt wird. Im Vergleich dazu ist die erreichbare Energiekosteneinsparung auf der Kläranlage Bobitz mit 15 % eher gering, da die Kläranlage sich schon



für den IST-Zustand als energetisch relativ günstig gezeigt hat. Die Energiebezugskosten wurden auf Basis eines von den jeweiligen Betreibern der Referenzkläranlagen genannten Strompreises berechnet, der die in Zukunft zu erwartende Preissteigerung berücksichtigt.

Die Jahreskosten der Gesamtinvestitionen werden auf Basis eines festgelegten Zinssatzes und der entsprechenden Nutzungsdauer als Annuitäten berechnet (vgl. LAWA, 2005). Im Rahmen dieses Projektes wurde einheitlich ein Zinssatz von 4 % angesetzt. Die Nutzungsdauer für aggregatetechnische Investitionen wurde mit 15 Jahren und für bautechnische Investitionen mit 50 Jahren angenommen. Die einzelnen Jahreskosten werden durch den jeweiligen Jahresnutzen der Maßnahmen dividiert, so dass sich ein Kosten-Nutzen-Verhältnis ergibt. Bei einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von $< 1,0$ kann die Maßnahme als wirtschaftlich eingestuft werden. Innerhalb der betrachteten Maßnahmenbereiche S, K und A wird bei allen betrachteten Kläranlagen eine Wirtschaftlichkeit erreicht.

3.3 Abschätzung des Einsparpotenzials

Aus den Erkenntnissen der durchgeführten Energieanalysen auf den Referenzanlagen wird das Optimierungspotenzial für die gesamte Abwasserreinigung in Mecklenburg-Vorpommern abgeschätzt.

Bei den untersuchten Referenzkläranlagen ergab sich im Mittel eine Reduzierung des Energieverbrauchs um 32 %.

Dieser Wert liegt in einem ähnlichen Bereich wie in der Studie zur ‚Steigerung der Energieeffizienz von Abwasserreinigungsanlagen‘ in Rheinland-Pfalz, bei der eine durchschnittliche Reduzierung des Energieverbrauchs von 30 % ermittelt wurde (MUFV RLP, 2007).

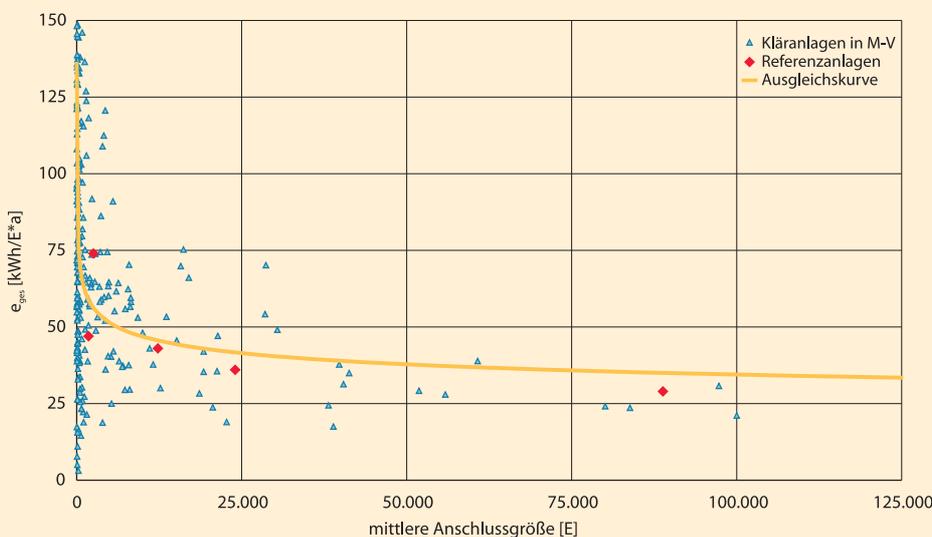
Von der ermittelten Einsparung entfallen 40 % auf Sofortmaßnahmen (z.B. Senkung des Schlammalters oder Drosselung von Pumpen und Gebläsen), 47 % auf kurzfristig realisierbare Maßnahmen (wie Optimierung und Austausch von Pumpen oder der Austausch von Rührwerken) und 13 % auf abhängige Maßnahmen (z.B. Austausch der Entwässerung oder Modernisierung der BHKW-Anlage).

In Bild 3.23 ist der spezifische Energieverbrauch der 272 Kläranlagen, von denen Daten vorliegen (s. Kap. 2.3) über der jeweiligen Anschlussgröße aufgetragen; über die einzelnen Punkte ist eine Ausgleichskurve gelegt. Der Vergleich mit den Referenzanlagen zeigt, dass diese nur gering von der Ausgleichskurve abweichen und somit gut für Betrachtungen hinsichtlich des Energieverbrauchs geeignet sind.

Der Energieverbrauch der 575 in Mecklenburg-Vorpommern betriebenen Kläranlagen wurde ausgehend von den vorliegenden Daten der 272 Kläranlagen hochgerechnet und beläuft sich auf rd. 108 GWh/a.

Bei einer Übertragung der Ergebnisse der Referenzanlagen auf die Gesamtsituation in Mecklenburg-Vorpommern errechnet sich eine potenzielle Energieeinsparung von rd. 34 GWh/a. Der Verbrauch könnte danach durch Sofortmaßnahmen

Bild 3.23: spezifischer Energieverbrauch der Abwasserreinigungsanlagen in M-V



men auf allen Kläranlagen um 13 % von rd. 108 GWh/a auf rd. 94 GWh/a reduziert werden.

Durch die zusätzliche Umsetzung der kurzfristigen Maßnahmen könnte der Gesamtenergieverbrauch um insgesamt 28 % auf rd. 78 GWh/a und nach Realisierung aller Maßnahmenkategorien um 32 % auf rd. 73 GWh/a gesenkt werden (s. Bild 3.24).

In Mecklenburg-Vorpommern wird der überwiegende Teil des Abwassers (ca. 54 %) auf Kläranlagen der GK 4 gereinigt. Diese Kläranlagen verursachen auch den größten Teil des Energieverbrauchs der Abwasserreinigung in Mecklenburg-Vorpommern und weisen das höchste Einsparpotenzial auf. Hier können schätzungsweise 18,6 GWh/a an Elektrizität eingespart werden.

Die Verteilung des Energieverbrauchs und die jeweiligen Einsparpotenziale sind in Bild 3.25 für die verschiedenen Größenklassen dargestellt. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass in Mecklenburg-Vorpommern die Kläranlagen der GK 1 bis 3 mit Ausbaugrößen bis 10.000 EW trotz ihrer großen Anzahl einen vergleichsweise geringen Anteil am gesamten Energieverbrauch der Abwasserreinigung haben. Dennoch besteht auch hier ein erhebliches Einsparpotenzial von insgesamt rd. 8,8 GWh/a. Dies lässt sich anschaulich am Beispiel der Referenzanlage Franzburg nachvollziehen, auf der der Energieverbrauch durch Optimierungsmaßnahmen um 49 % gesenkt werden kann.

Neben den möglichen Energieeinsparungen ist bei der Schlammbehandlung eine Steigerung der Energieproduktion möglich. So besitzen die Fäkalschlämme aus Kleinkläranlagen sowie das Abwasser aus abflusslosen Gruben ein beachtliches Energiepotenzial.

Würde die gesamte Anfallmenge von 4.200 t TR/a einer Faulung unterzogen, errechnete sich unter der Annahme eines Glühverlustes von 70 % ein Energiegehalt von bis zu 2,5 GWh_{el}/a. Hierbei wäre jedoch der Energieaufwand für den Transport gegen zu rechnen.

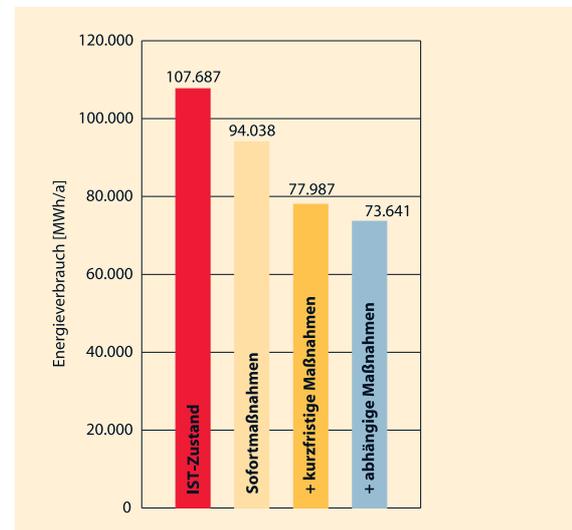
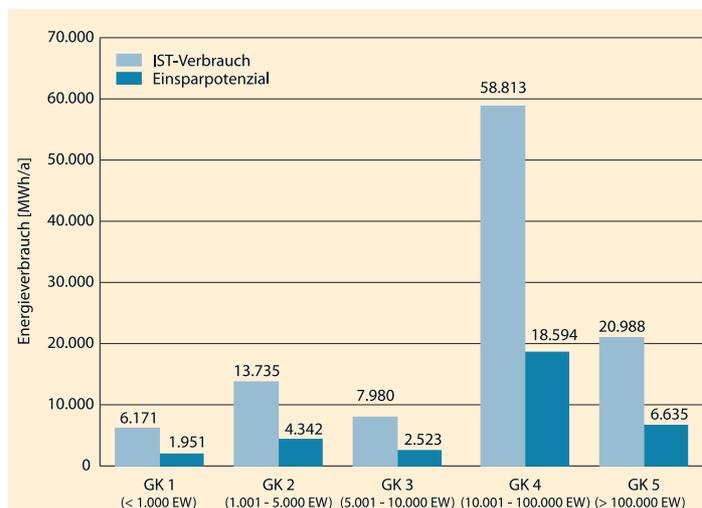


Bild 3.24: Energieverbrauch der Abwasserreinigung in M-V nach Realisierung aller Maßnahmen

Bild 3.25: Energieverbrauch und Energieeinsparpotenzial in den einzelnen Größenklassen



4. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

4.1 Vorgehensweise

Voraussetzung für eine erfolgreiche Energieoptimierung auf Kläranlagen ist eine sorgfältige, systematische Energieanalyse. Die Systematik der Energieanalysen wurde bereits Anfang der 90er Jahre in der Schweiz entwickelt (Müller et al., 1994). Der Aufwand für eine solche Energieanalyse schwankt je nach Größe der Kläranlage, der Qualität der verfügbaren Unterlagen sowie der verfahrenstechnischen Komplexität der Kläranlage stark. Das Handbuch ‚Energie in Kläranlagen‘ (MUNLV NRW, 1999) bietet mit dem darin aufgeführten Pflichtenheft eine solide, vielfach bewährte Methodik für die Durchführung.

In einer Energieanalyse wird der Energieverbrauch der einzelnen Aggregate der Kläranlage in einer 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 Blockheizkraftwerken (BHKW), wird der Energieverbrauch der Kläranlage weiter aufgeschlüsselt. Die zur Energieeinsparung abgeleiteten Maßnahmen werden auf ihre technische Realisierungs- und auf ihre wirtschaftliche Finanzierungsmöglichkeit geprüft und je nach ihrer zeitlichen Umsetzung in Sofortmaßnahmen (S), kurzfristige Maßnahmen (K) und abhängige Maßnahmen (A) unterschieden (s. Kap. 3.2.3).

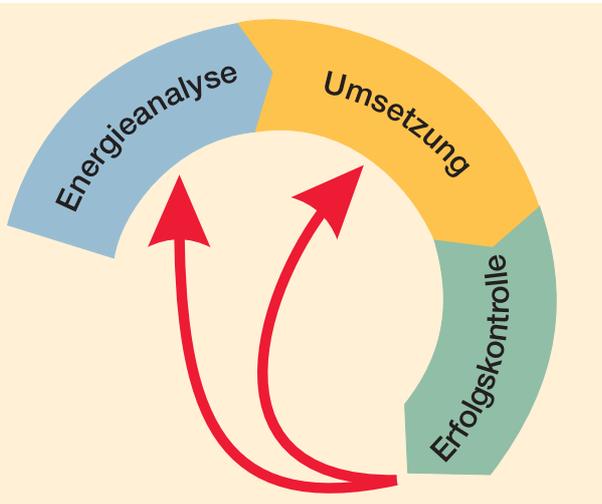
Das Ergebnis der Energieanalyse ist ein Handlungskonzept zur Optimierung des Energieeinsatzes für den Betreiber der Kläranlage. Im Nachgang der Energieanalyse setzt dieser die als technisch und wirtschaftlich sinnvoll erkannten Maßnahmen um. Für eine kontinuierliche Verbesserung des Energieverbrauchs sind die Verbrauchs- und die Belastungsdaten der Kläranlage nach der Umsetzung der Maßnahmen in regelmäßigen Abständen erneut zu ermitteln. Die als kostenträchtig eingestuften Maßnahmen der Maßnahmenklasse (A) sollten unter Berücksichtigung der Strompreisentwicklung ebenfalls in regelmäßigen Abständen oder bei anstehenden Erneuerungsmaßnahmen überprüft werden. Die Bearbeitung einer Energieanalyse liegt je nach Größe und Komplexität der Kläranlage bei ca. 20 bis 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
- Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen
- Vollständige Aggregatliste
- Betriebsstunden der einzelnen Aggregate
- Gasproduktion / Stromerzeugung / Wärmeerzeugung
- Zulaufbelastung
- Feststofffrachten und Glühverlust für Primär- und Überschussschlamm
- Betriebsdaten der biologischen Stufe

Um den Energieverbrauch der einzelnen Verbraucher zu ermitteln, sollte eine Leistungsmessung aller wesentlichen Stromverbraucher (größere und dauerbetriebene Aggregate) durchgeführt werden. Hierbei ergibt sich der Energieverbrauch für die mit konstanter Drehzahl betriebenen Aggregate aus der Wirkleistung und der Betriebsstundenzahl. Für Antriebe, die mit Frequenzumrichter (FU) geregelt werden, wird die Leistungscharakteristik über zusätzliche Messungen aufgenommen. Aus den gemessenen Leistungen werden spezifische Kennwerte abgeleitet, wie z.B. der Energiebedarf der Pumpen $[\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot m_{\text{FH}})]$ oder der Leistungs-

Bild 4.1: Bestandteile einer systematischen energetischen Optimierung



bedarf der Verdichter $[W/(m^3 \cdot h)]$. Anhand der Abweichung zwischen den spezifischen Kennwerten und Referenzwerten neuer, energieeffizienter Aggregate wird das mögliche Einsparpotenzial ermittelt und es kann der Verschleißzustand einzelner Aggregate eingegrenzt werden. Die Maßnahmen, mit deren Umsetzung der energetische Verbrauchszustand der Kläranlage verbessert werden kann, lassen sich nach dem Abwasser- und dem Schlammweg, nach den technischen Verfahrensgruppen oder nach der Betriebs- und der Maschinenteknik untergliedern. Insbesondere die betrieblichen Maßnahmen lassen sich vielfach zeitnah und kostengünstig umsetzen und stellen den überwiegenden Teil der Sofortmaßnahmen dar.

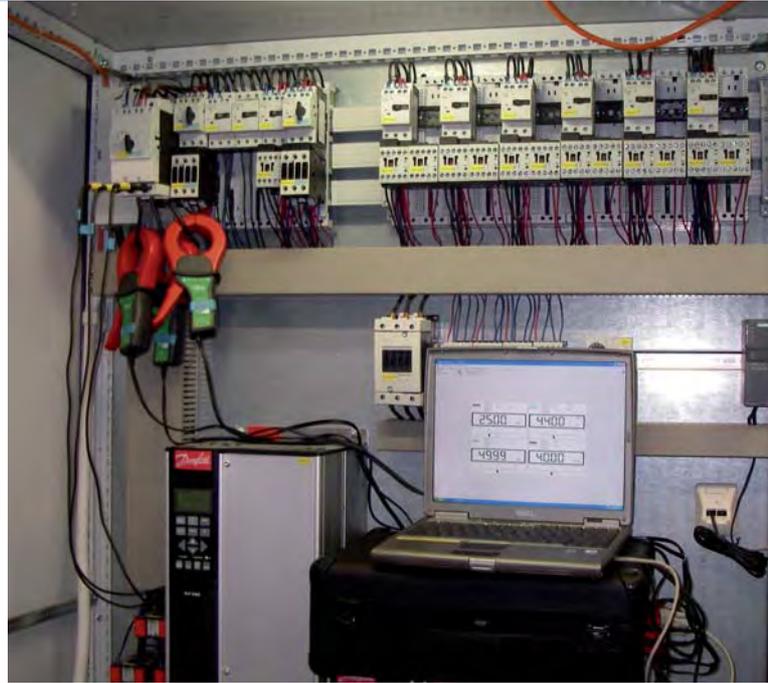
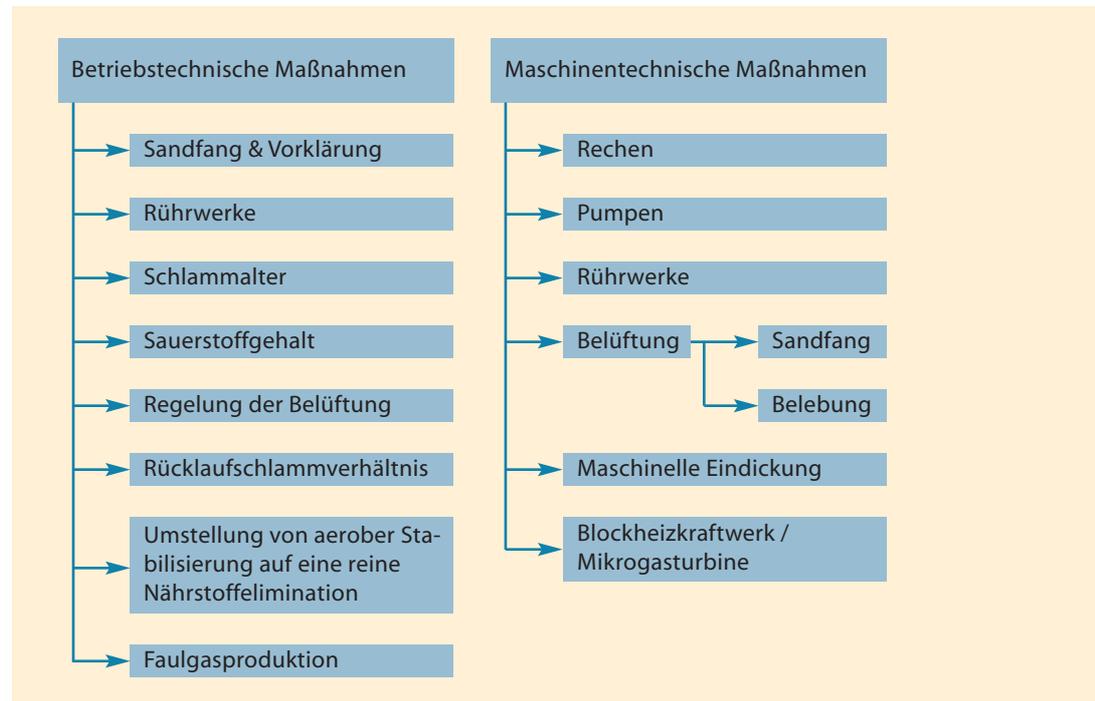


Bild 4.2: Durchführung einer Leistungsmessung

Bild 4.3: Maßnahmenliste zur energetischen Optimierung



4.2 Betriebstechnische Maßnahmen

Sandfang und Vorklärung

Der Wasserverbrauch ist seit 1990 von 180 l/(E*d) auf 102 l/(E*d) gesunken. Aus diesem Grund sind auf einigen Kläranlagen bezogen auf den heutigen Abwasseranfall Sandfang und Vorklärung überdimensioniert. Hier ist es empfehlenswert, aktuelle Zulaufmengen mit den Auslegungswassermengen zu vergleichen und bei einer deutlichen Differenz eine Nachbemessung des Sandfangs bzw. der Vorklärung durchzuführen. Bei mehrstraßigen Beckengruppen können eventuell einzelne Straßen außer Betrieb genommen werden und so der Energieverbrauch gesenkt werden. Insbesondere bei belüfteten Sandfängen kann so meist die erforderliche Luftmenge und damit der Energieverbrauch deutlich vermindert werden. Auch die zeitweise Außerbetriebnahme einzelner Straßen im Trockenwetterfall kann den Stromverbrauch senken.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Stralsund kann durch 1-straßigen Betrieb des 2-straßig aufgebauten belüfteten Sandfangs im Trockenwetterfall die erforderliche Luftmenge halbiert und somit eine jährliche Einsparung von rund 22.000 kWh/a erzielt werden.

Rührwerke

In belüfteten Beckenbereichen bzw. während der belüfteten Phase bei intermittierendem Betrieb reicht die durch die Belüftung erzeugte Turbulenz in der Regel zur Sicherstellung einer ausreichenden Umwälzung des belebten Schlammes aus. Ein gleichzeitiger Betrieb von Rührwerken ist hier meist nicht erforderlich und sollte unter energetischen Gesichtspunkten vermieden werden. Für die Durchmischung von Schlammstapel- und Faulbehältern ist ein Dauerbetrieb der Rührwerke in der Regel nicht erforderlich. Durch den intermittierenden Betrieb von Rührwerken kann hier der Energieverbrauch deutlich reduziert werden.

Bild 4.4: 2-straßiger belüfteter Sandfang der KA Stralsund



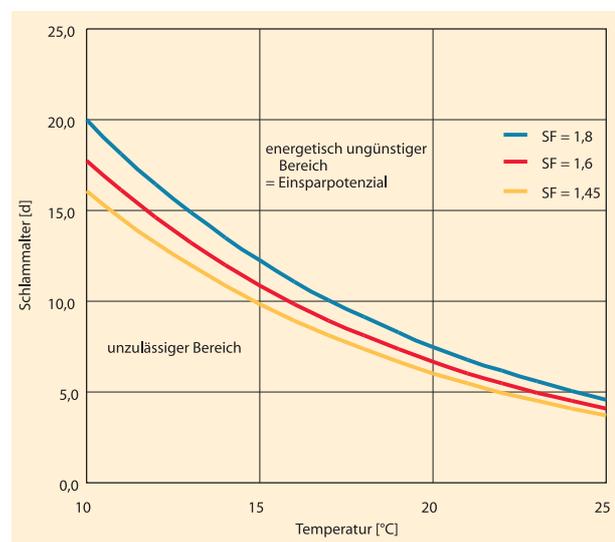
Schlammalter

Bei der Untersuchung der Referenzkläranlagen hat sich gezeigt, dass bei 3 der 5 Anlagen nicht das optimale Schlammalter eingestellt ist. Das erforderliche Schlammalter ist abhängig vom Reinigungsziel, der Temperatur und der Kläranlagengröße (s. Bild 4.5). Sowohl Kläranlagen mit simultan aerober als auch mit anaerober Schlammstabilisierung werden mit deutlich höheren Schlammaltern als erforderlich betrieben. Dies verursacht höhere Aufwendungen für die Belüftung des belebten Schlammes. Mit der Reduzierung des Schlammalters ist ein Anstieg der Überschussschlammmenge verbunden. Dieser Anstieg ist jedoch im Vergleich zur möglichen Energieeinsparung als relativ gering anzusehen. Bei Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung führt die Reduzierung des Schlammalters zu einem Schlamm mit höherem oTR-Gehalt und damit zu einem potenziell höheren Gasertrag.

Beispiel:

So kann beispielsweise bei der Kläranlage Stralsund mit anaerober Schlammstabilisierung durch die Reduzierung des vorhandenen Schlammalters von 20 d auf 12,5 d der erforderliche Sauerstoffeintrag in die biologische Stufe um ca. 5,5 % aufgrund der geringeren Stabilisierung des Belebtschlammes gesenkt werden. Auf der Kläranlage Parchim kann durch Absenken des Schlammalters von 25 d

Bild 4.5: Erforderliches Schlammalter im Belebungsbecken nach ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK, 2000) für eine vorgeschaltete Denitrifikation mit $VD/VBB = 0,5$ und unterschiedlichen Sicherheitsfaktoren



auf 17 d der Energieverbrauch der Belüftung um 4 % gesenkt reduziert werden.

Da das erforderliche aerobe Schlammalter in der biologischen Stufe maßgeblich von der Abwassertemperatur abhängt (s. Bild 4.5), kann durch eine Dynamisierung des Schlammalters im Jahresverlauf der Energieeinsatz für die Belüftung verringert und gleichzeitig die Energieausbeute aus dem erzeugten Überschussschlamm erhöht werden. Dies wird z.B. relativ einfach durch ein Absenken des Trockensubstanzgehalts während der Sommermonate erreicht. Durch eine Reduktion des Trockensubstanzgehalts um 1 g TS/l sinkt der Sauerstoffverbrauch um bis zu 10 %, wie es im Bild 4.6 dargestellt ist.

Sauerstoffgehalt

Zur sicheren Einhaltung der im Erlaubnisbescheid festgesetzten Überwachungswerte (ÜW) ist ein ausreichender Sauerstoffeintrag in das Belebungsbecken zu gewährleisten. Üblicherweise soll daher die Sauerstoffkonzentration im Nitrifikationsbecken zwischen 1,5 und 2,0 mg/l liegen, um eine ausreichende Belüftung in allen Beckenbereichen sicherzustellen. Mit höheren Sauerstoffkonzentrationen kann nur eine geringfügige Verbesserung der Umsatzrate der Nitrifikanten erreicht werden; dies führt aber zu einer deutlichen Erhöhung der erforderlichen Luftmenge. Ein Absenken der Sauerstoffkonzentration von 3,0 auf 2,0 mg/l führt zu einer Abnahme der Umsatzleistung der Nitrifikanten von 5 %, reduziert aber die Luftmenge um 17 % (s. Bild 4.7). Die Sauerstoffkonzentration sollte schrittweise unter Beobachtung der Ablaufwerte, der Schlammeigenschaften und der Beckendurchmischung abgesenkt werden. Sauerstoffgehalte kleiner 1,0 mg/l sind zu vermeiden, da hierdurch die Gefahr der Bildung von Bläh- und Schwimmschlamm ansteigt. 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.

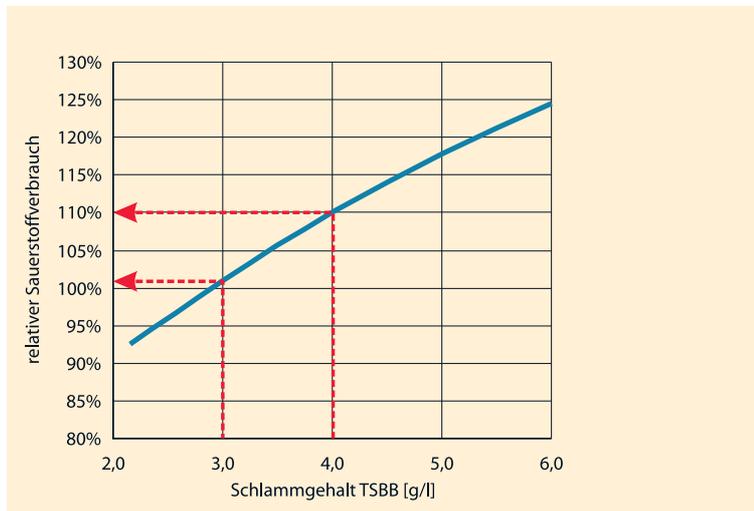


Bild 4.6: Einfluss des TS-Gehaltes auf den O₂-Bedarf bei Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation bei 15 °C und konstantem Beckenvolumen (DWA-BW, 2008)

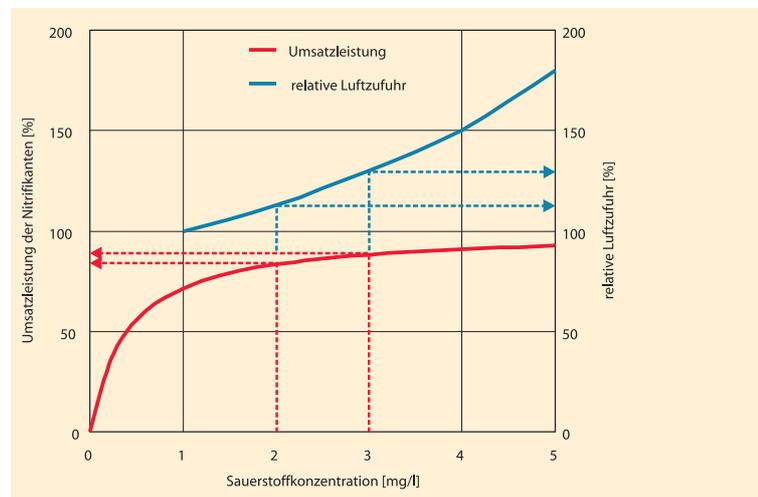


Bild 4.7: Einfluss des O₂-Gehalts im Belebungsbecken auf die Umsatzleistung der Nitrifikanten und auf die erforderliche Sauerstoffzufuhr bei 15 °C (ATV, 1999)

Regelung der Belüftung

Auf den meisten Kläranlagen wird die Belüftung über einen Sauerstoffsollwert geregelt. Die Sauerstoffsonde für die Regelung sollte an einer repräsentativen Stelle angeordnet werden, um eine Über- bzw. Unterversorgung mit Sauerstoff zu vermeiden. Hierzu ist es sinnvoll, Sauerstoffprofilmessungen durchzuführen. Bei größeren Anlagen ist eine Regelung des Sauerstoffeintrags in Abhängigkeit von der Ammoniumablaufkonzentration zu empfehlen, da diese energetisch am günstigsten ist und außerdem betriebliche Vorteile bietet. So werden bei einer Belüftungsregelung über die NH_4 -Konzentration im Belebungsbecken meist 5 bis 10 % der Belüftungsenergie im Vergleich zu einer Regelung über die Sauerstoffkonzentration eingespart (UBA, 2006). Aufgrund der geringen Investitions- und Betriebskosten für ionenselektive Ammonium-Messsonden ist die Energieeinsparung für die Belüftung durch eine optimierte Regelung bei gleich bleibenden Ablaufwerten auch für kleinere Kläranlagen zu empfehlen. Eine Unterversorgung der Biomasse mit Sauerstoff ist auszuschließen. Der Schlammindex ist regelmäßig zu prüfen.

Die Aufteilung des Sauerstoffeintrags bei größeren, mehrstufigen Belebungsanlagen erfolgt üblicherweise über eine Konstant-Druck-Regelung. Die Aufteilung der Luft auf die einzelnen Becken kann mit Blendenregulierschiebern erreicht werden. Der Einsatz von Plattenschiebern und Klappen, die keine definierte Regelcharakteristik aufweisen, ist nicht zu empfehlen. Ein weiteres Einsparpotenzial bietet die Gleitdruckregelung, bei der in Abhängigkeit vom Sauerstoffbedarf der minimal erforderliche Druck in der Luftzufuhrleitung eingestellt wird. Mit der Gleitdruckregelung können ca. 3 bis 5 % der Belüftungsenergie eingespart werden (Wagner, 2006).

Rücklaufschlammverhältnis

Häufig ist auf Kläranlagen eine konstante Rücklaufschlammmenge eingestellt, was bei unterschiedlichen Zuflüssen zu stark schwankenden und besonders bei Trockenwetter zu unnötig hohen Rücklaufschlammverhältnissen führt. Durch die Einstellung eines konstanten Rücklaufschlammverhältnisses im Bereich von 0,7 bis 1,0 werden 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, was sich wiederum positiv auf den Energieverbrauch einer möglichen maschinellen Überschussschlamm-eindickung auswirkt. Hier kann z.B. bei Erhöhung des TS-Gehaltes im Rücklaufschlamm von 6 auf 7 g/l die einzudickende Überschussschlammmenge um rund 14 % reduziert werden. Für die Einstellung eines konstanten Rücklaufschlammverhältnisses ist eine Regelung der Rücklaufschlammpumpe über einen Frequenzumrichter oder der Einsatz volumenproportionaler geregelter Überfallschieber erforderlich. Ebenfalls ist eine Regelung des Rücklaufschlammvolumenstroms nach dem TS-Gehalt im Rücklaufschlamm möglich. Die konstruktiven Gegebenheiten der Nachklärung sind zu berücksichtigen.

Beispiel:

Bei der Kläranlage Bobitz können durch Reduzierung der Rücklaufschlammförderung auf ein konstantes Verhältnis von 1,0 rund 60 % des Energieverbrauchs dieser Verfahrensstufe eingespart werden.

Umstellung von aerober Schlammstabilisierung auf eine reine Nährstoffelimination

Auf der überwiegenden Anzahl von Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern wird der Klärschlamm simultan aerob stabilisiert. Ein Teil dieser Schlämme wird anschließend auf größere Kläranlagen mit einer Faulung transportiert und dort anaerob „nachstabilisiert“. Diese „zweifache“ Stabilisierung ist nicht notwendig und aus energetischer Sicht nicht zu empfehlen. Zum einen ist der Energiebedarf einer aeroben Stabilisierung im Vergleich zu einer reinen Nährstoffelimination deutlich erhöht und zum anderen ist der Gasertrag eines bereits aerob stabilisierten Schlammes sehr gering. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, zu überprüfen, ob die Kläranlagen auf eine reine Nährstoffelimination umgestellt werden können. Die mit einer Absenkung des Schlammalters ansteigende Überschussschlammmenge ist mit einer Erhöhung der Transportkosten verbunden. Diese sind allerdings im Vergleich zu der deutlichen Reduzierung des Energieverbrauchs vormals stabilisierender Kläranlagen und der erhöhten Gasproduktion auf der zentralen

Kläranlage eher gering. Bei mehrstraßigen Belebungsanlagen kann durch die Umstellung auf Nährstoffelimination eventuell auf den Betrieb einzelner Straßen verzichtet werden. Dies ermöglicht eine zusätzliche Energieeinsparung durch die Außerbetriebnahme auch der Rührwerke in dieser Straße.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Franzburg kann durch Umstellung der Biologie von einer aeroben Schlammstabilisierung mit einem Schlammalter von 25 d auf eine reine Nährstoffelimination mit einem Schlammalter von 14 d der Energieverbrauch der Anlage um 17 % reduziert werden. Der anfallende Überschussschlamm wird weiterhin auf der Kläranlage Stralsund anaerob stabilisiert.

Klärgasproduktion

Die Güte der Energieausbeute bei der Schlammfäulung kann sehr gut anhand der spezifischen Klärgasproduktion in l/kg oTR_{zugeführt} beurteilt werden. Diese sollte möglichst über 400 l/kg oTR_{zugeführt} liegen und kann Werte von bis zu 475 l/kg oTR_{zugeführt} erreichen. Wesentliche Faktoren für einen hohen Gasertrag sind:

- lange Aufenthaltszeit in der Vorklärung,
- optimales Schlammalter im Belebungsbecken,
- hohe Faultemperatur,
- optimierte Voreindickung,
- lange Aufenthaltszeit im Faulturm,
- gleichmäßige Beschickung des Faulbehälters,
- Zugabe von Enzympräparaten in den Faulbehälter,
- Schlamm-desintegration,
- Mitvergärung organischer Reststoffe.

Die Aufenthaltszeit in der Vorklärung ist abhängig von dem erforderlichen Reinigungsziel. Bei Anlagen mit Denitrifikation wird die Aufenthaltszeit in der Vorklärung durch den Kohlenstoffbedarf der Denitrifikation begrenzt.

Mit steigendem Schlammalter erhöht sich der Anteil der aerob abgebauten Biomasse. Durch Herabsetzung des Schlammalters auf das optimale Schlammalter kann die Menge an organischer Trockensubstanz, die dem Faulturm zugeführt wird, gesteigert werden.

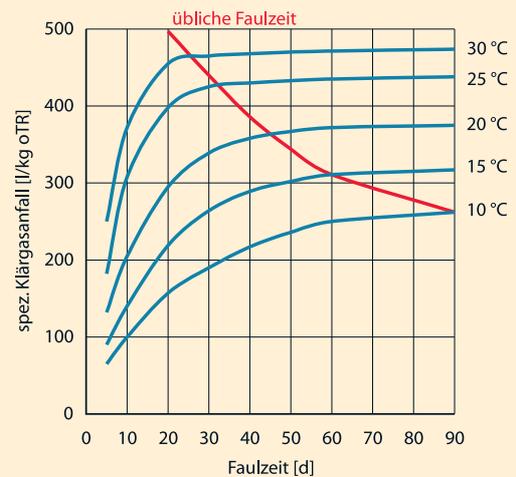


Bild 4.8: Spez. Klärgasanfall in Abhängigkeit von Temperatur und Faulzeit (ATV, 1996)

Bei einer Temperatur von 35 °C und einer Aufenthaltszeit von 15 d im Faulbehälter liegt die Abbauraten an organischer Trockensubstanz bei 50 bis 55 %. Die Anhebung auf 30 d erhöht die Abbauraten auf 55 bis 60 % (MUNLV NRW, 1999). Eine längere hydraulische Aufenthaltszeit wird insbesondere durch eine effektive Voreindickung erreicht.

Durch eine Desintegration des Rohschlammes ist ein schnellerer und weitgehenderer Aufschluss der Schlammfeststoffe möglich, wodurch der Klärgasanfall um bis zu 50 % erhöht werden kann (DWA-BW, 2008). Zum Einsatz kommen mechanische, thermische und chemisch/thermische Verfahren, wie z.B. Kugelmühlen, Ultraschall, Homogenisatoren und Ozonierung. Die Desintegration ist mit einem zusätzlichen Energieaufwand verbunden, der je nach Verfahren variiert (vgl. Tabelle 4.1). Die Desintegration erfordert daher eine detaillierte Energiebilanz, um Vorteile in der Produktion an Primärenergie bestätigen zu können.

Tabelle 4.1: Energiebedarf verschiedener Verfahren der Desintegration (Müller et al., 2009)

Verfahren	Energiebedarf [kWh _{el} /m ³]
mechanische Desintegration	0,5 bis 20
thermische Desintegration	
- bei 140 bis 160 °C	ca. 1,8
- vorhergehende Entwässerung	zus. ca. 1,7
chemisch/thermische Desintegration bei 60 bis 80 °C	ca. 1,2

Anlagengröße [E]	< 50.000	50.000 - 100.000	> 100.000
Faulzeit (t _F) [d]	20 - 30	15 - 20	15 - 18
organische Raumbelastung (BR) [kg oTR/(m ³ d)]	1,5	3	4,5
organische Säuren Hac _{aq} [mg/l]	< 300 im täglichen Betrieb		

Tabelle 4.2: Kennwerte einer anaeroben Stabilisierungsanlage für Klärschlamm (MUNLV NRW, 2001)

Für die Mitvergärung organischer Reststoffe (Co-Fermentation) können biogene Stoffe eingesetzt werden, die sowohl anaerob abbaubar, zerkleinerbar als auch in den Klärschlamm einmischbar sind. Dabei darf die Ausfäulung des anfallenden Klärschlammes nicht negativ beeinflusst werden. An das Faulverhalten des eingebrachten Co-Substrats sind daher folgende Anforderungen zu stellen (MUNLV NRW, 2001):

- ausreichende Stabilisierung des Gemischs aus Klärschlamm und Co-Substrat
- ein organischer Anteil (oTR) im Co-Substrat größer 50 % des TR
- eine Abbaubarkeit des organischen Anteils innerhalb der Faulzeit von mindestens 50 %
- eine spezifische Gasausbeute des Co-Substrats von mindestens 250 l/kg oTR_{zu}

Die Menge der einzubringenden Co-Substrate kann aus Tabelle 4.2 abgeleitet werden.

4.3 Maschinentechnische Maßnahmen

Rechen

Auf Grund der hohen Geruchsemissionen des Rechengebäudes wird die Abluft in der Regel einer Behandlung zugeführt. Diese im Dauerbetrieb laufende Abluftbehandlung kann einen erheblichen Energieverbrauch verursachen. Um nicht die gesamte Abluft des Gebäudes zu behandeln, sollten die einzelnen Geruch emittierenden Aggregate separat erfasst werden. Dies kann beim Rechengebäude durch Kapselführung des Rechens und einem Luftabzug unmittelbar am Rechen realisiert werden. Auf diese Weise wird die zu behandelnde Abluftmenge und somit der Stromverbrauch erheblich reduziert, außerdem reduziert sich der Wärmebedarf im Winter.

Pumpen

Der Energiebedarf von Pumpen hängt maßgeblich von der Fördermenge und der Förderhöhe ab. Um 1 m³ Abwasser pro Stunde um 1 m Förderhöhe (FH) anzuheben, errechnet sich ein physikalischer Energiebedarf von 2,7 Wh. Unter Berücksichtigung der Pumpen- und Motorwirkungsgrade ergibt sich ein Energieverbrauch von 4 bis 11 Wh/(m³ * m_{FH}). Der Pumpenwirkungsgrad hängt vom Pumpen- und Laufradtyp ab. Eine Kreiselpumpe mit Kanalrad besitzt beispielsweise gegenüber einer Pumpe mit Freistromrad einen wesentlich höheren Wirkungsgrad, hat dafür aber höhere Verstopfungsanfälligkeit. Haben sich die betrieblichen Randbedingungen verändert, z.B. durch den zwischenzeitlichen Einbau eines Feinrechens in der mechanischen Reinigungsstufe, kann häufig eine vorhandene Pumpe mit Freistromrad gegen eine energetisch günstigere Pumpe mit Einkanalrad ausgetauscht werden. Auch die Auslegung der Pumpen hat einen erheblichen Einfluss auf den Pumpenwirkungsgrad.

Für die energetische Beurteilung von Pumpen ist es sinnvoll, den Wirkungsgrad der Pumpe zu bestimmen. Dieser kann anhand der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\eta_{\text{ges}} = Q * H / (P * 3,67)$$

mit	η_{ges}	= Gesamtwirkungsgrad [%]
	Q	= Fördermenge [m ³ /h]
	H	= Förderhöhe [m]
	P	= Pumpenleistung [kW]

Die berechneten Wirkungsgrade können anschließend mit üblichen Wirkungsgraden von Pumpen desselben Typs verglichen werden, wie sie in Tabelle 4.3 aufgelistet sind. Bei deutlich niedrigeren Wirkungsgraden sollten die Auslegung sowie der Verschleißzustand der Pumpe überprüft werden.

Pumpentyp	Fördermedium	Laufgrad	Wirkungsgrad	spez. Stromverbrauch
			η_{ges} [%]	[Wh/(m ³ * m _{FH})]
Schneckenpumpen	Rohabwasser		50 - 60	5,4 - 4,5
	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf, Ablauf (Filterbeschickung)		60 - 70	4,7 - 3,9
Kreiselpumpe	Rohabwasser	Freistromrad	45 - 55	6,0 - 4,9
		Einkanalrad	50 - 60	5,4 - 4,7
	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf, Ablauf (Filterbeschickung)	Mehrkanalrad	65 - 75	4,2 - 3,6
		Spiralrad	65 - 75	4,2 - 3,6
Propellerpumpe	Interner Kreislauf		65 - 80	4,2 - 3,4
Exzentrerschneckenpumpe	Schlämme		50 - 65	5,4 - 4,2

Tabelle 4.3: Übersicht über Wirkungsgrade verschiedener Pumpentypen (DWA-BW, 2008)

Beispiel:

Die Rohwasserpumpen des Zulaufhebewerks auf der Kläranlage Stralsund sind im Verhältnis zu den heutigen Fördermengen sehr groß, da auf Grund von außerhalb liegenden Pumpwerken nur noch 14 % des Abwassers auf der Kläranlage gehoben werden muss. Die Pumpen arbeiten daher in einem ungünstigen Lastbereich mit einem mittleren Wirkungsgrad von nur 13 bis 14 %. Durch Austausch der Rohwasserpumpen kann eine Energieeinsparung von rund 117.000 kWh/a realisiert werden.

Für den Betrieb von Pumpen bei verschiedenen Fördermengen (z.B. RS-Pumpwerk) und bei überdimensionierten Pumpen ist der Einsatz eines Frequenzumrichters (FU) sinnvoll. Der Wirkungsgrad eines FU liegt zwischen 70 und 95 %. Trotz der (geringen) Verluste durch den FU wird die erforderliche elektrische Leistung im Teillastbetrieb reduziert (s. Bild 4.9). Bei Einsatz eines Frequenzumrichters ist auf die Verzopfungsgefahr zu achten, da z.B. Mehrkanalradpumpen bei stark verringerten Drehzahlen eher zu Verzopfungen neigen.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Parchim kann durch Drosselung der Rezirkulationspumpe mittels FU eine Energieeinsparung von 67.000 kWh/a erreicht werden.

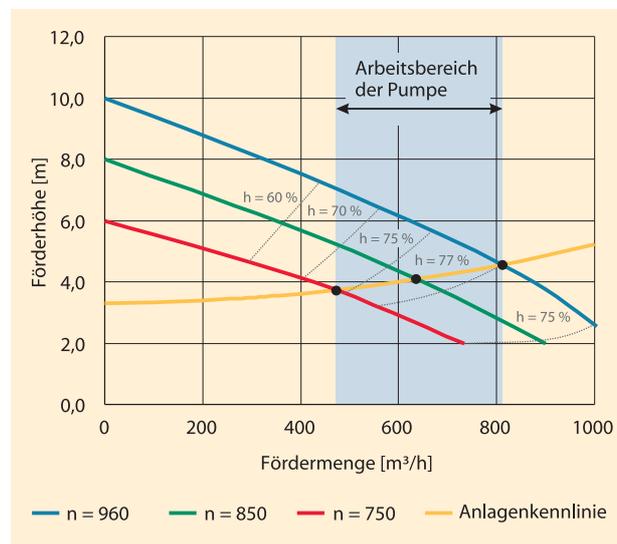


Bild 4.9: Arbeitsbereich und Wirkungsgrad einer Pumpe bei Einsatz eines Frequenzumrichters (FU) (DWA-BW, 2008)

Rührwerke

Für die Umwälzung unbelüfteter Beckenbereiche wird häufig eine erforderliche Energiedichte von 1,5 bis 2 W/m³ angegeben (MUNLV, 1999). Die erforderliche Energiedichte hängt jedoch in entscheidender Weise von der Beckengeometrie und vor allem von der Art des Rührwerks ab. Auf Grund der verschiedenen sich in Form, Durchmesser und Drehzahl unterscheidenden Rührwerke gibt die Energiedichte keinen direkten Aufschluss über die zu erwartende Strömungsbildung. Zum Beispiel benötigt ein langsam laufendes Rührwerk mit großem Propellerdurchmesser eine wesentlich geringere elektrische Leistung als ein schnell laufendes Kompaktrührwerk, um die gleiche Umwälzung zu gewährleisten. Daher eignet sich die Betrachtung der Energiedichte nur für eine erste grobe Abschätzung des Optimierungspotenzials. Für eine genauere Betrachtung ist es empfehlenswert, den für eine ausreichende Umwälzung erforderlichen Propellerschub in Newton zu berechnen. Dieser berücksichtigt sowohl die benötigte Sohlgeschwindigkeit als auch die sich aus Geometrie und vorhandenen Einbauten ergebenden Verluste und ist gleichzeitig unabhängig vom Rührwerkstyp.

Aus energetischer Sicht ist es sinnvoll, zur Erzeugung des erforderlichen Propellerschubs ein Rührwerk mit einem möglichst großen Propellerdurchmesser zu wählen, wobei die Durchmessergröße durch die Wassertiefe und das verfügbare Platzangebot im Becken begrenzt ist. Bei einem im Dauerbetrieb laufenden Rührwerk betragen die Energiekosten häufig ein Vielfaches der Investitionskosten für die Anschaffung, so dass die Energiekosten maßgebend für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Rührwerks sind. Der Austausch eines Kompaktrührwerks gegen ein langsam laufendes Rührwerk amortisiert sich in den meisten Fällen binnen weniger Jahre. Besonders Anlagen in den Größenklassen 1 bis 3 sind häufig mit Kompaktrührwerken ausgestattet. Hier bietet sich die Überprüfung eines Rührwerksaustauschs unter betrieblichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten an. Durch eine geschickte Strömungsführung mit einer Ausnutzung des Energieeintrags von Zulauf, Rücklaufschlamm und interner Rezirkulation kann der Energiebedarf der Rührwerke zudem bereits bei der Planung der Anlage optimiert werden.



Bild 4.10: Langsam laufendes Rührwerk

Beispiel:

Auf der Kläranlage Franzburg werden für die Umwälzung der Becken der Biologie schnell laufende Kompaktrührwerke eingesetzt, die 46 % des Gesamtenergieverbrauchs der Kläranlage verursachen. Durch Austausch der Rührwerke gegen langsam laufende Rührwerke, die für den erforderlichen Propellerschub ausgelegt sind, kann der Energieverbrauch der Umwälzung um rund 85 % gesenkt werden.

Belüftung (Sandfang)

Bei größeren Kläranlagen werden häufig belüftete Sandfänge zur Abscheidung mineralischer Abwasserinhaltsstoffe eingesetzt. Durch den Lufteintrag entsteht eine vom Zufluss nahezu unabhängige Strömungsgeschwindigkeit, die den Abscheidegrad begünstigt. Der spezifische Lufteintrag sollte zwischen 0,5 und 1,0 m³/(m³*h) betragen. Auf Kläranlagen mit Sandwäschern, die die weitgehende Trennung von Organik und Sand gewährleisten, ist ein spezifischer Lufteintrag von 0,5 m³/(m³*h) ausreichend (Stein, 1992). Viele bestehende Sandfanggebläse wurden für einen wesentlich höheren spezifischen Lufteintrag dimensioniert, so dass sich stark überhöhte Energieverbrauchswerte ergeben. Die intensive Belüftung von Sandfängen hat dabei oft negativen Einfluss auf nachgeschaltete Verfahrensstufen.

Aus diesen Gründen sollte eine intensive Belüftung des Sandfangs vermieden werden. Der spezifische Lufteintrag der vorhandenen Sandfanggebläse kann unter Annahme eines mittleren Wirkungsgrades von 0,6 bis 0,7 anhand der nachstehenden Gleichung abgeschätzt werden:

$$Q_L = P * 3,67 * \eta_{\text{Gebel}} / (h_E * V)$$

mit Q_L = Luftmenge [m³/h]
 P = Gebläseleistung [kW]
 η_{Gebel} = Gesamtwirkungsgrad [%]
 h_E = Einblastiefe [m]
 V = Sandfangvolumen [m³]

Sollte sich ein wesentlich höherer spezifischer Lufteintrag ergeben, kann es sinnvoll sein, das Sandfanggebläse mit einem FU auf den erforderlichen Lufteintrag zu drosseln oder ältere Gebläse gegen kleinere Gebläse auszutauschen. Eventuell kann es möglich sein, auf das separate Sandfanggebläse zu verzichten und die notwendige Luft über das Gebläse der biologischen Stufe zur Verfügung zu stellen, wozu allerdings die Installation einer Stichleitung mit Drosselorgan notwendig ist.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Stralsund kann durch den Einsatz eines FU das Sandfanggebläse auf den erforderlichen Lufteintrag gedrosselt und somit rund 90.000 kWh/a eingespart werden.

Belüftung (Belebung)

Zur Versorgung der Belebungsbecken mit Druckluft werden überwiegend Drehkolbengebläse und Turboverdichter eingesetzt. Der spezifische Energiebedarf für den Lufteintrag liegt bei optimalen Bedingungen bei einer Einblastiefe von 5 m für Turboverdichter bei 15 W/(Nm³*h) und für Drehkolbengebläse bei 20 W/(Nm³*h). Bei kleineren Verdichtern sinkt der Wirkungsgrad und der spezifische Energieverbrauch steigt an. Anhand von Luftvolumenstrommessungen kann der Wirkungsgrad der Gebläse/Verdichter überprüft werden. Wenn keine Messungen vorliegen, kann

der Wirkungsgrad der Gebläse/Verdichter über den erforderlichen Sauerstoffeintrag nach ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK-A 2000) für die mittlere Zulaufbelastung und den gemessenen Energieverbrauch ermittelt werden. Der Gesamtwirkungsgrad sollte für Drehkolbengebläse zwischen 55 und 65 % und für Turboverdichter im Bereich von 70 bis 80 % liegen. Bei geringeren Wirkungsgraden sollten die Aggregate auf mögliche Schäden untersucht und ggf. ausgetauscht werden. Der Gesamtwirkungsgrad der Gebläse/Verdichter inklusive Kupplung ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$\eta_{\text{Gebel}} = Q_L * \Delta_p / (P * 3,67)$$

mit η_{Gebel} = Gesamtwirkungsgrad [%]
 Q_L = Luftmenge [m³/h]
 Δ_p = Gebläsedruck [mWS]
 P = Gebläseleistung [kW]

Die Auslegung der Gebläse/Verdichter erfolgt für die 85 %-Perzentil-Belastung bzw. die maßgeblichen maximalen Zulauffrachten zur biologischen Stufe (Auswertung der zugehörigen 2-Wochen-Mittel für CSB und Stickstoff nach ATV-DVWK-A 198 (ATV-DVWK, 2003)). Weiterhin werden häufig Zuschläge für den Ausbauzustand berücksichtigt. Der Betrieb der Verdichter erfolgt daher überwiegend im Teillastbereich. Der erforderliche Leistungsbereich sollte wenn möglich über eine Staffelung von mehreren Gebläsen/Verdichtern abgedeckt werden, so dass auch im Teillastbereich mit einem guten Wirkungsgrad gearbeitet werden kann. Bei zu groß ausgelegten Verdichter-/Gebläsegruppen ist es häufig wirtschaftlich, ein Aggregat gegen ein kleineres auszutauschen, welches dann im Grundlastbetrieb dauerhaft eingesetzt wird.

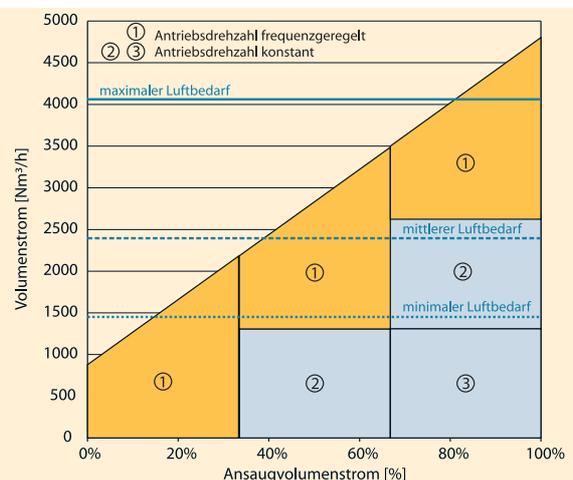


Bild 4.11: Staffelung von Gebläsen

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 Sauerstoffeintragversuch erfolgen und die Entwicklung des Systemdrucks aufgezeichnet werden. Für die Überwachung der Druckentwicklung sollte die Hauptlieferleitung an geeigneter Stelle mit einer Druck- und Volumenstrommessung ausgerüstet werden.

Maschinelle Voreindickung

Für die maschinelle Überschussschlammeindickung kommen meist Zentrifugen, Bändeindicker oder Siebtrommeln zur Anwendung. Zentrifugen benötigen im Vergleich zu den anderen Aggregaten das Zwei- bis Dreifache an Strom (DWA-BW, 2008). Ein Austausch der Zentrifugen kann daher erhebliche Energieeinsparungen bedeuten.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Stralsund kann der Energieverbrauch der maschinellen Eindickung durch Austausch der Zentrifugen gegen Bändeindicker um rund 200.000 kWh/a gesenkt werden.

In Mecklenburg-Vorpommern existieren viele kleine Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung, deren anfallender Klärschlamm teilweise ohne vorhergehende Eindickung auf eine größere Kläranlage zur anaeroben „Nachstabilisierung“ oder zur Entwässerung transportiert wird. Hier könnte sich der Einsatz von stationären oder mobilen Eindickungsaggregaten anbieten, um die Transportkosten und den damit verbundenen Primärenergieverbrauch zu senken. Bei dieser Maßnahme sind jedoch zusätzliche Kosten, z.B. für den Polymer- und Personaleinsatz zu beachten.



Bild 4.12: Maschinelle Eindickung auf der KA Bobitz

Beispiel:

Auf der Kläranlage Franzburg kann durch die Installation eines Scheibeneindickers die zu transportierende Klärschlammmenge um 60 % reduziert werden, womit eine Kostenreduzierung von ca. 17.000 Euro/a erzielt werden kann.

Blockheizkraftwerk – Mikrogasturbine

Auf Kläranlagen mit anaerober Faulung sollte aus wirtschaftlichen Gründen das Klärgas mittels BHKW- oder Mikrogasturbinen-Anlage genutzt werden.

Hierfür sind die folgenden technischen Einrichtungen in das elektrische und wärmetechnische Gesamtkonzept der Kläranlage zu integrieren:

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

Die Entscheidung für ein BHKW oder eine MGT ist abhängig von der Klärgasmenge und der Schwankungsbreite der Klärgasproduktion. Hierbei ist zu beachten, dass auch bei der vorrangigen Verstromung des Klärgases weiterhin die erforderliche Wärmemenge für die Faulschlammaufheizung zur Verfügung stehen muss.

Der Gesamtwirkungsgrad eines BHKWs liegt heute üblicherweise bei 85 %, der elektrische Wirkungsgrad liegt zwischen 30 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 %. Darüber hinaus fallen bei der MGT die Betriebs- und Wartungskosten aufgrund des verschleißarmen Antriebs geringer aus als bei einem BHKW. Durch die Kopplung mehrerer Einheiten bei geringen und stark schwankenden Klärgasmengen kann der Einsatz einer MGT daher wirtschaftliche Vorteile bieten. Da die Wirkungsgrade moderner BHKW über denen älterer Modelle liegen, ist es vor allem bei bereits abgeschriebenen Anlagen wirtschaftlich, die BHKW-Anlage zu erneuern. Hierbei ist es möglich, neben einer Steigerung der Energieeigenproduktion zusätzlich eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (Stand 10/2008) zu erzielen.

Beispiel:

Auf der Kläranlage Stralsund kann durch die Modernisierung der BHKW-Anlage die Elektrizitätsproduktion um 29 % bzw. ca. 400.000 kWh/a gesteigert werden.



Bild 4.13: BHKW-Anlage der KA Stralsund



Bild 4.14: BHKW-Gebäude der KA Stralsund

5. Energierrelevante zukünftige Entwicklungen

5.1 Energiebilanz der Schlammstabilisierung

In Mecklenburg-Vorpommern werden 51 Kläranlagen der Größenklassen (GK) 4 und 5 und 524 Kläranlagen der GK 1 bis 3 betrieben (vgl. Kapitel 2). Die Kläranlagen der GK 1 bis 3 und größtenteils auch die der GK 4 besitzen eine simultane aerobe Schlammstabilisierung. Ein Teil der aerob stabilisierten Klärschlämme wird zu einer der größeren Kläranlagen transportiert und dort entweder nur entwässert oder, wenn eine Schlammfäulung vorhanden ist, anaerob stabilisiert und energetisch verwertet. Bei der Stabilisierung der Klärschlämme sowie der Eigenstromerzeugung aus Klärgas besteht ein hohes energetisches Optimierungspotenzial.

- Die simultane aerobe Schlammstabilisierung ist durch den erhöhten Sauerstoffbedarf der biologischen Stufe und das Fehlen einer Klärgasnutzung energetisch ungünstiger als eine Schlammfäulung.
- Eine flächendeckende Umstellung der aeroben Stabilisierungsanlagen auf eine Schlammfäulung birgt ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz. Dem stehen allerdings die Investitionen der Umrüstung gegenüber.
- In der GK 4 wird der Schlamm auf 38 von 47 Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 1,2 Mio. EW nur aerob stabilisiert. Auf 20 dieser Anlagen mit mehr als 30.000 EW könnte eine Schlammfäulung wirtschaftlich nachgerüstet werden.
- Die 13 vorhandenen Faulungsanlagen in den GK 4 und 5 verfügen zum Teil über freie Faulraumkapazitäten, die für eine zusätzliche Annahme externer Schlämme von aerob stabilisierenden zentralen Kläranlagen und solchen aus Kleinkläranlagen genutzt werden könnten.

Simultane aerobe Stabilisierung

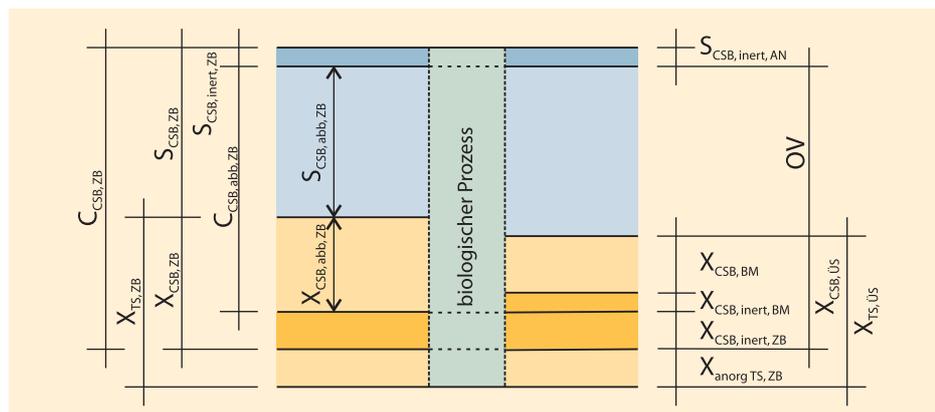
Bei der simultanen aeroben Stabilisierung wird die gesamte CSB-Fracht des Zulaufs ohne Vorklärung der biologischen Stufe zugeführt und dort veratmet sowie in Biomasse überführt. Die biologische Stufe wird auf ein Schlammalter größer 25 d bemessen, um einen weitgehenden Abbau der organischen Schlammsubstanz zu erreichen. Schmutzfrachtabbau und Schlammstabilisierung finden demnach in einem Becken statt. Der Überschussschlamm wird auf Kläranlagen der GK 1 und 2 statisch, auf den größeren Kläranlagen eher maschinell auf ca. 5 bis 6 % TR eingedickt und gespeichert.

Anaerobe Schlammstabilisierung

Kläranlagen mit einer Schlammfäulung verfügen üblicherweise über eine Vorklärung, in der ein Teil der CSB-Fracht des Zulaufs aus dem Rohabwasser entfernt wird. Bei separater anaerober Schlammstabilisierung reicht für die reine Nährstoffelimination in der biologischen Stufe ein Schlammalter von etwa 10 bis 16 d aus. Wegen des verringerten Feststoffeintrags in die Biologie ist ein deutlich kleineres Belebungsbeckenvolumen für die erforderliche Reinigungsleistung ausreichend.

Die Anlagen mit einer Schlammfäulung verfügen auf Grund der größeren Schlammmengen über eine maschinelle Schlammmentwässerung. Das im Faulbehälter erzeugte Klärgas kann für eine Strom- und Wärmeproduktion auf der Kläranlage genutzt werden.

Bild 5.1: Veränderung des CSB und der abfiltrierbaren Stoffe bei der biologischen Behandlung (Prinzipschema) (ATV-DVWK, 2000)



Schlamm Bilanz nach ATV-DVWK-A 131

Energie- und Stoffbilanzen sind ein geeignetes Werkzeug, um die betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte der beiden Verfahrensvarianten zu beurteilen. Bei der Massenbilanz werden die Feststoffe, die gelösten und die gasförmigen Stoffe erfasst, die in ein definiertes System eingetragen, akkumuliert, umgewandelt und ausgetragen werden. Zur Bilanzierung bietet sich der Parameter CSB an, da das bei der Faulung gebildete Klärgas einbezogen werden kann. Die CSB-Bilanzen für die zwei Verfahrensvarianten der simultanen aeroben Schlammstabilisierung und der Schlammfäulung werden nach dem Anhang des ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK, 2000) erstellt.

Der abbaubare CSB im Zulauf der biologischen Stufe ($C_{CSB,abb,ZB}$) ergibt sich nach Gleichung (1) aus dem CSB im Zulauf ($C_{CSB,ZB}$) abzüglich des nicht abbaubaren partikulären CSB ($X_{CSB,inert,ZB}$) und des nicht abbaubaren gelösten CSB ($S_{CSB,inert,AN}$). Der inerte Teil des partikulären CSB wird als Anteil des gesamten partikulären CSB über den Faktor A berechnet. Der partikuläre Anteil des CSB ($X_{CSB,ZB}$) wird hierfür nach Gleichung (2) aus den abfiltrierbaren Stoffen im Zulauf ($X_{TS,ZB}$) abgeleitet. Es wird ein Glühverlust der abfiltrierbaren Stoffe von 70 bis 80 % und ein CSB-Gehalt der organischen Trockensubstanz im Zulauf von 1,45 g CSB/g oTS angesetzt. Der inerte gelöste CSB liegt zwischen 0,05 und $0,1 \cdot C_{CSB,ZB}$ (ATV-DVWK, 2000).

$$C_{CSB,abb,ZB} = C_{CSB,ZB} - A \cdot X_{CSB,ZB} - 0,05 \cdot C_{CSB,ZB} \quad (1)$$

$$X_{CSB,ZB} = X_{TS,ZB} \cdot 1,45 \cdot (1 - B) \quad (2)$$

mit $A = 0,25$ für kommunales Abwasser
 $B = 0,30$ für Rohabwasser bzw. $0,2$ für vorgeklärtes Abwasser

Als Ergebnis der biologischen Behandlung ergibt sich der CSB im Ablauf der Nachklärung ($S_{CSB,inert,AN}$) und der als CSB gemessene Überschussschlamm ($X_{CSB,ÜS}$). Der partiku-

läre CSB-Austrag aus der Nachklärung wird bei dieser Betrachtung als Teil des produzierten Überschussschlammes angenommen. Die Differenz zum CSB des Zulaufs stellt damit den für die Atmungsvorgänge verbrauchten Sauerstoff (OV) dar. Der produzierte Schlamm setzt sich aus dem inerten partikulären CSB im Zulauf ($X_{CSB,inert,ZB}$), der nach Gleichung (3) gebildeten Biomasse ($X_{CSB,BM}$) und den vom endogenen Zerfall der Biomasse verbleibenden inerten Feststoffen ($X_{CSB,BM,inert}$) nach Gleichung (4) zusammen. Die endogenen inerten Reststoffe werden mit 20 % der zerfallenen Biomasse angesetzt.

$$X_{CSB,BM} = C_{CSB,abb,ZB} \cdot Y \cdot (1 + b \cdot t_{TS} \cdot F_T)^{-1} \quad (3)$$

$$X_{CSB,inert,BM} = 0,2 \cdot X_{CSB,BM} \cdot t_{TS} \cdot b \cdot F_T \quad (4)$$

mit $Y = 0,67$ g CSB/g CSB_{abb} bei 15 °C (heterotropher Biomasseertrag)
 $b = 0,17$ d⁻¹ bei 15 °C (heterotrophe Zerfallsrate)
 $F_T = 1,072^{(T-15)}$ (Reaktionstemperatur)
 $t_{TS} = 15$ d (Nährstoffelimination) bzw. 25 d (simultane aerobe Schlammstabilisierung)

Die einwohnerspezifischen Frachten im Zulauf der biologischen Stufe an CSB und an abfiltrierbaren Stoffen können zum Beispiel der Tabelle 1 der ATV-DVWK-A 131 entnommen werden. Die Ergebnisse einer für diese Eingangsfrachten ermittelten CSB-Bilanz zeigen die nachfolgenden Grafiken. Mit der Umwandlung einer simultan aerob stabilisierenden Anlage in eine nährstoffeliminierende Anlage wird das Schlammalter abgesenkt. Der Anteil des mit dem Überschussschlamm abgezogenen biologisch abbaubarem CSB steigt mit der Verkürzung des Schlammalters in der biologischen Stufe an. Durch die Integration einer Vorklä rung wird der Anteil des über den Schlamm entnommenen CSB nochmals vergrößert. Der Anteil des veratmeten CSB geht proportional dazu zurück.

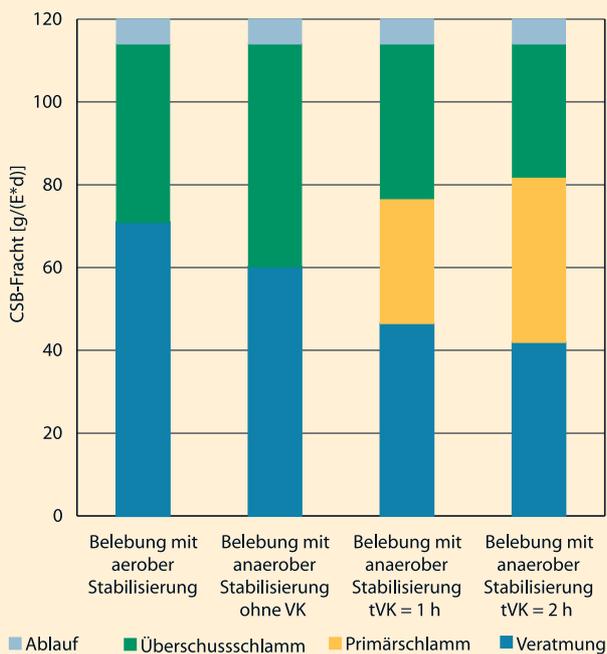


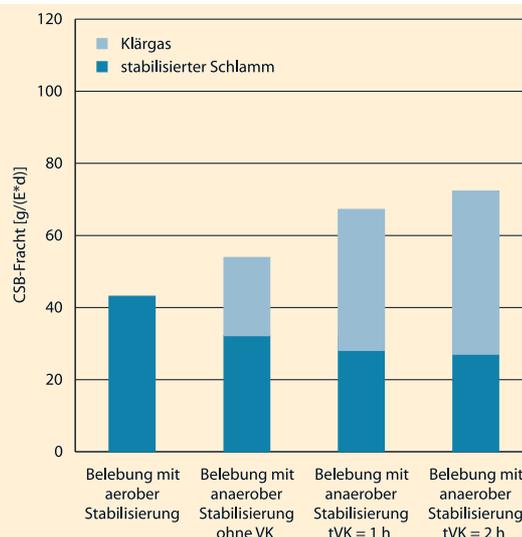
Bild 5.2: CSB-Bilanzen bei der simultanen aeroben und der anaeroben Schlammstabilisierung

Der Rohschlamm wird bei den Varianten mit Schlammfäulung anaerob aufgeschlossen. Hierbei wird ein Teil des CSB in Methan überführt, welches energetisch für eine Strom- und/oder Wärmeproduktion genutzt werden kann. Eine längere Vorklärdauer erhöht die Gasproduktion nur unwesentlich. Der Strombedarf der biologischen Stufe wird dominiert von dem Sauerstoffbedarf für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen und die Umwandlung der Stickstoffverbindungen. Für die Bilanzierung der Stickstoffverbindungen wird nach ATV-DVWK-A 131 eine Zulaufkraft von 11 g/(E*d), ein Stickstoffeinbau in die Biomasse von 8 % des CSB der produzierten Biomasse und eine Konzentration von 2 mg N_{org}/l im Ablauf der Nachklärung berücksichtigt. Bei den Varianten mit einer Schlammfäulung ist weiterhin die Rückbelastung der biologischen Stufe mit Stickstoff in Höhe von etwa 1,5 g/(E*d) zu beachten. Die Nitrifikation hat unter Berücksichtigung des Stoffwechsels der autotrophen Biomasse einen Sauerstoffbedarf von 4,3 g O₂/g N_{OX}, während über die Denitrifikation 2,9 g O₂/g N_{DN} zurückgewonnen werden können. Es wird eine Denitrifikation von 80 % der oxidierten Stickstoffverbindungen angenommen.

Bild 5.3: Umsetzung des Rohschlammes bei einer Schlammstabilisierung

Energetische Bilanzierung

Der Strombedarf für die Sauerstoffzufuhr wurde mit einem üblichen Sauerstofftrag in Reinwasser von 3 kg O₂/kWh und einem α -Wert von 0,7 berechnet. Weiterhin wird eine Sättigungskonzentration c_s von 9 mg O₂/l und eine O₂-Konzentration in der biologischen Stufe von 1,5 mg/l berücksichtigt. Dem Energieverbrauch für die Belüftung (Kohlenstoff- und Stickstoffelimination) steht bei den Varianten mit einer separaten anaeroben Schlammstabilisierung die mögliche Eigenproduktion an elektrischer Energie aus dem Klärgas gegenüber. Die produzierte Methanmenge ermittelt sich aus der CSB-Bilanz für die Schlammfäulung mit einem Gasertrag von 350 l CH₄/kg CSB (Cornel, 2007) und einem Heizwert von 10 kWh/m³ (siehe Bild 5.3). Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW-Anlage wird mit 30 % angesetzt. Die Integration einer Schlammfäulung ermöglicht ein reduziertes Schlammalter in der biologischen Stufe. Der Strombedarf für die Belüftung fällt durch die reduzierte endogene Veratmung der Biomasse um etwa 10 % niedriger aus und kann zu rd. 50 % über das produzierte Klärgas abgedeckt werden (siehe Bild 5.4). Eine Vorklärung senkt den Strombedarf für die Belüftung um weitere rd. 20 %, da ein Teil des abbaubaren CSB bereits vor der biologischen Stufe mit dem Primärschlamm entnommen wird. Die zusätzliche Gasproduktion aus dem Primärschlamm ermöglicht eine vollständige Eigendeckung der Belüftungsenergie und eines Teils der Mischenergie. Je nach Abscheidewirkung der Vorklärung kann der gesamte elektrische Energiebedarf der Kläranlage um 50 bis 70 % durch die Eigenproduktion abgedeckt werden. Der zusätzliche Strombedarf aus dem Betrieb des Faulbehälters und der Vorklärung sind bei der Energiebilanz der Kläranlage zu berücksichtigen.



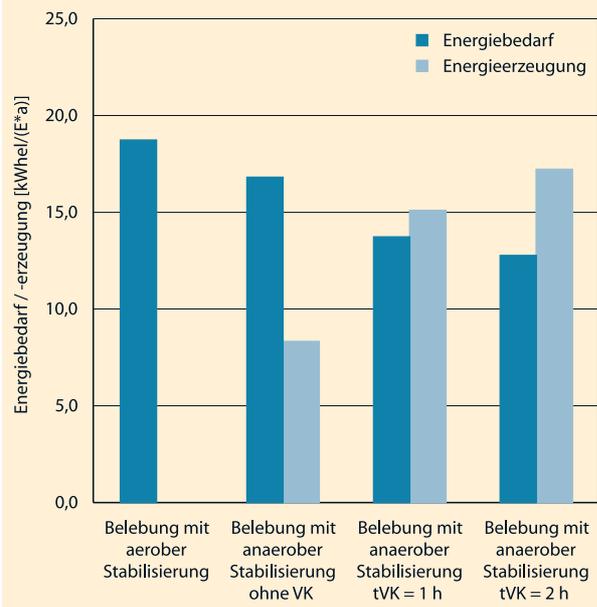


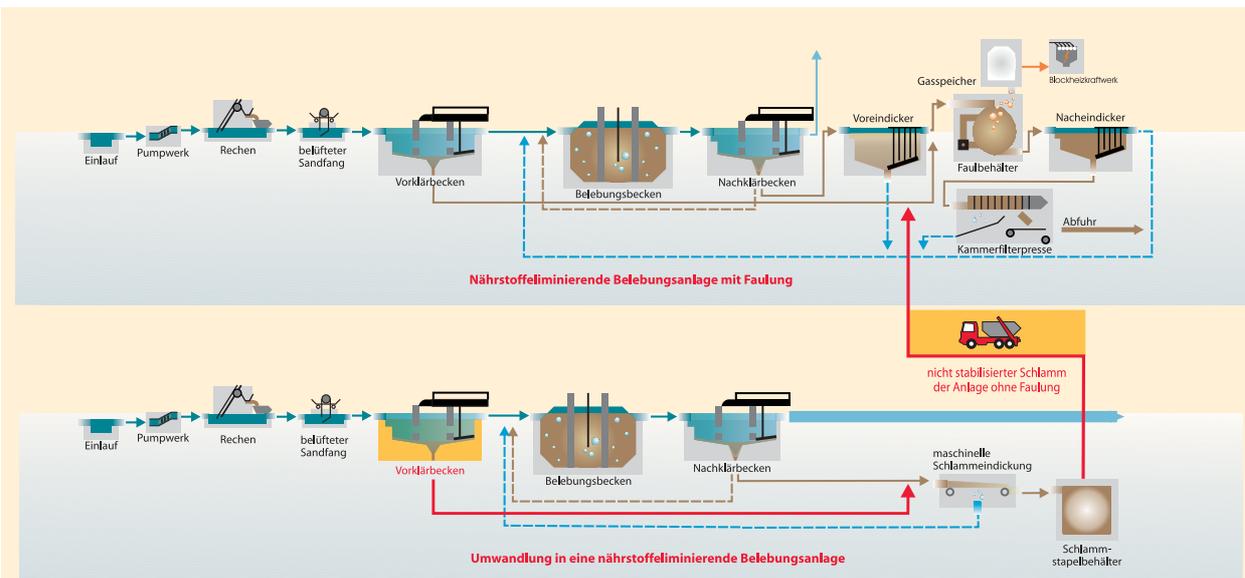
Bild 5.4: Energiebedarf für den Sauerstoffeintrag in der biologischen Stufe im Vergleich zu der Stromerzeugung aus dem produzierten Klärgas

5.2 Schlammstabilisierung im Verbund

Die beschriebenen energetischen Vorteile könnten in einem Verbundkonzept zur gemeinsamen Schlammstabilisierung genutzt werden. Die aeroben Stabilisierungsanlagen werden dann mit der alleinigen Aufgabe der Kohlenstoff- und Nährstoffelimination mit geringeren Schlammaltern betrieben. Der nicht stabilisierte Schlamm dieser Anlagen wird einer Faulungsanlage mit der entsprechenden Infrastruktur zugeführt. Für beide Anlagen erfordert der Verbund eine Variantenbetrachtung mit einer Überprüfung der energetischen Verbrauchssituation, einer detaillierten Auswertung der aktuellen Belastungssituation nach ATV-DVWK-A 198 (ATV-DVWK, 2003), einer Nachbemessung der biologischen Stufen nach ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK, 2000). Wesentliche Teilschritte eines solchen Konzepts sind die zusätzliche Belastung der Faulanlage, die verfahrenstechnische Umstellung der aeroben Stabilisierungsanlage und der Schlammtransport.

Bei der Kläranlage mit Schlammfäulung sind die Faulraumkapazität (Faulzeit und Raumbelastung), die Gasfassung, -speicherung und -verstromung, die Wärmenutzung und die Schlamm entwässerung zu überprüfen. Die Möglichkeit für eine Annahme und Einspeisung der Fremdschlämme z.B. über eine separate Annahmestation oder eine Zugabe in den Voreindicker ist zu schaffen. Sofern die zukünftig erhöhte Gasproduktion mit der vorhandenen BHKW-Anlage nicht verstromt werden kann, kann z.B. eine Container-BHKW-Anlage nachgerüstet werden. Weiterhin ist die er-

Bild 5.5: Prinzipschema einer Schlammbehandlung als Verbundlösung



höhte Stickstoff-Rückbelastung der biologischen Stufe aus der Schlammbehandlung zu ermitteln und in ihrem Einfluss auf die Stickstoffelimination in der biologischen Stufe zu bewerten. Von Interesse sind auch die Kosten der Schlammverwertung in der Landwirtschaft oder in einer Verbrennungsanlage, die mit dem Betreiber der anliefernden Kläranlage zu verrechnen sind.

Für die umzurüstende aerobe Stabilisierungsanlage sind die Integration einer Vorklärung, die Nutzung der vorhandenen Beckenstruktur der biologischen Stufe bei reduziertem Schlammalter, der reduzierte Sauerstoffbedarf der biologischen Stufe und dessen Abdeckung mit der vorhandenen Belüftung (Gebläse, Belüftungselemente, Zonierung der Becken) und der erhöhte Anfall an Überschussschlamm von Bedeutung. Weiterhin sind die Kosten für den Transport des anfallenden Klärschlammes (Überschuss- und ggf. Primärschlamm) sowie die Einbindung einer statischen oder maschinellen Voreindickung zur Reduktion des Schlammvolumens einzubeziehen. Im Hinblick auf die zu tätigen Investitionen und die geforderte Entsorgungssicherheit sollte der Verbund der Schlamm Entsorgung vertraglich über eine Laufzeit von 5 bis 10 Jahren fixiert werden, wenn die verbundenen Kläranlagen nicht derselben Organisationseinheit zugehören. Zukünftige Kosten- und Ertragssteigerungen sollten hierbei über Preisgleitklauseln berücksichtigt werden.

Mit dem Verbundbetrieb wird der CO₂-Ausstoß der vormals aerob stabilisierenden Kläranlage reduziert, der der Kläranlage mit Schlammfäulung dagegen erhöht. Folgende Punkte sind bei der Erstellung einer CO₂-Bilanz zu berücksichtigen: CO₂-Ausstoß durch den Stromfremdbezug

Der Strombedarf der biologischen Stufe ergibt sich über eine Sauerstoffbedarfsrechnung nach ATV-DVWK-A 131 (ATV-DVWK, 2000). Für die Ermittlung der CO₂-Emissionen ist der vom Stromversorger angegebene spezifische CO₂-Ausstoß oder alternativ der Wert für den bundesdeutschen Strommix von 514 g CO₂/kWh anzusetzen.

Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs

Der CO₂-Ausstoß durch die Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs wird über eine CSB-Bilanz und die Umrechnung der CSB- in TOC-Frachten berechnet. Die

freigesetzte CO₂-Masse ergibt sich aus der Frachtdifferenz und der spezifischen CO₂-Produktion von 3,7 kg CO₂/kg TOC_{ox}. Die zu betrachtenden Stoffströme sind die Zu- und die Ablauffracht sowie die TOC-Fracht des aus dem Bilanzraum abgezogenen Schlammes.

CO₂-Ausstoß der Klärgasverbrennung

Die Verbrennung des produzierten Klärgases setzt CO₂ aus der chemischen Umsetzung des Methans und dem im Gas enthaltenen CO₂-Anteil frei. Der hiermit verbundene CO₂-Ausstoß wird über die Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs im Bilanzraum mit erfasst. Eine Verstromung des produzierten Klärgases verringert aber den Stromfremdbezug und führt zu einer CO₂-Einsparung.

CO₂-Ausstoß der Wärmeproduktion

Der Wärmebedarf der Betriebsgebäude (Heizung, Warmwasser) ändert sich durch den Verbundbetrieb nicht. Bei Einsatz von Fremdenergie (Öl, Gas, Hackschnitzel) kann der CO₂-Ausstoß über den Primärenergieträger und dessen spezifische CO₂-Produktion berechnet werden. Der Wärmebedarf für das Aufheizen des angelieferten Rohschlammes wird über die Klärgasverwertung gedeckt.

CO₂-Ausstoß durch den Schlammtransport

Der CO₂-Ausstoß für den Schlammtransport errechnet sich mit einem spezifischen CO₂-Ausstoß von 0,245 kg CO₂/(t*km) (LKW > 12 t) (IFEU, 2005) über die transportierten Schlammengen und die Transportentfernung. Im Vergleich zu der Freisetzung von CO₂ bei der Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs ist die Größenordnung des durch den Transport verursachten CO₂-Ausstoßes von eher untergeordneter Bedeutung.

5.3 Thermische Schlammverwertung

Von den bundesweit rd. 2,1 Mio. t Schlamm trockenmasse (TR), die bei der kommunalen Abwasserreinigung als Reststoff anfallen, wurden im Jahr 2007 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 49 % thermisch behandelt, 47 % in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau eingesetzt und 4 % einer sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt. Eine

Deponierung fand mit nur noch 0,2 % praktisch nicht mehr statt. Für die Verbrennung stehen Kapazitäten von rd. 0,52 Mio. t TR in Monoverbrennungsanlagen und etwa 0,67 Mio. t TR bei der Mitverbrennung in Kraftwerken und Zementwerken zur Verfügung. Mit 14 von 18 Anlagen verfügt der überwiegende Teil der kommunalen Monoverbrennungsanlagen über Wirbelschichtöfen mit einer Anlagenkapazität von jeweils größer 20.000 t TR pro Jahr. Der steigenden Nachfrage folgend werden jedoch auch Verfahren für einen dezentralen Einsatz mit Kapazitäten kleiner 5.000 t TR pro Jahr entwickelt (Lehrmann, 2009). Beispiele sind das Pyrobuster-Verfahren (Drehrohr), das Awina-Verfahren (Rost mit Schleuderrad), das sludge2energy-Verfahren (Rost), das Bio-Con-Verfahren (Rost) sowie das Kopf- und das Pyro-Fluid-Verfahren (Wirbelschicht).

Durch die geplante Novelle der Klärschlammverordnung und die bei Nahrungsmittelherstellern und Bevölkerung sinkende Akzeptanz für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wird sich der Anteil der Verbrennung in den nächsten Jahren vermutlich weiter erhöhen. Hierfür stehen in Mecklenburg-Vorpommern bisher keine Verbrennungskapazitäten zur Verfügung, so dass ein Transport zu Anlagenstandorten in anderen Bundesländern erforderlich ist. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Kläranlagenstrukturen könnte sich daher der Aufbau regionaler Verbrennungskapazitäten mit Anlagenleistungen kleiner 20.000 t TR pro Jahr als zweckmäßig erweisen. Vorteile einer solchen dezentralen Lösung wären die Reduktion des Transportaufwandes, eine hohe Energieausnutzung bei einer Schlamm-trocknung über die Abwärme der Verbrennung, die Möglichkeit für eine spätere Phosphor-Rückgewinnung aus der Klärschlamm-asche sowie eine hohe Entsorgungssicherheit und Planbarkeit der Entsorgungskosten.

Neben der dezentralen Verbrennung wäre auch der Einsatz einer solaren Klärschlamm-trocknung zu prüfen. Durch die Trocknung werden Volumen und Gewicht des Schlamms stark reduziert. Die Lagerfähigkeit wird erhöht und es bleiben alle Verwertungs- und Entsorgungswege für den Betreiber offen. Mit vergleichsweise geringen Investitions- und Trocknungskosten wird eine langfristige Kostensicherheit durch die Mengenreduktion erzielt. Für die Klärschlamm-trocknung sind auch regionale Entsorgungskonzepte unter Einbezug der landwirtschaftlichen Biogasanlagen von Interesse. Das in diesen Anlagen erzeugte Biogas könnte auf Kläranlagen in BHKW-Anlagen verstromt und die anfallende Abwärme zur Unterstützung einer solaren Klärschlamm-trocknung eingesetzt werden.



Bild 5.6: Solare Klärschlamm-trocknung KA Stockach, 50.000 EW

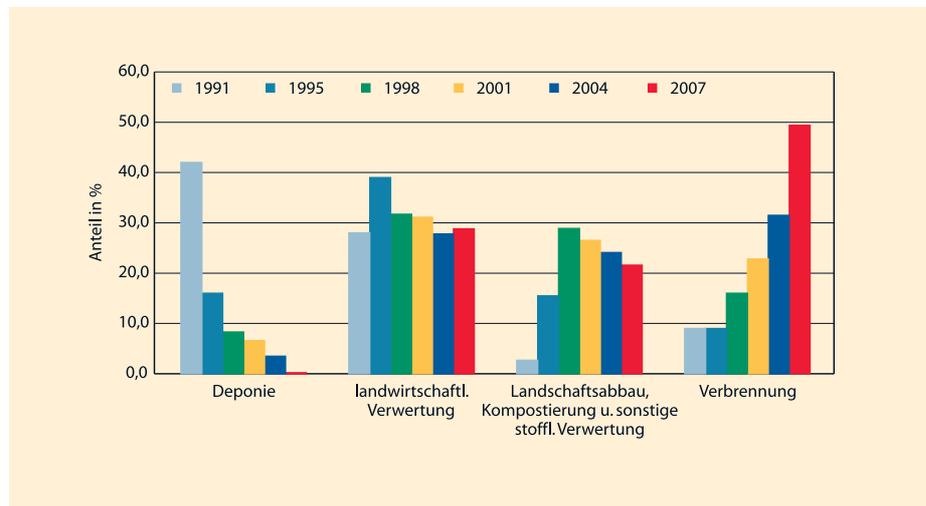


Bild 5.7: Klärschlamm-entsorgung in Deutschland (Zusammenstellung aus Daten des Statistischen Bundesamtes, UBA, 2008)

5.4 Weitergehende Reinigungsverfahren

Die Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen wurde durch den Ausbau für eine gezielte Stickstoff- und Phosphorelimination deutlich verbessert. Zunehmend wird als weitergehende Reinigungsanforderung die Hygienisierung des gereinigten Abwassers sowie die Elimination so genannter Spurenstoffe diskutiert (u.a. Koenig et al., 2007). Spurenstoffe sind zusammengefasst Substanzen, die nach bestimmungsgemäßem Gebrauch als Restkonzentrationen von wenigen Mikrogramm ($\mu\text{g/l}$) oder Nanogramm (ng/l) pro Liter über den Kläranlagenablauf in Gewässer gelangen. Beispiele sind Arzneimittel, hormonell wirksame Substanzen und Industriechemikalien. Weitere Einträge für diese Stoffe in die Gewässer ergeben sich aus direkt einleitenden Industriekläranlagen und aus der Landwirtschaft. Wenn diese Stoffe bioakkumulierbare und toxische Eigenschaften besitzen, besteht die Gefahr, dass sie bei höheren Mengen im Zulauf den Prozess der Abwasserbehandlung stören, über den Ablauf das Ökosystem schädigen und/oder über die Nahrungskette die menschliche Gesundheit beeinträchtigen.

Um die Anforderungen für Badegewässer zu erfüllen, ist die Hygienisierung von Abwasser mittels UV-Bestrahlung Stand der Technik. Das Verfahren wird auf verschiedenen Kläranlagen erfolgreich eingesetzt. Für die Spurenstoffelimination sind zahlreiche Verfahren bisher im Pilotmaßstab (z.B. Fahlenkamp et al., 2008) untersucht worden. Erste Anwendungen finden sich aber auch im technischen Bereich (Joss et al., 2009). Mit Blick auf die angewandte Technologie lassen sich diese Verfahren gruppieren in:

- Adsorptionsverfahren, bei denen sich die Stoffe z.B. an Aktivkohle anlagern und so aus dem Wasser entfernt werden,



Bild 5.8: Mikroorganismen im Belebtschlamm

- Oxidationsverfahren, bei denen die Stoffe durch Oxidationsmittel wie z.B. Ozon zerstört werden,
- Trennverfahren, bei denen die Stoffe durch sehr feinporeige Membranen aus dem Wasser abgetrennt werden, und
- Biologische Verfahren, bei denen durch lange Verweilzeit im Bioreaktor oder spezielle Bakterien die Spurenstoffe eliminiert werden.

Alle Verfahren wirken unspezifisch und können nicht alle Spurenstoffe mit gleicher Effizienz aus dem Abwasser entfernen. Insbesondere bei den Oxidationsverfahren können als Abbauprodukte neue Stoffe (Metaboliten) mit noch unbekannter Wirkung entstehen.

Eine flächendeckende Einführung der Verfahren wäre mit einem erheblichen Investitionsaufwand und zusätzlichem Energieeinsatz verbunden.

Vorrang vor der Elimination von Spurenstoffen in Kläranla-

Tabelle 5.1: Energieeinsatz weitergehender Technologien zur Abwasserbehandlung (MUFV RLP, 2007)

Verfahren	Reinigungsziel	spez. Stromverbrauch [kWh/E*a]
UV-Bestrahlung	Hygienisierung	2,5
Sandfiltration	Partikelrückhalt, weitergehende Phosphor-Elimination	5
Aktivkohle	Adsorption von Hormonen und Pharmazeutika	5
Ozonierung	Hygienisierung	20
Membranbioreaktor (MBR)	Hygienisierung, Vollständige Partikelentfernung	80
Ozonierung	Entfernung anthropogener Spurenstoffe	100

gen sollte daher eine Vermeidung des Eintrags haben. Voraussetzung für eine wirksame Maßnahmenplanung ist die Kenntnis der Eintragspfade und -quellen. Eine effiziente Abwasserreinigung könnte durch eine gezielte Vorreinigung bei Indirekteinleitern oder durch Abtrennung besonders belasteter Teilströme, z.B. in Krankenhäusern (Beier et al., 2008), erfolgen. Die Hygienisierung von gereinigtem Abwasser kann insbesondere bei einer Einleitung in touristisch genutzte Seen, Fließ- oder Küstengewässer in Einzelfällen erforderlich werden.

5.5 Einsatz regenerativer Energien

Der größte und bislang meist genutzte regenerative Energieträger auf Kläranlagen ist das Klärgas, auf dessen Bedeutung schon ausführlich in den vorangegangenen Kapiteln eingegangen wurde. Neben dem Klärgas existieren auf Kläranlagen folgende weitere Möglichkeiten zur regenerativen Energieerzeugung:

- Abwasserwärme zur Beheizung von Gebäuden
- Wasserkraft zur Elektrizitätserzeugung
- Windkraft zur Elektrizitätserzeugung
- Sonnenenergie zur Elektrizitätserzeugung mittels Photovoltaik
- Sonnenenergie zur Wärmeerzeugung mittels Solarthermie
- Bioenergie zur Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung

Abwasserwärme

Die Abwasserwärme stellt neben dem Klärgas den größten regenerativen Energieträger auf Kläranlagen dar. Aus dem Abwasser kann theoretisch eine Wärmemenge gewonnen werden, die den Bedarf der Kläranlage bei Weitem übersteigt. Bei Anlagen ohne anaerobe Faulstufe wird die benötigte Wärmeenergie für die Heizung des Betriebsgebäudes entweder über einen Heizkessel mit fossilen Energieträgern oder durch Elektroheizungen zur Verfügung gestellt. Auf kleineren Kläranlagen kann der Betrieb von Elektroheizungen nicht selten bis zu einem Viertel des Gesamtenergieverbrauchs der Kläranlage verursachen. Als Alternative bietet sich hier die Nutzung der Abwasserwärme an.

Die Temperatur im Zulauf zur Kläranlage liegt in der Regel zwischen 7 °C und 20 °C. Der Energiegehalt von Abwasser beträgt rund 1,2 kWh/(m³ *K). Daraus ergibt sich z.B. für die Kläranlage Bobitz mit einer jährlichen Abwassermenge von ca. 83.000 m³ bei einer Abkühlung um lediglich 0,1 Kelvin eine zur Verfügung stehende Energiemenge von rund 10.000 kWh/a. Dies entspricht in etwa dem jährlichen Energiebedarf für die Beheizung des Betriebsgebäudes.

Um die Wärme aus dem Abwasser zu nutzen, kann ein Wärmetauscher in die Sohle eines Abwasserkanals eingebaut werden oder das gereinigte Abwasser des Ablaufs direkt einem Wärmetauscher zugeführt werden. Mit Hilfe von Wärmepumpen wird dem Abwasser Wärmeenergie entzogen und auf das für die Raumheizung benötigte Temperaturniveau angehoben. Für den Betrieb einer Wärmepumpe wird ca. ein Viertel der erzeugten Wärmemenge als Strom benötigt.

Neben der Nutzung der Abwasserwärme besteht auch die Möglichkeit die Abwärme von Aggregaten, wie z.B. die Abwärme von Gebläsen, für die Gebäudebeheizung zu nutzen. Streng genommen stellt diese Abwärme keinen regenerativen Energieträger dar, steht aber auf den meisten Kläranlagen ungenutzt zur Verfügung.

Bild 5.9: Abwasserwärmetauscher und Wärmeverteiler auf einer kommunalen Kläranlage



Wasserkraft

Die Nutzung von Wasserkraft zur Energiegewinnung auf Kläranlagen ist bei entsprechenden Höhendifferenzen des Wasserlaufes wirtschaftlich möglich. Bei einer Kläranlage mit 50.000 EW und einem mittleren Trockenwetterzufluss von 250 m³/h kann beispielsweise bei einer Fallhöhe von 3 m eine elektrische Nennleistung von rd. 2 kW durch Wasserkraft erzeugt werden. Die Investitionskosten für die Wasserkraftnutzung können mit rd. 5.000 Euro pro installiertem kW abgeschätzt werden (MUNLV NRW, 1999). So ergäben sich für diesen Fall die Investitionskosten überschlägig zu 10.000 Euro, was bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren und einem effektiven Zinssatz von 4 % Jahreskosten von ca. 900 Euro entspricht. Demgegenüber steht aus der Energieerzeugung bei Ansatz eines mittleren Wirkungsgrades von 70 % und eines Strompreises von 12 Ct/kWh ein Jahresnutzen von rund 1.500 Euro. Das Beispiel zeigt, dass sich schon bei einer Fallhöhe von 3 m eine Wasserkraftnutzung wirtschaftlich darstellen lässt. Die Potenziale der Wasserkraftnutzung sind in Mecklenburg-Vorpommern, das überwiegend von Flachland geprägt ist, jedoch als gering einzustufen.

Windkraft

Die Windkraft besitzt in Mecklenburg-Vorpommern einen hohen Stellenwert und erzeugt rund 34 % des Bruttostromverbrauchs des Landes (Quelle: Bundesverband WindEnergie e.V.). Laut dem Landesatlas für Erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern besteht ein Gesamtpotenzial der Windkraft für die Landaufstellung von 2.429 GWh/a. Die Windverhältnisse sind mit Jahresdurchschnittsgeschwindigkeiten von überwiegend 5 bis 6 m/s als günstig zu bewerten. Auch wenn Kläranlagen häufig an möglichst tief liegenden Standorten gebaut sind, könnten gerade im Küstenbereich bei günstigen Windverhältnissen Windkraftanlagen eine wirtschaftliche Ergänzung zur Bedarfsdeckung darstellen. Unter Berücksichtigung der hohen Jahresstromproduktion moderner Windkraftanlagen könnte Windkraft einen deutlichen Beitrag zur Eigenversorgung von Kläranlagen liefern. Die Investitionskosten der Anlage mit etwa 900 Euro pro installiertem kW und die Sicherstellung der benötigten Leistung bei schwankender Windproduktion sind zu beachten.

Photovoltaik

Die durch die Sonne eingetragene Energiemenge beträgt in Mecklenburg-Vorpommern rund 1.000 kWh/m² im Jahr. Durch photovoltaische Anlagen kann diese Energie in elektrische Energie umgewandelt werden, wobei der Wirkungsgrad heute zwischen 5 und 12 % liegt.

Die jährliche Sonnenscheindauer liegt in Mecklenburg-Vorpommern je nach Region zwischen 1.600 und 1.800 Stunden (Deutscher Wetterdienst, 2009).

Auf Kläranlagen stehen häufig horizontale Flächen in großem Ausmaß zur Verfügung, die sich zur Installation von Photovoltaik eignen. Die Investitionskosten belaufen sich auf 4.500 bis 6.000 Euro pro kW_{Peak}. Auf Grund der hohen Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2008) kann die Elektrizitätsgewinnung durch Photovoltaik auf Kläranlagen trotz der hohen Investitionskosten wirtschaftlich sein.

Bedingt durch den niedrigen Ertrag von etwa 800 bis 900 kWh/kW_{Peak}/a (1 kW_{Peak} entspricht 10 m² Solarmodul) ist der mögliche Beitrag zur Eigendeckung auf der Kläranlage aber eher als gering einzustufen.



Bild 5.10: Installation von Photovoltaikmodulen auf einem Betriebsgebäude

Solarthermie

Besonders auf Kläranlagen ohne Klärgasgewinnung ist es sinnvoll, die notwendige Wärmemenge, z.B. zur Beheizung des Betriebsgebäudes, mit regenerativen Energieträgern bereit zu stellen.

Die Nutzung der Sonnenenergie zur Wärmegewinnung ist hierfür eine Möglichkeit, mit der pro m² Kollektoroberfläche 300 bis 450 kWh/a an thermischer Energie gewonnen werden können (MUNLV NRW, 1999). Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass auf Kläranlagen ohne anaerobe Faulung im Sommer der Wärmebedarf meist verschwindend gering ist und nur im Winter für die Beheizung der Betriebsräume stark ansteigt.

Da die zur Verfügung stehende Sonnenenergie allerdings genau den umgekehrten Jahresverlauf aufweist, ist eine effiziente Nutzung von Solarthermie auf Kläranlagen eher beschränkt. Die Investitionskosten für die Installation von Sonnenkollektoren betragen ca. 500 Euro/m².

Bioenergie

Mit der Broschüre ‚(Bio-)Energie-land Mecklenburg-Vorpommern‘ hat sich das Landwirtschaftsministerium 2006 zu den Potenzialen der Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen in Mecklenburg-Vorpommern positioniert.

Schätzungen zufolge kann etwa ein Drittel der Ackerfläche im Land für die Erzeugung von Biomasse zur energetischen Verwertung genutzt werden, ohne die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu gefährden. Aufgrund der Rahmenbedingungen und der zur Verfügung stehenden Technologien können im Jahr 2020 über die Produktlinien Biogas, Biokraftstoffe und Biofestbrennstoffe bis zu 24 % des Primärenergiebedarfs im Land bereitgestellt werden (LU, 2007). Eine Zusammenarbeit von Abwasserunternehmen und Betreibern von Bioenergieanlagen könnte hier Synergien mit einer weiteren Steigerung der Energieproduktion ergeben. Ansätze bestehen z.B. in der gemeinsamen Betriebsführung unter Ausnutzung des fachlichen Know-Hows, einer Co-Fermentation biogener Reststoffe in kommunalen Faulanlagen oder dem Einsatz der Klär- und Biogasverstromung zur Spitzenlastabdeckung im Rahmen regionaler Energiekonzepte.



Bild 5.11: Anbau von nachwachsenden Rohstoffen

6. Hinweise zum Energiebezug

Die Energiebezugskosten für den Betrieb der Abwasseranlagen ergeben sich im Wesentlichen aus dem verfahrenstechnisch bedingten Elektrizitätsverbrauch – im Kanalnetz und auf der Kläranlage – in Verbindung mit den vertraglichen Lieferbedingungen für den fremdbezogenen Strom. Abwasseranlagen müssen grundsätzlich wirtschaftlich betrieben werden. Der Anteil der Energiebezugskosten an den gesamten Betriebskosten in einem Entsorgungsraum ist mit etwa 5 % vergleichsweise niedrig. Während kalkulatorische Kosten, Personalkosten, sonstige Betriebskosten und Umlagen durch den Betreiber kaum beeinflusst werden können, ist dies bei den Energiekosten in einem wenn auch begrenzten Umfang möglich. Die erheblichen Preissteigerungen im Energiebezug der letzten Jahre sollten Anlass für die Betreiber sein, sich neben einer Optimierung der energetischen Verbrauchssituation intensiv mit der vertraglichen Regelung des Energiebezugs auseinanderzusetzen.

6.1 Entwicklungen des Energiemarktes

Durch die Einführung der Richtlinien 96/92/EG und 2003/54/EG kam es zu einer Liberalisierung der Energiemärkte. Im Nachgang zur Richtlinie 2003/54/EG ist ein neues Energiewirtschaftsgesetz (EnWG 7.7.2005) entstanden, welches vornehmlich die wirtschaftliche und rechtliche Trennung von Vertrieb und Netzbetrieb bei den Energieversorgungsunternehmen regelt sowie die Einberufung von

Regulierungsbehörden vorsieht. Im Zuge dieser Liberalisierung hat sich die Energiebeschaffung deutlich verändert. Die Energiepreise unterlagen in den letzten Jahren starken Schwankungen. Die Volatilität der Märkte für fossile Energieträger wie Kohle, Gas und Öl ist nahezu direkt übertragbar auf die Preise für elektrische Energie. Daneben gibt es aber Einflussfaktoren auf die an den verschiedenen Energiebörsen gehandelten Preise für elektrische Energie, welche nur einen bedingten Zusammenhang mit diesen Preisen erkennen lassen.

In der ersten Phase der Liberalisierung der Strommärkte sind die Preise zum Teil drastisch gefallen, wovon insbesondere auch die Sondervertragskunden profitieren konnten. Ab 2002 ist der Strompreis mit einer gewissen Volatilität jedoch wieder deutlich gestiegen. Die Gründe hierfür sind in dem generellen Anstieg der Brennstoffkosten für die Stromerzeuger, dem Abbau von Überkapazitäten im deutschen Kraftwerkspark und in der marktbestimmenden Stellung vier großer Stromerzeuger zu sehen. Der Anstieg der direkten Stromkosten für Betreiber wasserwirtschaftlicher Anlagen lag nach dem Monitoringbericht 2008 der Bundesnetzagentur im Zeitraum April 2008 bis April 2009 z. B. im Bereich von 20 %. Dieser erhebliche Preisanstieg bei gleichzeitiger starker Volatilität der Märkte zeigt eindeutig den Bedarf einer angepassten Beschaffungsstrategie. Mit einer solchen Strategie ergibt sich die Möglichkeit, das finanzielle Risiko des Energieeinkaufes zu verringern und der spekulativen Preisgestaltung an der Börse ein Stück weit entgegen zu wirken.

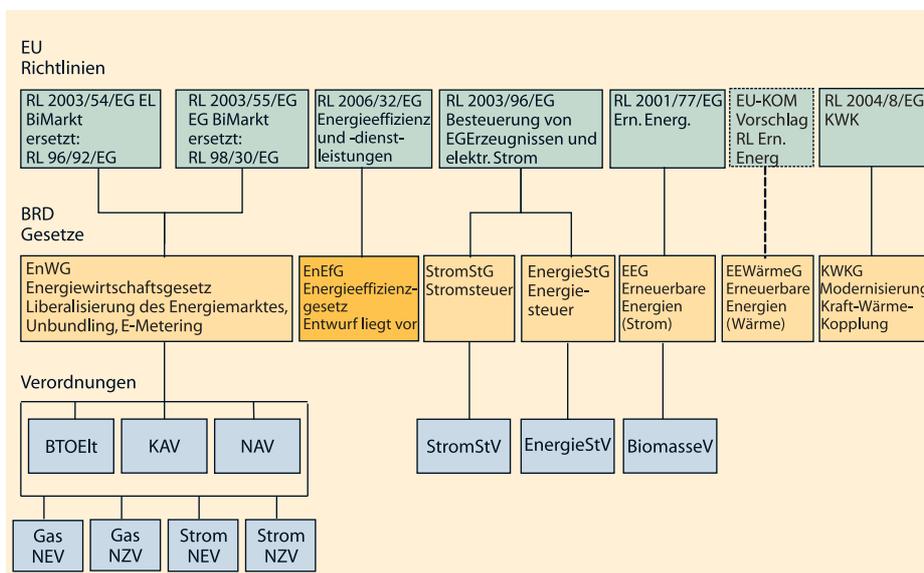


Bild 6.1: Vielfalt des geltenden Energierechts (nach Seibert-Eriling, 2009)

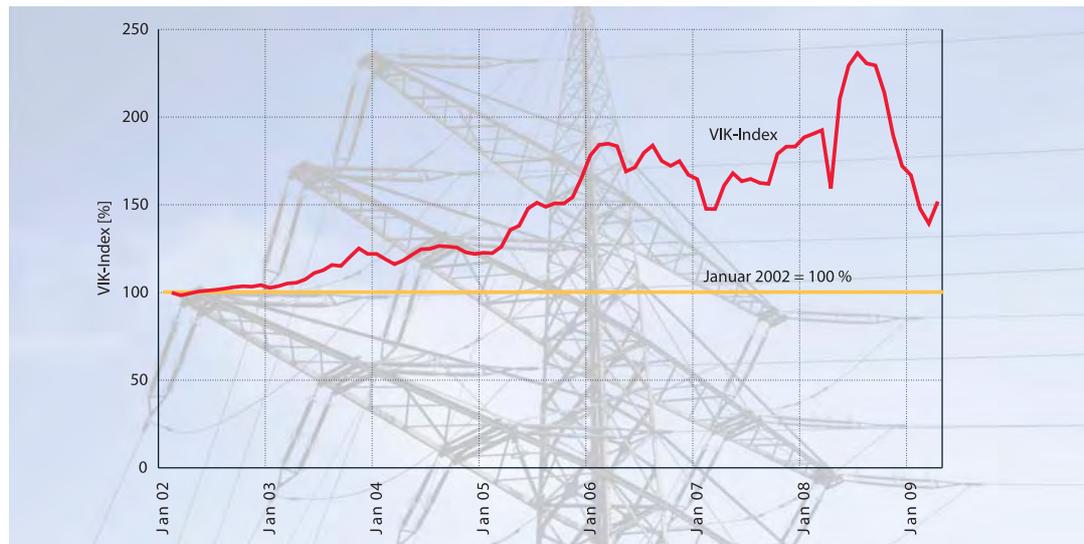


Bild 6.2: Entwicklung des VIK-Strompreisindex Mittelspannung (VIK, 2009), Erläuterung: Durchschnittspreis des Vormonats am EEX-Terminmarkt für die vier folgenden Quartalsprodukte; Wichtung des Grund- und Spitzenlastanteils für typische Industriekunden (3.000 bis 6.000 h/a); Bezugsgrößen sind im Bundesgebiet einheitliche Großhandelspreise.

6.2 Ausschreibung der Stromlieferung

Für die Vergabe öffentlicher Aufträge sind in den Mitgliedsstaaten der EU zwei Richtlinien maßgeblich:

- die Richtlinie über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge sowie
- die Richtlinie zur Koordinierung der Zuschlagserteilung durch Auftraggeber im Bereich Wasser-, Energie- und Verkehrsverordnung.

Die öffentliche Ausschreibung von elektrischer Energie als Ware ist somit zwingend erforderlich (vgl. auch Rechtsprechung EuGH).

Das öffentliche Vergaberecht bietet durch seine Transparenz einen sicheren Rahmen für alle Beteiligten. Gleichzeitig sind die Vergabeverfahren nach diesen Regeln an die Einhaltung von Fristen gebunden, durch teilweise aufwendige Bearbeitung gekennzeichnet und deshalb für manche Unternehmen wenig attraktiv. In diesem Spannungsfeld gilt es die Ausschreibung unter Einhaltung aller rechtlichen Vorgaben so zu gestalten, dass sie für potenzielle Bieter interessant ist und nicht hohe Risikoaufschläge in der Preiskalkulation nach sich zieht.

Der Energiepreis ist ein Mischpreis, der sich aus folgenden Faktoren zusammensetzt:

- Elektrische Arbeit
- Netznutzung
- Messung und Abrechnung
- Steuern und Abgaben

Abhängig von den jeweiligen Voraussetzungen eines Betreibers bieten sich verschiedene Ausschreibungsinhalte an. Neben einer konventionellen Vollstromversorgung gibt es die Möglichkeit, Netznutzung und Energielieferung zu trennen. Weiterhin ist es möglich die elektrische Energie strukturiert oder über ein Tranchenmodell zu beschaffen (s. Kap. 6.4). Über eine Ausschreibung lässt sich im Prinzip nur der Preis für die elektrische Arbeit beeinflussen: die Preise für die Netznutzung sind reguliert, Steuern und Abgaben sind weitestgehend festgelegt und die externe Vergabe des Messstellenbetriebes ist zum jetzigen Zeitpunkt zwar rechtlich möglich, es bedarf jedoch einer detaillierten Prüfung, ob diese auch wirtschaftlich ist. Auf die Preise für elektrische Energie wirken als Einflussfaktoren die Abnahmemenge, die Abnahmeleistung, die Benutzungsstundenzahl, die

Spannungsebene und der Lastverlauf. Daneben gibt es eine Reihe weiterer Einflussfaktoren, wie z.B. Börsenspekulationen oder die weltwirtschaftliche Entwicklung, die nicht durch den Betreiber beeinflusst werden können.

Eine Zusammenarbeit mehrerer Unternehmen der Abwasserbeseitigung bei der Strombeschaffung, insbesondere ein informeller Austausch zwischen den verantwortlichen Mitarbeitern, kann vorteilhaft sein. Ansatzpunkte sind u. a. das Vorhalten der erforderlichen spezifischen Fachkenntnis, die Ausarbeitung der Ausschreibungsunterlagen, die Bündelung der Abnahmemengen und ungünstig gelegener Abnahmestellen sowie die Bereitstellung der Verbrauchsdaten. Ein weiterer Ansatzpunkt könnte in der gemeinsamen Erarbeitung von Notstromkonzepten bestehen.

6.3 Bereitstellung von Lastprofilen

Die elektrische Leistungsaufnahme einer Kläranlage ist aufgrund von Belastungsschwankungen in Zulauf und Betrieb und der Außerbetriebnahme von leistungsstarken Aggregaten, wie z.B. Zentrifugen, Pumpen oder BHKWs, zum Teil erheblichen Schwankungen unterworfen. Die Lastprofile stellen die 15 Minuten-Mittelwerte des Leistungsbezuges einer Kläranlage dar. Ein vollständiges Lastprofil beinhaltet neben den genannten Leistungsmittelwerten weiterhin mindestens einen eindeutigen Zeitstempel. Weitere Informationen können der Blindleistungsbezug sowie eine Rückeinspeisung von elektrischer Energie bei einer hohen Eigenerzeugung und gleichzeitig geringem internen Leistungsbedarf sein. Auf Basis der Lastprofile, die der Netzbetreiber dem jeweiligen Energieversorger und dem Betreiber der Kläranlage zur Verfügung stellt, wird sowohl die fremdbezogene Arbeit als auch die fremdbezogene Leistung abgerechnet. Bei einer zukünftigen öffentlichen Ausschreibung kann sich ein potenzieller Bieter über die Lastprofile, die die tatsächliche energetische Situation auf der Kläranlage dokumentieren, ein Bild von der Schwankungsbreite des Leistungsbedarfs machen und somit den in der Zukunft liegenden Leistungsbe-

darf realistisch bepreisen. Im Gegensatz hierzu wird der Bieter bei nicht vorliegenden Lastprofilen der vergangenen Jahre entsprechende Risikoaufschläge in seiner Preiskalkulation in Ansatz bringen.

Die Schwankungsbreite des Leistungsbedarfs einer Kläranlage wird durch die Jahresbenutzungsstundenzahl deutlich. Die Jahresbenutzungsstunden errechnen sich als Quotient aus der verbrauchten Arbeit (kWh/a) und der bezogenen Spitzenleistung eines Jahres (kW). Je weniger Leistung die Kläranlage im Verhältnis zu den verbrauchten Kilowattstunden benötigt, desto günstigere Konditionen kann der Betreiber im Energieeinkauf erzielen. Es kann daher wirtschaftlich sein, die durch Spitzenbelastungen verursachten Vorhaltekosten über ein automatisiertes Lastmanagement zu vergleichmäßigen und hierüber die Strombezugskosten zu reduzieren. In Abhängigkeit des aktuellen Bezugswertes und unter Berücksichtigung der betrieblichen Erfordernisse werden durch das Lastmanagementsystem einzelne Verbraucher in einer festgelegten Reihenfolge weggeschaltet. Die Vergleichmäßigung des Lastganges wirkt sich direkt auf die Netzentgelte aus und sorgt zukünftig für wirtschaftlichere Ausschreibungsergebnisse.

Bild 6.3: Verbrauchsmengenmessung über Wechselstromzähler



6.4 Neue Beschaffungsansätze

Die bisher noch weit überwiegende Form der Strombeschaffung ist die Vollstromversorgung, bei der der gesamte Bedarf zu einem Zeitpunkt mit einem Lieferanten vertraglich vereinbart wird. Entscheidend ist die Wahl des richtigen Beschaffungszeitpunktes, der bei dem volatiler gewordenen Strommarkt erheblichen Einfluss auf die Kosten hat und damit entsprechende Risiken birgt. Als Weiterentwicklung der Vollstromversorgung bieten sich für die Betreiber wasserwirtschaftlicher Anlagen eine Beschaffung in Tranchen oder eine so genannte strukturierte Beschaffung an. Die Voraussetzung für beide Modelle ist der vollständige Vollzug des Unbundlings, d.h. die Entkopplung von Netznutzung und Stromlieferung. Die Preisfindung erfolgt jeweils auf der Grundlage von an der Strombörse gehandelten Produkten, so dass die Mechanismen an den Energiebörsen bekannt sein müssen. Dieses Branchenkenntnis muss entweder durch eigenes Personal oder durch externe Dienstleister sichergestellt werden.

Bei einem Tranchenmodell kann der Betreiber innerhalb eines Rahmenvertrages den Gesamtbedarf an elektrischer Energie in mehreren Tranchen zu frei wählbaren oder vorher definierten Zeitpunkten beschaffen. Hinsichtlich der Preisfixierungszeitpunkte und der Tranchengrößen bieten sich dem Betreiber die verschiedensten Möglichkeiten, abhängig vom möglichen Personalaufwand, der gewünschten Risikostreuung und der eigenen Handlungsbereitschaft. Der Preis der zu fixierenden Tranchen ist am Börsenpreis indiziert. Die unter Kap. 6.2. angeführten Risikoaufschläge können so deutlich minimiert werden. Ferner ist gegenüber der Vollstrombeschaffung eine Risikostreuung durch die Preisfixierung zu mehreren Zeitpunkten gegeben. Dem stehen allerdings auch ein erhöhter Personalaufwand und das Risiko linear steigender Preise gegenüber. In jedem Fall bietet dieses Modell den Vorteil der Planungssicherheit, im Voraus zu wissen, wie hoch die Kosten für elektrische Energie im kommenden Lieferzeitraum sein werden.

Bei der strukturierten Beschaffung wird der Strombedarf in einzelne, standardisierte und an der Börse handelbare Produkte zerlegt, die direkt zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingekauft werden. Der sowohl in der Vollstromversorgung als auch bei Tranchenmodellen von dem Energieversorger für die Abweichung zwischen übermitteltem Lastgang und tatsächlichem Bedarf in Ansatz gebrachte Sicherheitszuschlag wird vollständig vom Betreiber selbst getragen. Da es trotz der untermonatlichen Prognoseanpassungen zu Abweichungen kommt, ist es nötig, dass der Betreiber bei der Anwendung eines solchen Modells über einen eigenen Bilanzkreis verfügt oder sich eines Bilanzkreises als Dienstleistung bedient. Insgesamt ist ein solches Modell durch einen hohen Personal- und / oder Dienstleistungsaufwand gekennzeichnet. Dieser Ansatz ist daher nur für größere Betreiber sinnvoll, als Anhaltswert gilt ein Beschaffungsvolumen von 20 GWh/a (Grünebaum et al., 2009). Dafür erhält der Betreiber eine auf die Börse bezogene Preistransparenz und die Möglichkeit, den Strombedarf, soweit betrieblich möglich, den gehandelten Produkten anzupassen. Dadurch, dass die Produkte während des Lieferzeitraumes an der Börse gehandelt werden, ist der endgültige Preis für die bezogene elektrische Energie jedoch erst zum Ende des Lieferzeitraums bestimmbar.

Die Ausschreibung der Stromlieferung sollte unabhängig von dem gewählten Beschaffungsansatz grundsätzlich auf die Nutzung des Wettbewerbs durch Einbezug möglichst aller Anbietergruppen ausgerichtet sein. Dies kann durch eine Losbildung auf Basis der Verteilnetze, die Bereitstellung der angeführten repräsentativen Lastprofile und den Abschluss separater Netznutzungsverträge mit dem Verteilnetzbetreiber gefördert werden.

7. Ausblick

Kläranlagen sollen in erster Linie Abwasser reinigen

Die von den Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern heute erbrachten Reinigungsleistungen und die erzielte Verbesserung der Gewässerbeschaffenheit bestätigen die gewählten Ausbaukonzepte und die getätigten Investitionen. Nach dem Ausbau der Abwasseranlagen kommt einer Optimierung der betrieblichen Einstellungen und der Minimierung der Aufwendungen für Betriebsmittel verstärkte Bedeutung zu. Der Energieverbrauch der Kläranlagen stellt hier eine der wesentlichen Einflussgrößen für die Betreiber dar. Ohne die Priorität des Gewässerschutzes zu vernachlässigen ist eine Verringerung des Energieeinsatzes beim Betrieb von Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern möglich und zweckmäßig. Die Einsparungen nützen dem Klimaschutz und führen auf mittlere Sicht zur Verringerung, mindestens aber zu einer Stabilisierung der von den Anschlussnehmern zufordernden Entgelte.

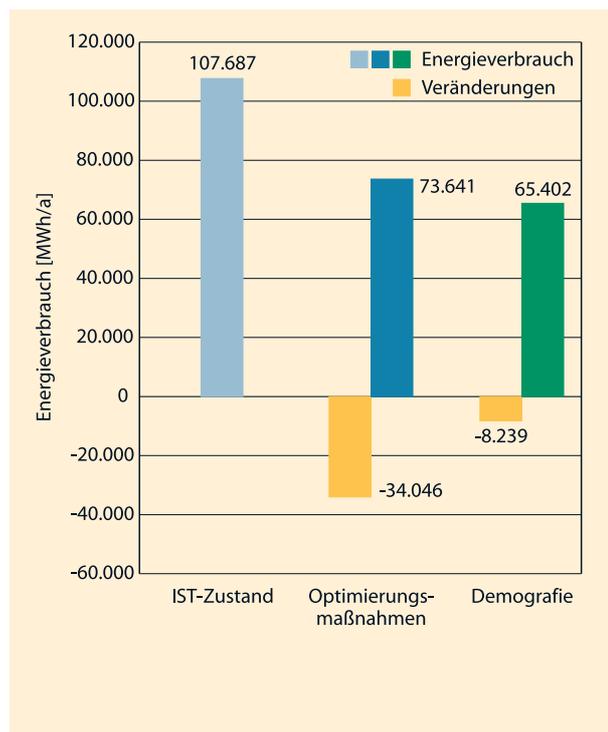
Im Rahmen dieses Projektes wird das Energieeinsparpotenzial auf den Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern aufgezeigt und es werden Maßnahmen vorgeschlagen, mit denen der Energieeinsatz auf Kläranlagen optimiert werden kann. Auf Basis der Ergebnisse von Energieanalysen, die an fünf repräsentativen Kläranlagen in den Ausbaugrößen von 2.000 EW bis 100.000 EW erfolgten, wurde das energetische Einsparpotenzial auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern abgeschätzt. Durch die Umsetzung energie sparender Maßnahmen könnte der Verbrauch im Vergleich zu rd. 108 GWh im Jahr 2008 um 32 % bzw. 34 GWh/a auf 74 GWh/a reduziert werden.

Es entfallen 13 % auf Sofortmaßnahmen, d.h. Maßnahmen die unmittelbar ohne größeren planerischen und finanziellen Aufwand umgesetzt werden können. Weitere 15 % können durch kurzfristige Maßnahmen realisiert werden, die zwar einen geringfügig längeren Realisierungshorizont aufweisen und Investitionen erfordern, jedoch insgesamt wirtschaftlich günstig durchführbar sind. Lediglich 4 % entfallen auf abhängige Maßnahmen, die erst bei Eintreten bestimmter Randbedingung, wie z.B. Erreichen der Nutzungsdauer einzelner Aggregate, wirtschaftlich umsetzbar sind. Das ermittelte Einsparpotenzial entspricht in etwa dem jährlichen

Energiebedarf von 10.000 4-Personen-Haushalten. Dieses verdeutlicht das mögliche Ausmaß des Energieeinsparpotenzials auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern.

Neben den Energieeinsparungen durch die beschriebenen betriebstechnischen und maschinentechnischen Maßnahmen wird der Energieeinsatz auf Kläranlagen zukünftig insbesondere durch den prognostizierten demografischen Bevölkerungsrückgang beeinflusst. Das hiermit verbundene reduzierte Abwasseraufkommen würde den Energieeinsatz bei der Abwasserreinigung senken. Allerdings sind einige Verbraucher auf den Kläranlagen, wie z.B. der Energieeinsatz für Betriebsgebäude oder die Umwälzung der Belebungsbecken, relativ unbeeinflusst von der Zulaufmenge des Abwassers, so dass sich die Reduzierung nur auf ungefähr 80 % des gesamten Energiebedarfs der Kläranlagen auswirkte. Bei einem Bevölkerungsrückgang von 13,5 % würde sich daher der Energieeinsatz auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern rechnerisch um rund 11 % bzw. 8 GWh/a verringern.

Bild 7.1: Veränderung des Energieeinsatzes auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern



Zusammenarbeit der Unternehmen

Für eine effektive landesweite Umsetzung von Einsparkonzepten ist bei der sehr unterschiedlichen Struktur der Unternehmen und der Regionen eine enge Kooperation über Gemeinde- und Verbandsgrenzen hinaus unverzichtbar. Die 27 größten Unternehmen des Landes, die sich in der Arbeitsgemeinschaft Mecklenburg-Vorpommerscher Wasserver- und Abwasserentsorger im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Landesgruppe Nord (bdew) dem Leistungsvergleich stellen, bewerten in diesem Zusammenhang regelmäßig auch den Energieeinsatz auf ihren Kläranlagen. Nach den Ergebnissen der letzten Staffel dieses Benchmarkings liegt der spezifische Energieverbrauch bei den Kläranlagen der beteiligten Unternehmen im Mittel bei 50 kWh/(E*a). Dies stimmt in der Größenordnung recht gut mit der Auswertung der KoRe-Daten und den Ergebnissen dieser Untersuchung überein.

Es wäre wünschenswert, wenn im Rahmen der künftigen Benchmarking-Projekte der Arbeitsgemeinschaft der Energieeinsatz noch detaillierter behandelt würde und die kleineren Unternehmen im Lande, die nicht Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft sind, beteiligt werden könnten.

Sicherheit in der Reststoffentsorgung

Bei der Abwasserbehandlung lässt sich der Anfall von Klärschlamm nicht vermeiden.

Die Klärschlamm Entsorgung wird künftig in dem Zusammenhang eine noch größere Rolle spielen als bisher. Die Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft, die hier in Mecklenburg-Vorpommern überwiegt, ist auf Dauer nicht sicher. Wenn dieser Entsorgungspfad eingeschränkt wird, müssen andere Lösungen der Verwertung und schließlich der Beseitigung gewählt werden. Da Klärschlamm auch ein Energieträger ist, empfiehlt es sich, das Potenzial so weit wie möglich und wirtschaftlich zunächst auf Kläranlagen auszunutzen. Dies kann zu einem beachtlichen Teil dadurch geschehen, dass der Klärschlamm anaerob behandelt, also ausgefault wird. Erst wenn sich dies als wirtschaftlich ungünstige Lösung erweist – z.B. weil Faul-

raum nicht oder nicht in der Nähe vorhanden ist oder geschaffen werden kann – muss die thermische Verwertung in Form der Verbrennung erwogen werden. Auf lange Sicht werden in Mecklenburg-Vorpommern rund 150.000 Einwohner ihr Abwasser dezentral aufbereiten und entsorgen müssen. Auch in diesem Bereich der dezentralen Abwasserbeseitigung steht Energiepotenzial im Abwasser und in den Fäkalschlämmen zur Verfügung. Die Abwasserunternehmen haben die Pflicht zur Beseitigung, insoweit allerdings auch das Recht des Zugriffes auf diese Energieträger und damit zur Nutzung.

Handlungsansätze

Für eine weiterführende Optimierung des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung können zusammenfassend folgende Handlungsansätze abgeleitet werden:

- die energetische Optimierung der vorhandenen Kläranlagen unter Berücksichtigung der derzeitigen Anlagenbelastung,
- die Integration von Schlammfäulungsanlagen und Eigenstromproduktion auf Kläranlagen der Größenklasse 4,
- die Planung von Verbundkonzepten zwischen Kläranlagen mit Schlammfäulung und solchen mit einer simultanen aeroben Stabilisierung sowie dezentralen Anlagen und
- die Erarbeitung von Konzepten für die Entsorgung der anfallenden Klärschlämme für den Fall von Einschränkungen bei der landwirtschaftlichen Verwertung.

Die Ergebnisse des Projektes sollen die Unternehmen als Betreiber der zentralen Abwasseranlagen in Mecklenburg-Vorpommern ermutigen, die Optimierung des Energieverbrauchs im eigenen Zuständigkeitsbereich aktiv und zeitnah anzugehen.

Als in der Regel größten kommunalen Stromverbrauchern und damit gleichzeitig größten Einzelproduzenten an klimawirksamen CO₂ kommt den Kläranlagen hierbei auch eine gesellschaftliche Vorbildfunktion zu.

8. Literatur

- ATV (1996): ATV-Handbuch Klärschlamm. Ernst & Sohn Verlag Berlin, 4. Auflage, ISBN 3-43-00909-0
- ATV (1999): Leitfaden: Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen. ATV Landesgruppe Baden-Württemberg
- ATV-DVWK (2000): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. ATV-DVWK-Fachauschüsse KA 5 und KA 6, Hennef
- ATV-DVWK (2003): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198, Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. Arbeitsgruppe der ATV-DVWK Hauptausschüsse ES und KA, Hennef
- Beier, S.; Pinnekamp, J.; Schröder, H.; Gebhardt, W.; Cramer, C.; Bieling, W.; Mauer, C.; Courth, F.; Weber, M.; Mielcke, J. und Selke, D. (2008): Untersuchungen zur separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser mit Membrantechnik und weitergehenden Verfahren. In: Schriftenreihe GWA, Band 211, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Bundesverband WindEnergie e.V. (2009): Daten zur Windkraftnutzung in Mecklenburg-Vorpommern. Quelle: <http://www.wind-energie.de>
- Cornel, P. (2007): Potenziale zur Betriebskosteneinsparung bei der Abwasserableitung und -behandlung. In: Schriftenreihe WAR, Band 176, Institut WAR TU Darmstadt, Darmstadt
- Deutscher Wetterdienst (2009): Daten zur Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern. Quelle: <http://www.dwd.de>
- DWA-BW (2008): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, Leitfaden für das Betriebspersonal. DWA Landesgruppe Baden-Württemberg, Heft 4, Stuttgart
- DWA-NO (2009): Barjenbruch, M.: Leistungsvergleich der Kläranlagennachbarschaften. DWA Landesgruppe Nord-Ost, Magdeburg
- Fahlenkamp, H.; Launer, M.; Nöthe, T.; Nowotny, N.; Jacker, A. und Ante, S. (2008): Gefährliche Spurenstoffe in kommunalem Abwasser: Effektive Entfernung mittels Aktivkohleadsorption und Ozonolyse. In: Schriftenreihe GWA, Band 211, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Grünebaum, T.; Höhle, A. und Hosemann, B. (2009): Stromeinkauf nach öffentlichem Vergaberecht – Ansätze zur marktorientierten Beschaffung. In: Schriftenreihe GWA, Band 217, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Henze, M.; Grady, C.P.L.; Gujer, W.; Marais, G.v.R. und Matsuo, T. (1986): Activated Sludge Model No. 1. IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, IAWPRC, London
- IFEU (2005): Fortschreibung „Daten- und Rechenmodell“: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030. Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH, Heidelberg
- Joss, A.; Escher, B.; von Gunten, U.; Krauss, M.; Hollender, J.; Koepke, S.; Ort, C.; Siegrist, H.; Zimmermann, S. und Koch, M. (2009): Großtechnische Erfahrungen mit der Ozonung von Kläranlagenabläufen – Projekt Regensdorf. In: Schriftenreihe GWA, Band 217, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Koenig, W.; Jagemann, P.; Hurch, R.; Nafu, I. und Frehmann, T. (2007): Organische Spurenstoffe – Ein zentrales Bewirtschaftungsthema. In: Schriftenreihe GWA, Band 207, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Kopplow, O.; Müller, J.; Oles, J.; Reipa, A.; Schmelz, K.-G. und Seiler, K. (2009): Energiebilanzierung der Desintegrationsverfahren. In: Tagungsband 6. DWA-Klärschlammtage, DWA, Hennef
- LAWA (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 7. Auflage, Berlin
- Lehrmann, F. (2009): Stand und Entwicklung der thermischen Klärschlamm Entsorgung in Deutschland. In: Tagungsband 6. DWA-Klärschlammtage, DWA, Hennef
- LU (2007): Land hat Zukunft – Mecklenburg-Vorpommern 2020. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
- LU/LMS (2009): Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in Mecklenburg-Vorpommern – Fachinformation der zuständigen Stelle für landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB). LMS Landwirtschaftsberatung LFB, Rostock

- LUNG (2009): Kommunale Abwasserbeseitigung in Mecklenburg-Vorpommern – Lagebericht 2009 –. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow
- MUFV RLP (2007): Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft, Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen. Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, Mainz
- Müller, E.A.; Thommen, R. und Stähli, P. (1994): Handbuch, Energie in ARA. Bundesamt für Energie, Bern
- Müller, E.A. (1999): Vorstellung des Handbuches, Energie in Kläranlagen. In: Schriftenreihe GWA, Band 172, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Müller, J.; Kopplow, O.; Oles, J.; Reipa, A.; Schmelz, K.-G. und Seiler, K. (2009): Energiebilanzierung der Desintegrationsverfahren. In: Tagungsband 6. DWA-Klärschlammstage, DWA, Hennef
- MUNLV NRW (1999): Handbuch, Energie in Kläranlagen. Ministerium für Umweltschutz, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- MUNLV NRW (2001): Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen. Ministerium für Umweltschutz, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Berichte zur Umwelt, Band 22, Düsseldorf
- MWAT (2007): Landestourismuskonzeption Mecklenburg-Vorpommern 2010. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
- Seibert-Erling, G. (2009): Einführung zum Energierecht. In: DWA-Seminar 4005/09 zum Energierecht in der Wasser- und Abfallwirtschaft, DWA, Hennef
- Schröder, M. und Schrenk, G. (2008): Ergebnisse des DWA / DBU-Projektes, Energiepotentiale der deutschen Wasserwirtschaft. In: Schriftenreihe GWA, Band 217, ISA RWTH Aachen, Aachen
- Stein, A. (1992): Ein Beitrag zur Bemessung belüfteter Sandfänge kommunaler Kläranlagen. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 37, München
- UBA (2006): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Umweltbundesamt, Dessau
- UBA (2008): Daten zur Klärschlamm entsorgung in Deutschland. Quelle: <http://www.umweltbundesamt.de>
- UM (2005): Kostenrechnungsprogramm KoRe. Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin
- VIK (2009): Daten zur Energiewirtschaft. Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Quelle: <http://www.vik-online.de>
- VM (2009): Datenmitteilung. Ministerium für Verkehr, Bau und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin (unveröffentlicht)
- Wagner, M. und Loock, P. (2006): Betriebskostensenkung durch Optimierung von Belüftungseinrichtungen. In: Schriftenreihe WAR, Band 176, Institut WAR TU Darmstadt, Darmstadt

9. Anhang

Energienmatrix einwohnerspez. Energiever- brauch in kWh/(E*a)	Stralsund		Parchim		Boltenhagen		Franzburg		Bobitz	
	IST- Zustand	Ideal- Wert								
Abwasserbehandlung										
Einlauf- und Zwischenhebewerk	1,83	0,42					2,27	3,21		
Rechen	0,09	0,09	0,33	0,1	0,1	0,2	2,25	1,71	0,2	0,3
Sandfang	1,85	0,49	0,94	0,8	0,02	1,1			2	2,1
Vorklärung	0,07	0,10	0,31	0,2						
Misch- und Ausgleichsbecken					3,8	k.A.	3,16	k.A.	1	k.A.
Biologische Stufe	15,71	15,96	22,72	19,0	30,60	24,00	65,19	31,31	29,1	31,3
Nachklärung	0,77	0,15	1,92	0,1	3	0,5			2,3	0,9
Fällmitteldosierung	0,01	0,04	0,27	0,3						
Schlammbehandlung										
Voreindickung	3,52	1,53	0,41	1,0	1,1	1,4	0,03	1,93	2,6	2,7
Anaerobe Stabilisierung	1,40	1,10	2,86	1,5						
Entwässerung	1,84	0,73	2,18	0,9						
Gasbehälter			0,55	k.A.						
Fäkalschlammannahme	0,02	k.A.								
Infrastruktur										
Betriebsgebäude	0,18*	0,18	2,18***	1,80***	1,30***	3,00***	0,13	0,60	8,90***	0,90***
Heizung	0,37*	0,37					3,51**	k.A.**		
Betriebswasserpumpe	0,26*	0,26	1,18	0,3						
Abluftreinigung	2,39	0,58								
Sonstige Verbraucher							0,80	1,50	1,7	2,1
Verwaltung & Wohnhaus	0,24*	k.A.								
Endverbrauch berechnet	30,6	22,0	35,9	25,9	39,9	30,2	73,8	40,3	47,8	40,3
Endverbrauch gemessen	29,4		35,7		42,7		72,4		-	
Belebung										
Umwälzenergie	1,4	1,8	5,5	2,7	9,2	2,6	35,7	3,4	5,8	3,4
Rezirkulation	0,6	0,3	3,3	0,6	2,7	0,5				
Rücklaufschlamm	1,1	0,1	1,2	0,8	1,8	0,6	3,0	0,8	3,9	0,8
Belüftung	12,2	13,8	12,8	14,9	16,9	20,3	26,5	27,1	19,4	27,1
Messtechnik	0,4	k.A.								
Belebung gesamt	15,7	16,0	22,7	19,0	30,6	24,0	65,2	31,3	29,1	31,3

* keine Messung durchgeführt, Idealwert des Energiehandbuches angesetzt oder Verbrauch abgeschätzt

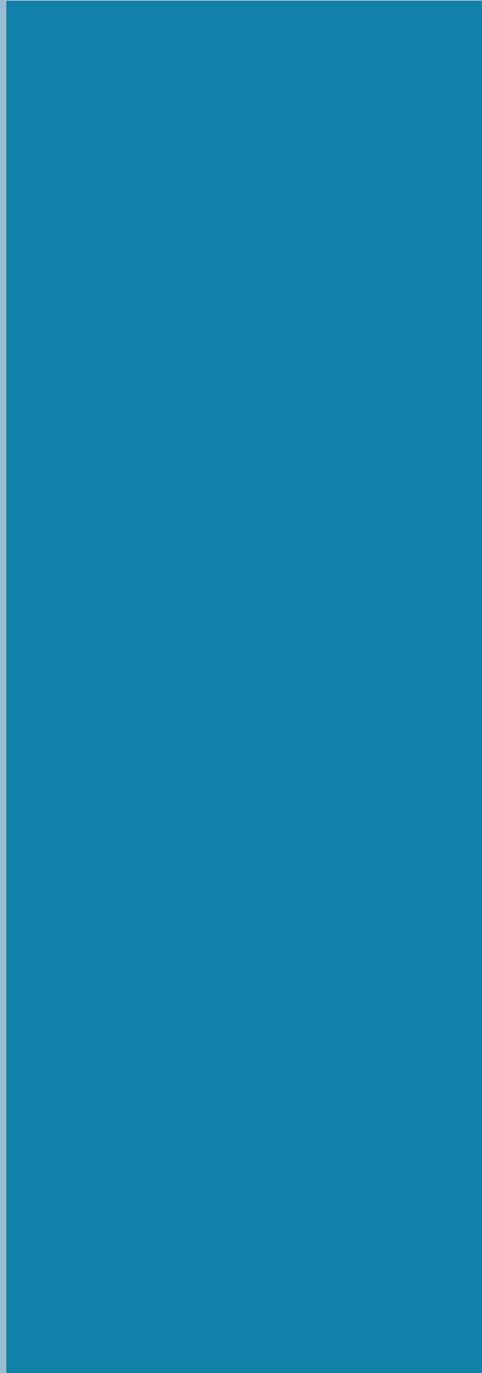
** Elektrizitätsverbrauch für elektrische Heizung nicht für spezifischen Endenergieverbrauch berücksichtigt, da Modellanlage keine Elektroheizungen einschließt

*** ges. Infrastruktur abzüglich separat aufgeführte Verbraucher

Kennzahlenvergleich der Referenzanlagen		IST- Zustand	nach Realisierung der Maßnahmen			Richtwert	Idealwert
			S	S+K	S+K+A		
Stralsund							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	29*	28	23	23	29	22
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	16*	15	14	14	21	16
ges. Faulgasnutzung	%	99*	99	99	99	98	99
Faulgasumwandlung in Elektrizität	%	29*	29	29	38	30	31
spez. Faulgasproduktion	l/(kg oTR)	450*	450	450	450	450	475
Eigenversorgungsgrad Wärme	%	100*	100	100	100	97	98
Eigenversorgungsgrad Elektrizität	%	53*	56	68	89	58	78
Parchim							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	36	31	28	24	34	26
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	23	19	16	12	25	19
ges. Faulgasnutzung	%	100	100	100	100	98	99
Faulgasumwandlung in Elektrizität	%	29	29	29	29	30	31
spez. Faulgasproduktion	l/(kg oTR)	356	356	356	356	450	475
Eigenversorgungsgrad Wärme	%	100	100	100	100	97	98
Eigenversorgungsgrad Elektrizität	%	48	60	69	86	55	72
Boltenhagen im Jahresmittel							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	43	39	24	23	28**	23**
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	34	31	19	17	24**	19**
Boltenhagen Tourismussaison							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	33				35	30
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	29				29	24
Boltenhagen Nebensaison							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	45				35	30
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	37				29	24
Franzburg							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	74	61	41	39	53	40
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	65	51	31	29	40	31
Bobitz							
ges. spez. Elektrizitätsverbrauch	kWh/(E*a)	47	42	42	38	53	40
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	kWh/(E*a)	29	25	25	24	40	31

* angepasster Ist-Zustand bei ganzjährigem Betrieb beider Faultürme

** Richt- und Idealwert für nährstoffeliminierende Anlage



**Mecklenburg
Vorpommern**



Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Verbraucherschutz