

Bundesamt für Umwelt BAFU



Energieeffizienz und Energieproduktion auf ARA

Baden, November 2012

Rev. 3

Im Auftrag des
Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
3003 Bern

Impressum

Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wasser, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer:

HOLINGER AG INGENIEURUNTERNEHMUNG

Mellingerstrasse 207, CH-5405 Baden

Telefon +41 (0)56 484 85 00, Fax +41 (0)56 484 85 45

baden@holinger.com

Autor/Autorin:

Elija Kind

Gian Andri Levy

Begleitung BAFU:

Michael Schärer

Hinweis:

Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Freigabe BAFU:

Version	Datum	Dateiname	Sachbearbeitung	Freigabe	Verteiler
0.1	03.11.2011	D4355_BAFU_Energie	Elija Kind	Gian Andri Levy	
0.2	29.05.2012	D4355_BAFU_Energie_REV2	Elija Kind	Gian Andri Levy	
0.3	27.11.2012	D4355_BAFU_Energie_REV3	Elija Kind	Gian Andri Levy	

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 AUFTRAG UND AUSGANGSLAGE	3
1.1 Ausgangslage	3
1.2 Projektumfang und Ziele	3
2 POTENTIALABSCHÄTZUNG	4
2.1 IST-Situation	4
2.1.1 Anzahl Anlagen und Ausbaugrösse	4
2.1.2 Daten aus Umfrage Kantone	5
2.1.3 Potentialabschätzungen aus Umfrage Kantone	14
2.2 Analyse Messungen aus Benchmarking-Umfrage	19
2.3 Gesamtes Energiepotenzial	21
3 HEUTIGE SITUATION, TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN	23
3.1 Praxisbeispiele	24
3.1.1 ARA Meilen: Wärmerückgewinnung aus Prozessen	24
3.1.2 ARA Werdhölzli: Faulwasserentstickung	25
3.1.3 ARA Schwyz (und ARA Engelberg): Abwasserturbinierung	27
3.1.4 Wärmeverbund Neuhausen: ARA-externe Klärgasnutzung	27
3.1.5 ARA Werdhölzli: Abwasserwärmenutzung nach ARA	28
3.1.6 Solaranlage	29
3.1.7 Optimierung Energiebilanz bei Schlamm Entsorgung im Zementwerk	30
3.2 Weitere Möglichkeiten	32
3.2.1 Optimierung der Schlammfäulung	32
3.2.2 Steigerung der Abscheideleistung der Vorklärung	34
3.2.3 Co-Vergärung	34
3.2.4 Erweiterung der Systemgrenzen	35
3.2.5 Photovoltaik	35
3.3 Zukunftstechnologien	36
3.3.1 Hydrothermale Karbonisierung	36
3.3.2 Brennstoffzellen für Biogas	36
3.4 Smart Grid	37
3.4.1 Definition	37
3.4.2 Potential der ARA für Smart Grid	38
4 MÖGLICHE POLITISCHE HANDLUNGSOPTIONEN	38
4.1 Instrumente für Kläranlagen	38

4.2	Regulative Instrumente	39
4.3	Finanzielle Instrumente	44
4.4	Persuasive Instrumente	46
4.5	Strukturierende Instrumente	50
4.6	Handlungsoptionen im Überblick und Empfehlung	52
5	LITERATURVERZEICHNIS	54

Zusammenfassung

Rund 839 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) reinigen in der Schweiz das Abwasser aus den Haushalten und der Industrie von insgesamt 11.2 Mio. Einwohnerwerten. Für die Entfernung der Schmutzstoffe wird zum einen Energie für die Reinigungsprozesse benötigt, zum anderen kann aber Energie aus der Verwertung des anfallenden Klärschlammes gewonnen werden.

Auf der Basis einer Umfrage unter den Schweizer Kantonen untersucht diese Studie, wie gross das Potential ist, welches durch eine Steigerung der Energieeffizienz und Energieproduktion auf Kläranlagen erreicht werden kann.

Steigerung Energieeffizienz

Im Mittel benötigt die Reinigung eines Einwohnerwertes (CSB) 39 kWh/a an elektrischer Energie, was einer Leistungsaufnahme von 4.5 W/EW, bzw. pro angeschlossenen Einwohner 6.7 W/E entspricht. Davon wird durchschnittlich 16 kWh/a für die biologische Reinigung benötigt. Nimmt man an, dass alle ARA den Richtwert gemäss Leitfaden „Energie in ARA“ [1] ihrer Grössenklasse erreichen können, so kann aus der Umfrage schweizweit ein Einsparpotenzial an elektrischem Strom von knapp 100 GWh/a abgeschätzt werden. Dies entspricht über einem Fünftel des heutigen Stromverbrauchs der Abwasserreinigung.

Steigerung Energieproduktion

Ein Grossteil der ARA faulen den Klärschlamm aus und nutzen das gewonnene Biogas zur Stromerzeugung und/oder Heizung. Der Eigenbedarf an Wärme kann auf einer modernen Kläranlage vollständig mit der Abwärme aus der Stromerzeugung gedeckt werden. Nimmt man an, dass sämtlicher Klärschlamm ausgefault und das anfallende Biogas ausschliesslich und effizient zur Stromerzeugung verwendet wird, so beträgt die Mehrproduktion knapp 110 GWh/a. Dadurch liesse sich die Energieproduktion fast verdoppeln.

Gesamtes Potenzial

Aufgrund der Daten kann mit einer Hochrechnung der heutige Stromverbrauch aller Schweizer ARA auf rund 450 GWh/a geschätzt werden. Unter Berücksichtigung des Optimierungspotentials und einer zusätzlichen Stufe zur Verringerung von Mikroverunreinigungen kann der Fremdstrombezug theoretisch um rund 40 % gesenkt werden.

Tabelle 1:
Gesamtes Potenzial
Elektrizität

	Ist ¹⁾	Potential	Mikroverun- reinigungen ²⁾	Soll / Zukunft
	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Verbrauch	448	- 97	+ 60	411 (- 8 %)
Produktion	116	+ 107		223 (+ 92 %)
Fremdstrombezug	332	- 204	+ 60	188 (- 43 %)

¹⁾ ohne Hebewerk

²⁾ Anteil O₃ und PAK je 50 %, inkl. Filtration

Praxisbeispiele Praxisbeispiele zeigen, dass mit innovativen Ideen und Konzepten Energie eingespart werden kann. Zudem wird erkennbar, dass die Energiebilanz einer ARA zusätzlich optimiert werden kann, wenn die ARA im Kontext mit der Umgebung gesehen wird. So können überregionale Schlammkonzepte, Wärmeverbunde mit industriellen Wärmeabnehmern/-lieferanten, eine koordinierte Biogasverwertung, eine Co-Substrat-Annahme und viele weitere grossräumige Konzepte die energetische Situation der Anlagen verbessern.

Ein weiteres Optimierungspotential ist vorhanden, indem nicht nur die Produktion oder der Verbrauch an Energie mengenmässig betrachtet wird, sondern auch der zeitliche Verlauf der Prozesse. Eine gezielte Verschiebung der Elektrizitätsproduktion bzw. des Verbrauchs kann Lastspitzen glätten und auch einen stabilisierenden Einfluss auf das Stromnetz haben.

Politische Instrumente Es stellt sich anschliessend die Frage, welche politischen Instrumente möglich und notwendig sind, um die Energieeffizienz und Energieproduktion auf ARA zu fördern. Es werden dazu regulative, finanzielle, persuasive und strukturierende Instrumente zur Diskussion vorgestellt. Hinsichtlich der Wirkung, Kosten und Umsetzbarkeit können folgende Massnahmen priorisiert werden:

- Präzisierung der gesetzlichen Vorgaben zum fachgerechten Betrieb mit Energieoptimierung (GSchV)
- Grossverbrauchermodell
- Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)
- Aus- und Weiterbildung
- Benchmarking

Die meisten Massnahmen basieren auf einem Vergleich von gemessenen Daten einer ARA zu Richtwerten oder zu Messungen von anderen ARA. Damit die Vergleichbarkeit auch gegeben ist, müssen die Messungen standardisiert und entsprechende Richtlinien erarbeitet werden.

1 AUFTRAG UND AUSGANGSLAGE

1.1 Ausgangslage

Durch die aktuellen Ereignisse erlangt die Diskussion um die Energieeffizienz hohe Aktualität. Politisch wie wirtschaftlich gewinnt der Energiekonsum unserer Infrastrukturanlagen zunehmend an Bedeutung.

Abwasserreinigungsanlagen (ARA) üben mit der Reinigung des Abwassers und dem damit verbundenen Schutz unserer Gewässer eine zentral wichtige Aufgabe aus. Für die Erfüllung dieser Aufgabe wird Energie benötigt. In der Mitteilung zum Vollzug der Bestimmungen der Artikel 13 bis 17 der Gewässerschutzverordnung ist festgehalten, dass der Betrieb aus ökologischen wie ökonomischen Gründen optimiert werden muss: „Die Möglichkeiten zur Verminderung der abzuleitenden Schmutzstofffracht sind, soweit verhältnismässig, zu nutzen und der Energieverbrauch ist zu optimieren“ [0].

Was zum heutigen Zeitpunkt in der Schweiz unter einem energetisch optimierten Betrieb verstanden wird, ist im Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen „Energie in ARA“ [1] definiert (im Folgenden ‚Leitfaden‘ genannt). Es fehlt jedoch ein gesamthafter Überblick, inwiefern die ARA in der Praxis die verlangte Energieoptimierung bisher umgesetzt haben bzw. in Zukunft umsetzen können und mit welchen Massnahmen die Rahmenbedingungen für eine möglichst umfassende Umsetzung der Energiepotenziale verbessert werden sollen. Das BAFU hat zu diesem Zweck diese Studie zur „Energieeffizienz und Energieproduktion auf ARA“ in Auftrag gegeben.

1.2 Projektumfang und Ziele

Ziel der Studie ist es, die energetische Situation auf den Abwasserreinigungsanlagen (Systemgrenze = ARA Zaun) darzustellen und das Optimierungspotential an Energie insgesamt aufzuzeigen. Energiepotenziale der Abwasserentsorgung ausserhalb der ARA werden hier nur punktuell angetönt und sind noch weiter zu untersuchen (z.B. Energieaufwendungen für Chemikalien und Betriebsstoffe, die auf der ARA eingesetzt werden).

Für die gestellte Aufgabe werden die ARA hinsichtlich ihres Verbrauches an Elektrizität und Primärenergie sowie der Produktion von Elektrizität, Wärme und Energieträger (Biogas) untersucht. Als Datengrundlage dient eine Umfrage unter den Kantonen, welche im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurde. Die Datenanalyse gibt Aufschluss über mögliche Energiepotenziale im Bereich Effizienz und Produktion. Bei der Produktion handelt es sich mehrheitlich um erneuerbare Energie aus Biogas.

Anhand von Praxisbeispielen wird anschliessend aufgezeigt, wie Anlagenbetreiber spezielle energetische Massnahmen bereits umgesetzt haben.

Aus der Untersuchung werden in der Folge Handlungsoptionen und Empfehlungen für Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Energieproduktion abgeleitet.

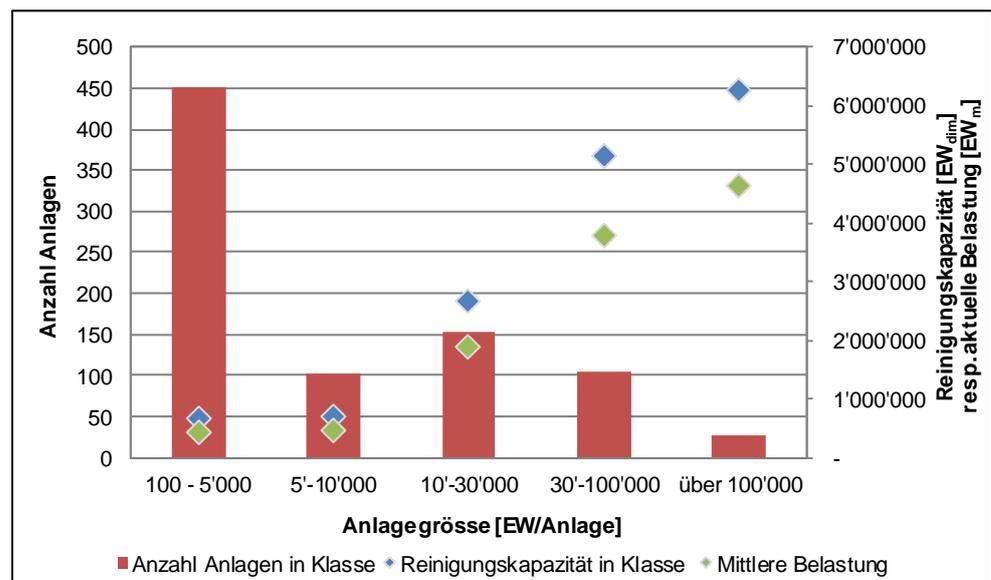
2 POTENTIALABSCHÄTZUNG

2.1 IST-Situation

2.1.1 Anzahl Anlagen und Ausbaugrösse

Gemäss der Studie „Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung“ der Fachorganisation Kommunale Infrastruktur (KI) und des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) sind in der Schweiz Ende Jahr 2009 total 839 zentrale ARA grösser 100 Einwohnerwerte¹ in Betrieb [3] (siehe auch Adressliste der Schweizer Kläranlagen des BAFU [4]). Tendenziell nimmt die Anzahl an Anlagen ab, da kleinere ARA vermehrt mit anderen ARA zusammengeschlossen werden. Insgesamt beläuft sich die Reinigungskapazität aller Anlagen in der Schweiz auf 15.5 Mio. EW_{dim} (CSB). In folgender Darstellung sind die ARA gemäss Energiehandbuch in fünf Grössenklassen eingeteilt. Es wird pro Klasse die Anzahl Anlagen und Belastung sowie deren Reinigungskapazität aufgezeigt.

Abbildung 1:
Anzahl Anlagen pro Grössenklasse und pro Kategorie kumulierte Belastung sowie Reinigungskapazität – basierend auf [3], [4]



¹EW = E + EGW: Einwohnerwert (EW) = natürliche Einwohner (E) + Einwohnergleichwerte aus Industrie und Gewerbe (EGW) gemäss Definition des Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA).

Aus Abbildung 1 geht hervor, dass fast die Hälfte des Abwassers von wenigen Grossanlagen (26 Stück) gereinigt wird. Die Kleinanlagen (Ausbaugrösse <5'000 EW) machen zwar die grösste Fraktion bezüglich Anzahl Anlagen aus, reinigen jedoch insgesamt weniger als 5 % der Schmutzfracht (Tabelle 2).

Die mittlere Belastung wird in sog. ‚Mittleren Einwohnerwerten‘ ausgedrückt. Diese aus der mittleren CSB-Belastung berechneten Einwohnerwerte (EW_m) werden im Leitfaden zur Spezifizierung von Kennzahlen verwendet².

Tabelle 2:
Reinigungskapazität
und mittl. Belastung
pro Grösseklasse

Grösseklasse	Anlagen in Klasse	Reinigungskapazität	Mittlere Belastung
	n	Mio. EW_{dim}	Mio. EW_m
100 - 5'000	452	0.67	0.42
5'-10'000	103	0.71	0.48
10'-30'000	154	2.67	1.87
30'-100'000	104	5.15	3.78
über 100'000	26	6.28	4.64
alle Kategorien	839	15.48	11.19

2.1.2 Daten aus Umfrage Kantone

Zur Ermittlung der energetischen Kennzahlen wurde eine Umfrage an alle Kantone geschickt, bei welcher energierelevante Zahlen der ARA abgefragt wurden (siehe Anhang A 1). Die Rücklaufquote kann als gut bezeichnet werden. Insgesamt wurden Angaben zu 558 Anlagen retourniert (8.6 Mio. Einwohnerwerte). Der Ausfüllgrad der Umfrage ist jedoch unterschiedlich ausgefallen. Vielfach wird angegeben, dass einige der abgefragten Daten nicht mit vernünftigem Aufwand beschafft werden konnten. Auch ist die Datenqualität teilweise nicht gewährleistet. Werte, welche offensichtlich unrealistisch sind, werden bei der Auswertung aussortiert. Es ist aber im Rahmen der Studie nicht möglich, für sämtliche Werte die Plausibilität zu überprüfen.

Aus den Daten können die energetischen Kennzahlen gemäss dem Leitfaden "Energie in ARA" 2008/2010 von VSA und EnergieSchweiz [1] errechnet werden. Die erhobenen Kennzahlen der einzelnen Anlagen beinhalten keine Aussagen über die installierte Verfahrenstechnik oder die geforderten Einleitbedingungen der einzelnen Kläranlagen.

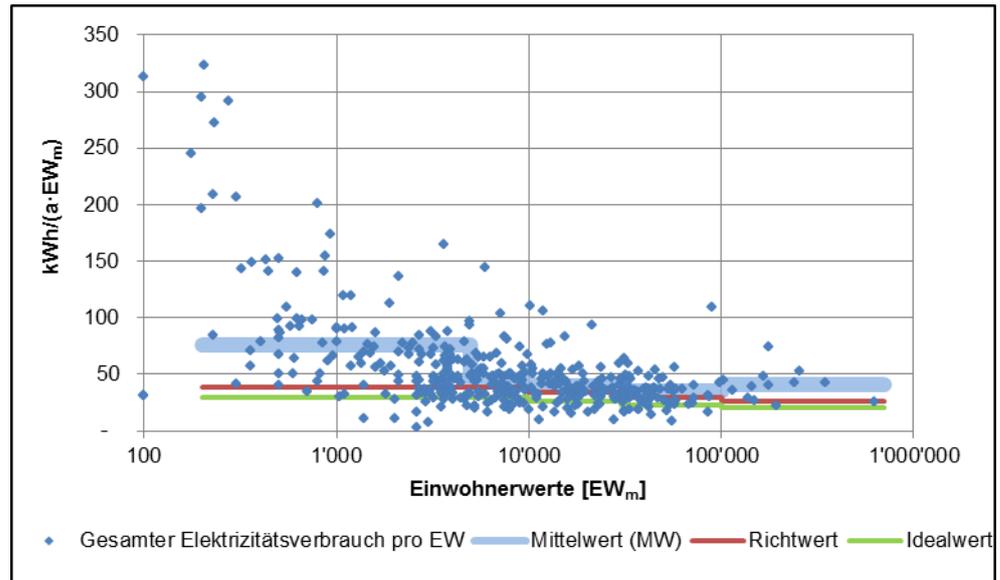
² Basis: 120 g CSB pro EW und Tag

2.1.2.1 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch gesamte Kläranlage (e_{ges})

Der Wert drückt aus, wie viel Strom die ARA insgesamt pro Einwohnerwert (EW_m) durchschnittlich verbraucht. Es handelt sich dabei um den Gesamtstromverbrauch ohne Abzug der Eigenproduktion.

In Abbildung 2 sind die Werte vom gesamten spezifischen Stromverbrauch der Anlage e_{ges} gegen die jeweilige Anlagegrösse aufgetragen. Zudem sind in der Grafik der Mittelwert der Daten der erfassten ARA, sowie die Richt- und Idealwerte gemäss Leitfaden pro Grössenklasse eingezeichnet.

Abbildung 2:
Spezifischer totaler
Elektrizitätsverbrauch in
Abhängigkeit der
Anlagegrösse
(Auswertung Daten 2009)



Aus Abbildung 2 geht hervor, dass der spezifische Energieverbrauch pro EW_m bei kleinen Anlagen deutlich höher ist als bei grösseren Anlagen. Ab einer gewissen Ausbaugrösse (ca. 10'000 EW_m) sind grobe Überschreitungen seltener und die Streuung der Anlagen in ihrer Energieeffizienz wird kleiner. Bei den Anlagen ab 100'000 EW_m nimmt der spezifische Verbrauch im Mittel zu. Ursache dafür können unter anderem zusätzliche Prozesse, wie z.B. Filtrationen und Schlamm-trocknung sein, welche bei den Referenzwerten nicht berücksichtigt werden.

Der gewichtete Durchschnitt des Energieverbrauchs pro Einwohnerwert (EW_m) beträgt **39 kWh pro Jahr**³. Dies entspricht einer elektrischen Leistung von 4.5 W/EW, bzw. pro angeschlossenen Einwohner⁴ 6.7 W/E.

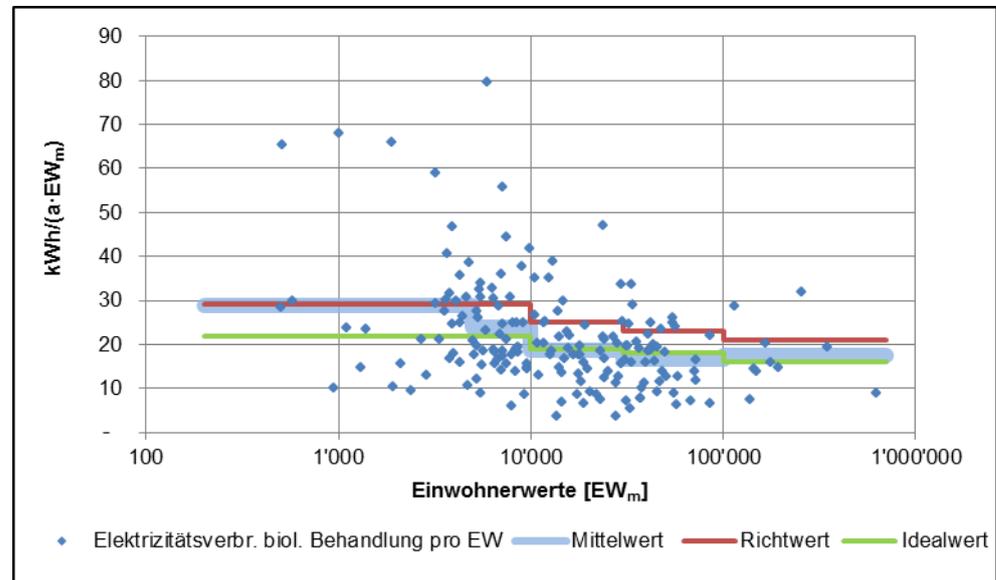
³ Berechnung: Summe des Elektrizitätsverbrauchs aller Anlagen dividiert durch die Summe der Einwohnerwerte der berücksichtigten Anlagen.

⁴ Angeschlossene Einwohner bei einem Anschlussgrad von 96.7 % = 7.5 Mio. E [3]

2.1.2.2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch biologische Behandlung (e_{BB})

Der Wert drückt aus, wie viel Strom die ARA durchschnittlich für die biologische Reinigungsstufe zur Behandlung der Schmutzfracht pro Einwohnerwert (EW_m) verbraucht.

Abbildung 3:
Spezifischer
Elektrizitätsverbrauch der
Biologie in Abhängigkeit der
Anlagegrösse
(Auswertung Daten 2009).



Der Richtwert kann im Mittel von den erfassten ARA eingehalten werden. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch der Biologie nimmt tendenziell mit steigender Anlagegrösse ab. Dies wird darauf zurückgeführt, dass grosse Anlagen technisch sowie finanziell mehr Möglichkeiten zur Realisierung und zum Betrieb effizienterer Belüftungssysteme (z.B. FU-Steuerung oder Intervallsteuerung) haben. Zudem ist die Amortisierungsdauer für die Anpassung der Steuerung oder den Kauf effizienterer Aggregate bei solchen Anlagen kürzer. Auffällig ist auch, dass die Daten für kleinere Anlagen zum grossen Teil nicht vorhanden sind.

Der gewichtete Durchschnitt des Energieverbrauchs pro Einwohnerwert (EW_m) für die biologische Behandlung beträgt **16 kWh** pro Jahr⁵ bzw. 40 % der Gesamtanlage.

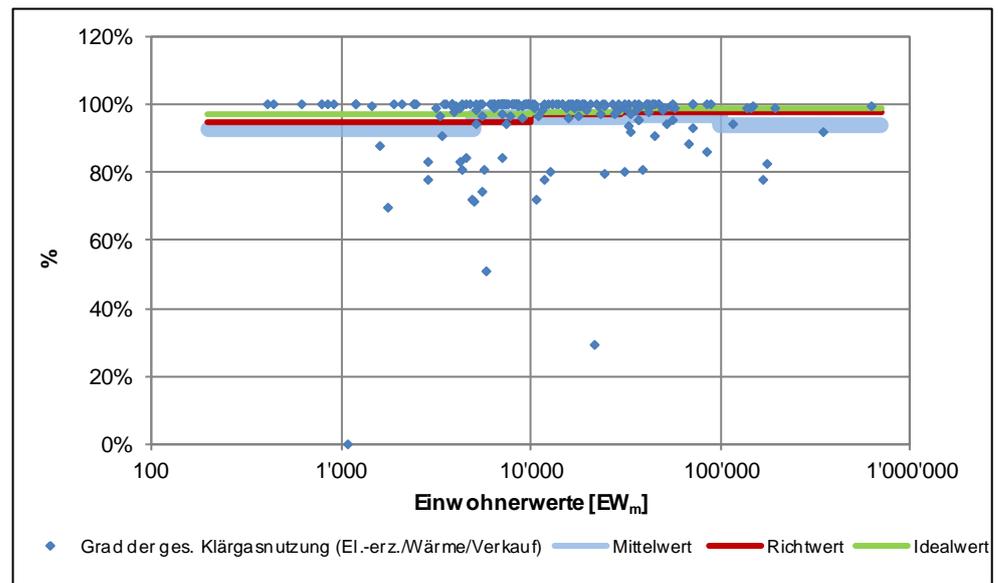
⁵ Berechnung: Summe des Elektrizitätsverbrauchs für die biologische Stufe aller Anlagen dividiert durch die Summe der Einwohnerwerte der berücksichtigten Anlagen.

2.1.2.3 Spezifischer Grad der Klärgasnutzung (N_1)

Dieser Wert drückt aus, welcher Anteil des produzierten Biogases für die Erzeugung von Strom und/oder Wärme auf der ARA intern oder extern (durch Verkauf) genutzt wird. Der ungenutzte Teil entspricht der Abfackelung.

$$N_1 = \frac{\text{Verstromtes Gas} + \text{Gas für Heizung} + \text{Verkauf}}{\text{Gesamte Gasproduktion}}$$

Abbildung 4:
Grad der Klärgasnutzung für die Elektrizitätserzeugung, Wärmeproduktion oder Verkauf in Abhängigkeit der Anlagegrösse (Auswertung Daten 2009)



Das Klärgas wird auf den Anlagen weitgehend genutzt. Es wurde nur bei einer kleineren Anlage angegeben, dass das Klärgas vollständig abgefackelt wird. Bei sieben Anlagen, welche die Richtwerte deutlich unterschreiten, handelt es sich um Anlagen, welche das Gas ausschliesslich für die Wärmeproduktion einsetzen und wahrscheinlich im Sommer einen Wärmeüberschuss besitzen (Abfackelung). Interessant dabei ist, dass die genannten sieben ARA gleichzeitig einen gewissen Heizölverbrauch aufweisen, was auf ein Wärmedefizit im Winter hindeutet. Weiter fällt auf, dass selbst bei einigen grossen Anlagen ein bedeutender Anteil nicht genutzt wird. Die bei grösseren Anlagen abgefackelte Jahresmenge an Biogas übersteigt teilweise deutlich die Gasmenge, welche bei einigen kleinen Anlagen insgesamt überhaupt theoretisch zur Verstromung zur Verfügung steht.

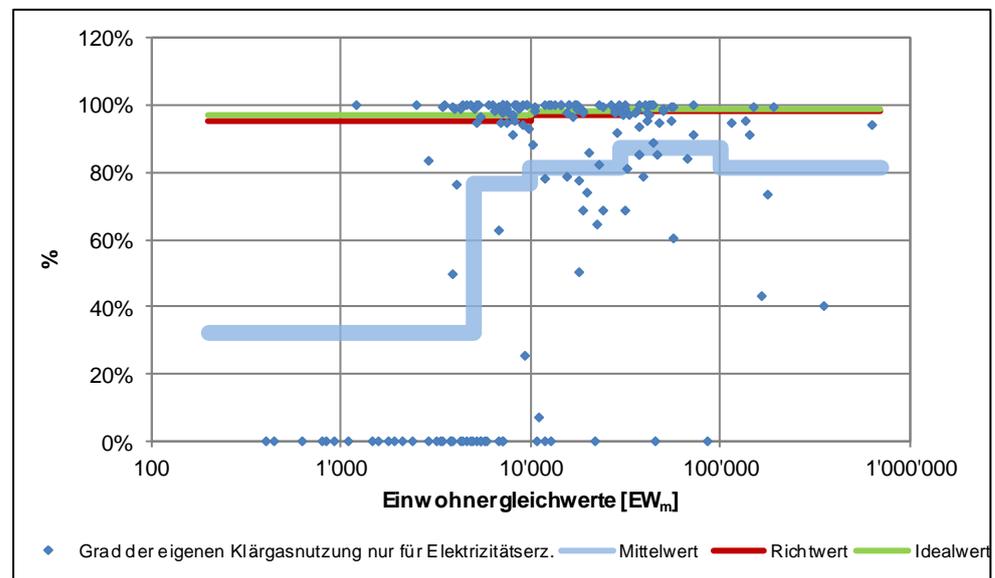
2.1.2.4 Anteil Klärgasnutzung nur für die Elektrizitätserzeugung

Die Nutzung des Gases zur Produktion der höherwertigen Energieform Strom wird vom energetischen Standpunkt aus betrachtet der alleinigen Wärmeproduktion bevorzugt. Zudem kann bei der Stromproduktion die anfallende Abwärme zum grossen Teil auch genutzt und dadurch der Wärmebedarf grundsätzlich abgedeckt werden.

Der nachfolgend aufgezeigte Wert stellt den Anteil des intern genutzten Gases dar (ohne Verkauf), welcher für die Stromproduktion verwertet wird. Als Richt- und Idealwerte werden dieselben wie für N_1 (spezifischer Grad der Klärgasnutzung) verwendet.

$$\frac{\text{Verstromtes Gas}}{\text{Gesamte Gasproduktion} - \text{Verkauf}}$$

Abbildung 5:
Grad der eigenen
Klärgasnutzung für die
Elektrizitätserzeugung in
Abhängigkeit der
Anlagegrösse
(Auswertung Daten 2009).



Die meisten Anlagen mit einer Faulung⁶ nutzen das Klärgas zu mehr als 95 % für die Elektrizitätserzeugung. Bei rund zwei Dritteln der Anlagen kleiner als 5'000 EW_m wird jedoch das Gas nicht zur Stromproduktion verwendet, sondern ausschliesslich verheizt. Ausser ein paar wenigen Ausnahmen besitzen praktisch alle Kläranlagen über 10'000 EW ein Aggregat zur Stromerzeugung.

⁶ Anlagen ohne Faulung haben keine eigene Gasproduktion und werden folglich weder dargestellt noch in die Mittelwertberechnung einbezogen.

2.1.2.5 Grad der Klärgasumwandlung in Kraft/Elektrizität (N_2)

Der Wert drückt aus, welcher Anteil des Energieinhaltes des intern genutzten Gases (ohne Verkauf) als Energie in Form von hochwertigem Strom erzeugt und intern auf ARA oder extern (durch Einspeisung ins Stromnetz) genutzt wird. Zur Umrechnung von der Gasmenge zu dessen Energieinhalt, wird ein Methangehalt von 63 % angenommen⁷.

$$N_2 = \frac{\text{Stromproduktion}}{(\text{Gesamte Gasproduktion} - \text{Verkauf}) \times \text{Energieinhalt Gas}}$$

Abbildung 6:
Grad der Klärgasumwandlung in Elektrizität in Abhängigkeit der Anlagegrösse (Auswertung Daten 2009).

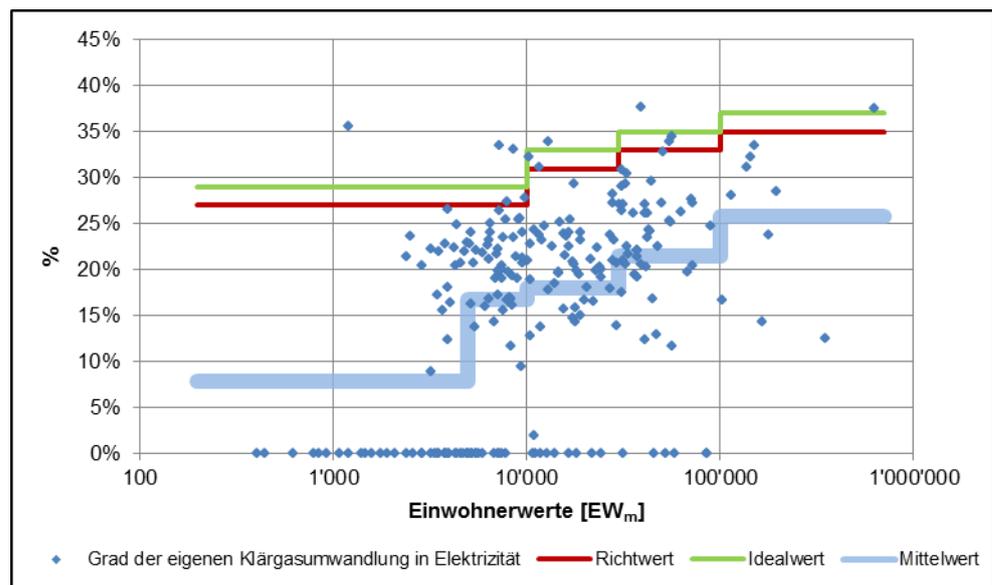


Abbildung 6 zeigt auf, dass der Grad der Energiemenge, welche in Form von Biogas auf der Anlage gewonnen wird, gemäss Daten nur unbefriedigend in Strom umgewandelt wird. Hier spielt einerseits eine Rolle, wieviel Gas überhaupt verstromt wird und andererseits wie effizient die Umwandlung des verstromten Gas in Elektrizität erfolgt (Wirkungsgrad, siehe nächstes Kapitel). Die Potenziale liegen also darin, dass die Klärgasmenge noch gesteigert, das gesamte Klärgas verstromt und die elektrischen Wirkungsgrade der Aggregate verbessert werden.

Für N_2 sind mehr Datenpunkte vorhanden als für N_1 , da bei vielen Datensätzen die totale Gas- sowie Stromproduktion, nicht aber die Aufteilung der Gasproduktion in die Nutzungsarten vorhanden ist.

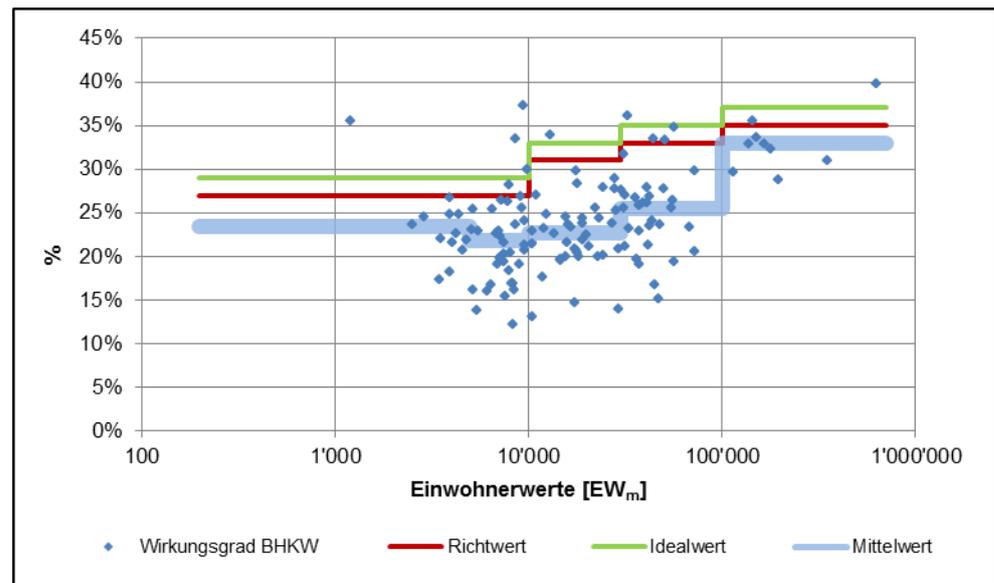
⁷ Methangehalt Gas = 63 %, Heizwert H_u Erdgas = 10 kWh/Nm³

2.1.2.6 Wirkungsgrad Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (WKK)

Mit Hilfe der Gasmenge, welche für die Stromproduktion verwendet wird und der daraus produzierten Strommenge, kann der Wirkungsgrad der WKK-Anlage (meist BHKW) berechnet werden.

$$\frac{\text{Stromproduktion}}{\text{Verstromtes Gas} \times \text{Energieinhalt Gas}}$$

Abbildung 7:
Wirkungsgrad der WKK-
Anlage in Abhängigkeit der
Anlagegrösse
(Auswertung Daten 2009).



Die Anlagen liegen in den meisten Fällen und zum grossen Teil beträchtlich unter dem Richtwert. Die Abweichungen sind wesentlich. Als Gründe kann unter anderem Folgendes vermutet werden:

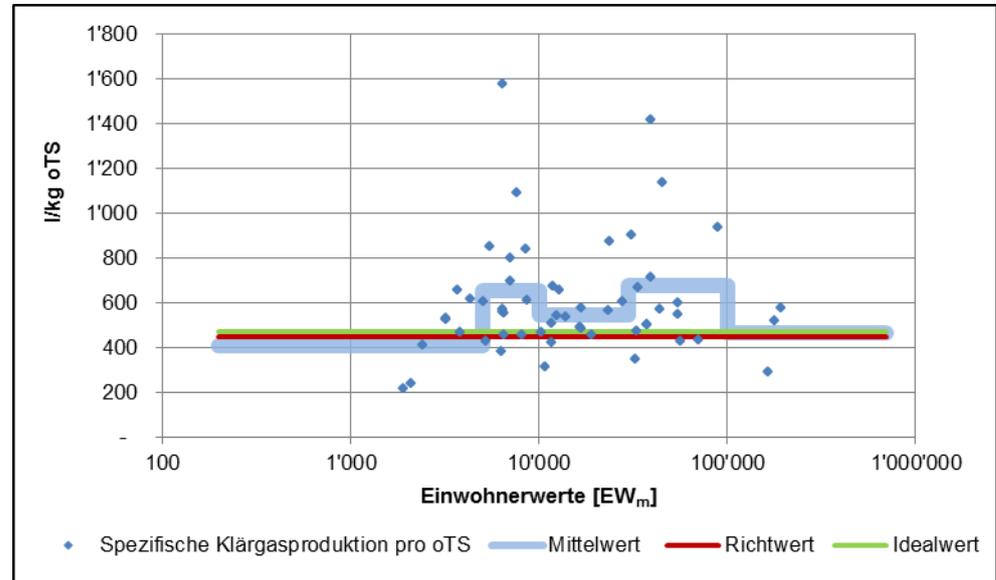
- Falschangaben des Gasvolumenstromes (z.B. Abfackelung enthalten)
- Messfehler, unzureichende Normierung des Gasvolumenstromes
- Tiefer elektrischer Wirkungsgrad
 - Betrieb der WKK-Anlagen nicht im optimalen Bereich
 - Schlecht dimensionierte WKK
 - Alter und Typ der WKK-Anlagen mit schlechten Wirkungsgraden

Die Abweichungen fallen höher aus als erwartet und sollten näher untersucht werden.

2.1.2.7 Spezifische Klärgasproduktion

Die Kennzahl N_3 (Spezifische Klärgasproduktion) sagt aus, wie viel Biogas bezogen auf die in die Faulung eingebrachte, organische Trockensubstanz (oTS) gewonnen wird.

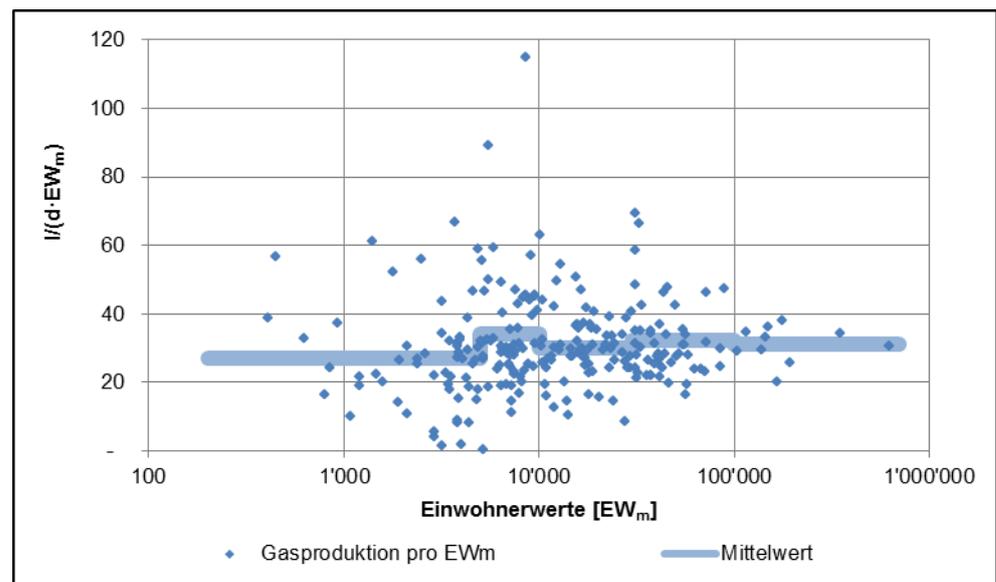
Abbildung 8:
Spez. Klärgasproduktion pro kg oTS (in Faulung eingetragen) in Abhängigkeit der Anlagegrösse (Auswertung Daten 2009).



Die spezifische Klärgasproduktion darf als erfreulich hoch bezeichnet werden. Bei den meisten Anlagen liegt sie über dem Richtwert. Interessant dabei ist, dass diverse Anlagen sogar die Idealwerte übertreffen. Da in Deutschland und selbst in Fachkreisen diese Richt- und Idealwerte als hoch eingestuft werden, wäre eine Untersuchung über die Gründe der hohen Klärgasausbeute in der Schweiz interessant.

In folgender Abbildung ist die Klärgasproduktion pro EW_m dargestellt.

Abbildung 9:
Spez. Klärgasproduktion pro EW_m .



Auch hier fällt die hohe Produktion und die hohe Streuung der Daten auf. Die Klärgasprod. pro EW_m liegt mit 31 $I/d \cdot EW$ über dem erwarteten Wert

von etwa $25 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$. Eine mögliche Ursache für die hohen spezifischen Werte könnte die Annahme von Substraten zur Co-Vergärung und die Annahme von Fremdschlamm sein.

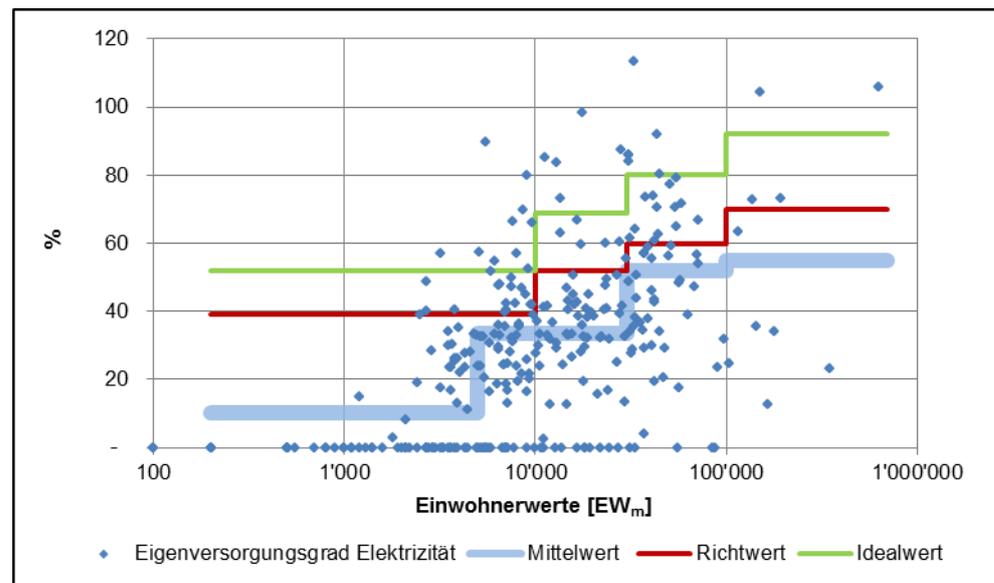
2.1.2.8 Eigenversorgungsgrad Elektrizität (V_e)

Der Eigenversorgungsgrad drückt aus, wie viel Strom die ARA im Verhältnis zu ihrem gesamten Verbrauch selbst produzieren. Beim gesamten Stromverbrauch werden (falls Daten vorhanden) Hebewerke im ARA Zulauf oder gewisse Verfahren (Filtration) zur Vergleichbarkeit der Anlagen bei den Kennwerten abgezogen.

Der Eigenversorgungsgrad gibt unter den verschiedenen Kennwerten den besten Überblick über die energetische Qualität einer Kläranlage, bezieht er doch sowohl Verbrauch als auch Produktion in einem Wert ein und bewertet den für Kläranlagen relevanten Strombereich. Bei Kläranlagen ohne Faulung ist damit eine Bewertung allerdings nicht möglich.

$$\frac{\text{Stromproduktion}}{\text{Gesamter Stromverbrauch} - \text{Hebewerk}}$$

Abbildung 10:
Eigenversorgungsgrad
Elektrizität in Abhängigkeit
der Anlagegrösse
(Auswertung Daten 2009).



Der Eigenversorgungsgrad der ARA ist im Mittel deutlich unter dem Richtwert. Bei den Anlagen, welche keine Faulung und somit auch keine Stromproduktion aufweisen, liegt der Eigenversorgungsgrad bei null. Zudem weisen auch die Anlagen, welche das Faulgas ausschliesslich zur Wärmeproduktion verwenden, eine Null auf.

Als Grund für die Unterschreitung des Richtwertes kann einerseits ein zu hoher Stromverbrauch und/oder eine zu geringe Stromproduktion genannt werden. Beim Stromverbrauch ist zu vermuten, dass nicht bei allen Anlagen zusätzliche Prozesse wie Hebewerke, eine Filtration oder eine

Schlamm Trocknung mangels ungenügend gut aufgelöster Daten abgezogen werden konnten.

2.1.3 Potentialabschätzungen aus Umfrage Kantone

Zur Potentialabschätzung der Energieeffizienzsteigerung und möglichen zusätzlichen Energieproduktion werden die in 2.1.2 ermittelten Daten mit den Richtwerten verglichen. Unsicherheiten ergeben sich bei den Resultaten, wenn folgende Annahmen nicht erfüllt werden:

- Annahmen
- Es wird angenommen, dass alle Anlagen den Richtwert gemäss Energiehandbuch erreichen können.
 - Die erhaltenen Daten aus den jeweiligen Grössenklassen stellen eine repräsentative Stichprobe für alle Anlagen in der jeweiligen Klasse dar.
 - Die totale Belastung der ARA in der Schweiz pro Grössenklasse entspricht den Einwohnerwerten gemäss Kapitel 2.1.1.
 - Die angegebenen Daten aus der Umfrage sind richtig. (Offensichtliche Fehler wurden aber eliminiert.)

2.1.3.1 Energieeffizienz gesamte Anlage

Das Potenzial der Energieeinsparung mit Energieeffizienzmassnahmen wird über den spezifischen Elektrizitätsverbrauch für die gesamte Kläranlage (e_{ges}) hochgerechnet.

Berechnungsweg

Dazu wird für jede Kläranlage die Differenz von ihrem spezifischem Stromverbrauch (e_{ges}) zum Richtwert berechnet [$kWh/(EW_m \cdot a)$] und mit den angeschlossenen Einwohnerwerten der Anlage [EW_m] multipliziert. Dies ergibt das theoretische jährliche Einsparpotential der jeweiligen Anlage [kWh/a]. Diese einzelnen Einsparpotentiale der Anlagen werden über die jeweilige Grössenklasse summiert und durch die Summe der berücksichtigten Einwohnerwerte dividiert. Dies ergibt ein repräsentatives Einsparpotential pro EW_m für jede Grössenklasse gemäss Stichprobe [kWh/EW_m].

Das repräsentative Einsparpotential pro EW_m wird anschliessend mit den totalen Einwohnerwerten in der jeweiligen Klasse (gem. Kapitel 2.1.1) multipliziert. Das Ergebnis entspricht dem totalen Einsparpotential gemäss Daten [kWh/a].

Im Richtwert ist eine allfällige Filtration und Schlamm Trocknung nicht enthalten. Da angenommen werden kann, dass im Strombedarf der Daten diese Prozesse teilweise inkludiert sind, wird das Potential um den Verbrauch dieser Prozesse reduziert.

Korrektur Filtration

In den Daten wird als binärer Wert angegeben, ob die Anlage eine Filtration besitzt. Daraus kann abgeschätzt werden, was für ein Anteil in der jeweiligen Klasse über eine Filtration zusätzlich gereinigt wird. Mit der

Annahme eines spezifischen Verbrauchs für die Filtration von 3.12 kWh/(EW*a) gemäss Leitfaden (Flockungsfilter) kann analog oben ein repräsentativer Verbrauch pro Klasse gerechnet werden (alle Klassen: 1.4 kWh/(EW*a), Klasse >100'000 EW_m: 2.2 kWh/(EW*a)). Wird dieser spezifische Wert mit den totalen Einwohnerwerten der jeweiligen Klasse multipliziert. So erhält man eine Schätzung für den Energieverbrauch der Filtration in der Schweiz (alle Klassen: 15 GWh/a, >100'000 EW_m: 10 GWh/a).

Korrektur
Schlamm-trocknung

In den Daten der Umfrage gibt es keine Anhaltspunkte bezüglich Schlamm-trocknung. Die Abschätzung für den Energiebedarf der Schlammbehandlung erfolgt daher rudimentär.

Gemäss der Studie „Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung“ wird rund 17 % der Schlammmenge (TS-Fracht) in Trocknungsanlagen behandelt (Tabelle 15, Seite 63) [3]. Für eine grobe Hochrechnung des Energiebedarfes der Trocknungen in der Schweiz werden daher 17 % der gesamten Einwohnerwerte mit dem spezifischen Energieverbrauch einer Trocknung von 3.8 kWh/(EW*a) gemäss Leitfaden (Wirbelschicht-trocknung) multipliziert. Der angenäherte Strombedarf für die Trocknung beläuft sich so auf 8.9 GWh/a.

Das Einsparpotential durch Massnahmen zur Energieeffizienz für die ARA der Schweiz wird anhand der vorliegenden Daten auf rund **97 GWh/a** geschätzt. Zahlreiche Anlagen übertreffen die Richt- und sogar die Idealwerte deutlich. Dies lässt darauf schliessen, dass mit entsprechenden Randbedingungen und technischen Massnahmen die Messlatte für die Effizienzsteigerung evtl. noch erhöht werden kann.

Tabelle 3:
Einsparpotential durch
Energieeffizienz
über alle Anlagen

Grössenklasse	Einsparpotential gemäss Daten		Potential mit Filtration und Schlamm- trocknung korrigiert	
	<i>n</i> ⁸	GWh/a	kWh/(EW*a)	GWh/a
0 - 5'000	157	8.8	20.7	8.7
5'-10'000	83	4.6	9.2	4.4
10'-30'000	84	15.6	7.4	13.9
30'-100'000	72	30.3	6.9	26.1
über 100'000	13	60.6	9.2	44.1
alle Klassen	409	119.9	8.5	97.2

2.1.3.2 Energieeffizienz biologische Reinigung

Das Potenzial der Energieeinsparung mit Energieeffizienzmassnahmen nur für die biologische Stufe wird über den spezifischen Elektrizitätsverbrauch für die biologische Reinigung (e_{BB}) hochgerechnet.

⁸ Anzahl verwendeter Anlagen/Datensätzen

Berechnungsweg

Analog zur Betrachtung der Gesamtanlage wird wiederum für jede Anlage das Einsparpotential separat berechnet und daraus über die Summe der berücksichtigten Einwohnerwerte ein repräsentativer spezifischer Wert pro Grössenklasse ermittelt. Dieses spezifische Einsparpotential wird wiederum mit den totalen EW_m der jeweiligen Klasse multipliziert.

In Tabelle 4 ist das Potential für Energieeffizienzmassnahmen bei der biologischen Behandlung gemäss Daten aufgeführt.

Tabelle 4:
Einsparpotential durch
Energieeffizienz
bei biologischen Stufe

Grössenklasse	Spezifisches Einsparpotential		Einsparpotential gemäss Daten
	<i>n</i>	kWh/(EW*a)	GWh/a
0 - 5'000	33	4.5	1.9
5'-10'000	48	2.8	1.3
10'-30'000	50	1.4	2.7
30'-100'000	43	0.6	2.1
über 100'000	10	1.6	7.3
alle Klassen	184	1.4	15.3

Gemäss den Zahlen macht die biologische Reinigung im Vergleich zum Potential über die gesamte Anlage einen geringeren Anteil aus als erwartet. Es wird vermutet, dass nicht alle ARA die gleichen Aggregate zur Biologie zählen wie im Richtwert berücksichtigt werden (Gebläse, Umwälzung Denitrifikation, Rezirkulation, Rücklaufschlamm).

2.1.3.3 Potential Energieproduktion Biogas

Elektrische Energie wird auf den ARA heute praktisch ausschliesslich durch die Verstromung des in der Faulung anfallenden Biogases produziert. Diesbezüglich befinden sich die ARA grundsätzlich in drei möglichen Situationen:

- I. Faulung und BHKW:
ARA hat eine Faulung und verstromt das Biogas ganz od. teilweise.
- II. Faulung ohne BHKW:
ARA hat eine Faulung, nutzt aber das Gas nicht zur Stromproduktion. Der Anteil des Gases, welcher verkauft bzw. aufbereitet und ins Gasnetz eingespiessen wird, wird separat ausgewiesen.
- III. Keine Faulung:
ARA betreibt keine Faulung und produziert folglich kein Biogas.

Die Situationen unterscheiden sich massgeblich bezüglich des Investitionsbedarfs, welcher notwendig ist, um die Energieproduktion durch Biogas zu verbessern. So kann in Gruppe I die Produktion oft durch betriebliche Massnahmen oder Co-Vergärung kostengünstig gesteigert werden. In der Gruppe II kann die Stromproduktion mit der Installation eines BHKW rasch verbessert werden. Bei der Gruppe III müsste hingegen eine neue Faulung inkl. sämtlicher Gasinstallationen und BHKW installiert werden, was recht teuer ist.

Alternativ dazu kann natürlich der Schlamm auch in die Faulung einer anderen Anlage mit Kapazitätsreserve abtransportiert werden, welche das Biogas effizient verstromt. Der Energiebedarf für den Transport ist im Vergleich zum Energiepotential des Schlammes relativ gering.

Berechnungsweg

Analog zur Betrachtung der Gesamtanlage wird für jeden Anlagentyp das Potential separat berechnet:

- I. Differenz zwischen Energieproduktion bei gemessenem Wirkungsgrad zu Produktion mit Wirkungsgrad gem. Richtwert.
- II. Gasproduktion der Anlage multipliziert mit Energieinhalt Biogas⁹ und Wirkungsgrad gem. Richtwert.
- III. EW_m der Anlage multipliziert mit durchschnittl. spez. Gasproduktion gemäss Daten ($11 \text{ m}^3/(\text{EW}_m \cdot \text{a})$), Energieinhalt Biogas und Wirkungsgrad gem. Richtwert.

Die Potentiale werden pro Gruppe und Grössenklasse summiert. Daraus kann mit den gesamten EW_m der Klassen aus der Stichprobe das jeweilige spezifische repräsentative Potential berechnet werden. Dieses spezifische Potential wird wiederum mit den totalen EW_m der jeweiligen Klasse multipliziert. In Tabelle 5 ist das Potential für die drei Gruppen aufgeführt. Den Anteil zur zusätzlichen Stromproduktion bei Gruppe II, welcher aus einer Verstromung des verkauften Biogases resultieren würde, wird nicht zum Potential hinzugezählt. Für die Hochrechnung des verkauften Anteils sind nur sechs Datensätze vorhanden.

Korrektur
Fremdschlammannahme

Welcher Anteil der ARA den Schlamm derzeit in einer anderen ARA ausfaulen, kann nicht aus den Daten abgeschätzt werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Gruppe III ihren Schlamm in eine andere Anlage zur Faulung bringt. Zur Berechnung des Potentials wird grob angenommen, dass dies für 20 % der ARA ohne Faulung zutrifft. Das Potential der Gruppe III wird demnach um 20 % reduziert.

Tabelle 5:
Potential Energieproduktion
Biogas

Grössenklasse	I. ARA mit Faulung mit BHKW		II. ARA mit Faulung ohne BHKW		III. ARA ohne Faulung
	<i>n</i>	GWh/a	GWh/a	Verkauf ¹⁾	GWh/a
0 - 5'000	122	0.6	2.0	(-)	8.5
5'-10'000	65	1.6	1.4	(-)	2.7
10'-30'000	72	9.8	3.0	(0.5)	10.5
30'-100'000	57	16.8	7.2	(4.8)	16.7
über 100'000	9	25.8	-	(3.9)	-
alle Klassen	325	54.6	13.6	(9.2)	38.4
Total:					107 GWh/a

¹⁾ nicht ins Potential eingerechnet

Gemäss den Daten liegt ein beträchtliches Potential zur zusätzlichen Stromproduktion in der konsequenten Verstromung des Biogases.

⁹ Methangehalt Gas = 63 %, Heizwert Hu Erdgas = 10 kWh/Nm³

Zu beachten ist, dass einige Anlagen das Biogas bewusst zur Wärmegewinnung verwenden. Wird das Biogas verstromt, so muss die fehlende Wärmemenge ersetzt werden (z.B. Abwärmenutzung, Wärmerückgewinnung etc.).

Weiter ist an dieser Stelle auch zu bemerken, dass einige grössere ARA planen, das Biogas zukünftig nicht mehr zu verstromen, sondern aufzubereiten und ins Erdgasnetz einzuspeisen. Dies verringert folglich die Stromproduktion. Ob eine Einspeisung oder eine Verstromung des Gases sinnvoller ist, muss fallweise entschieden werden.

2.1.3.4 Energieproduktion Schlamm Entsorgung

Die Energieproduktion aus der Faulung ist ein Teilprozess der Schlamm-entsorgung. Bei der Faulung wird rund 50 % der organischen Substanz in Biogas umgewandelt, welches auf der ARA einfach genutzt werden kann. Zu beachten ist aber, dass die andere Hälfte der org. Substanz im Faulschlamm zurückbleibt und ein oft vernachlässigtes Energiepotential aufweist. Je nach Entsorgungsvariante kann diese Energie mehr oder weniger umfassend genutzt werden, wie eine Studie von EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen in Zusammenarbeit mit Holinger AG gezeigt hat [24].

Zur groben Abschätzung, wie gross das Potential der chemisch gespeicherten Energie im Schlamm etwa ist, wird eine einfache Hochrechnung aus den Angaben der Umfrage durchgeführt (Tabelle 6). Die geschätzte Faulschlammproduktion von rund 197'000 t_{TS}/a deckt sich etwa mit dem Bericht Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz [5], in welchem für das Jahr 2006 von 204 Tsd. t_{TS}/a ausgegangen wird.

Tabelle 6:
Hochrechnung Energieinhalt
Frisch- und Faulschlamm

Mittlere Einwohnerwerte	11.2 Mio. EW _m	Kap. 2.1.1
Spez. FS-Anfall pro EW _m	68 g _{TS} /(d*EW _M)	Daten
Frischschlammproduktion	277'000 t _{TS} /a	
org. Anteil im FS (oTS)	62 %	Daten
Unterer Heizwert oTS	21 MJ/kg _{oTS}	
Heizwert Frischschlamm (H _u)	1'010 GWh/a	
Faulschlammproduktion	196'000 t _{TS} /a	93 % Faulung
Anteil von oTS in Faulung abgebaut	50 %	Annahme
Heizwert Faulschlamm (H _u)	540 GWh/a	

Der Brennwert der Trockensubstanz ist auch nach der Faulung beträchtlich (rund 540 GWh/a). Die Schwierigkeit zur Nutzung dieses Potentials liegt aber darin, die Trockensubstanz so effizient wie möglich vom Schlammwasser zu trennen. Wird der Faulschlamm vollständig getrocknet, so wird ein Heizwert ähnlich dem von Braunkohle erreicht.

Je nach Entsorgungsweg ergeben sich aus obigen Werten unterschiedlich nutzbare Potenziale.

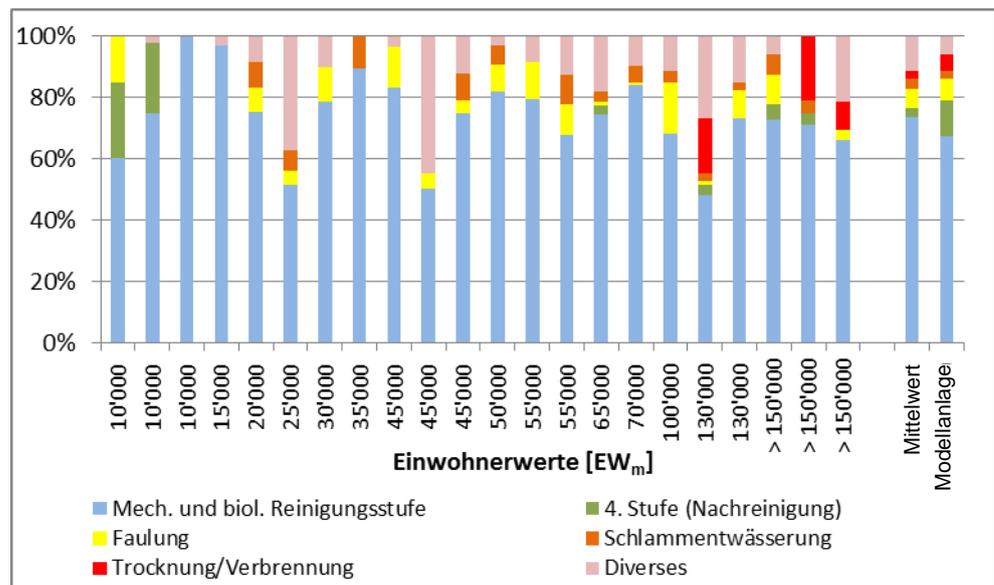
Heute sind verschiedene Möglichkeiten vorhanden, mit der die Schlamm-entsorgung energetisch optimiert werden kann (vgl. 3.1.7). Auch sind neue Entwicklungen zur weitergehenden Schlammverwertung mit Interesse zu verfolgen (siehe auch thermische Schlammhydrolyse Kap. 3.3.1).

2.2 Analyse Messungen aus Benchmarking-Umfrage

In Kapitel 2.1.3 wurde abgeschätzt, wie viel elektrische Energie insgesamt und bei der Biologie etwa eingespart werden kann. Damit man einen Hinweis bekommt, welche Prozesse bzw. Verfahren dabei wichtig sind, werden Benchmarking-Analysen von 22 Anlagen [5] genauer untersucht und miteinander verglichen.

In Abbildung 11 sind von den Benchmarking Ergebnissen die Energieverbräuche der Prozesse prozentual zum Gesamtverbrauch an Strom dargestellt. Zusätzlich sind die Mittelwerte über die Anlagen und die Werte der Modellanlage gemäss Leitfaden aufgeführt.

Abbildung 11:
Anteil der Verfahrensstufen
am Gesamtverbrauch an
el. Energie [5].



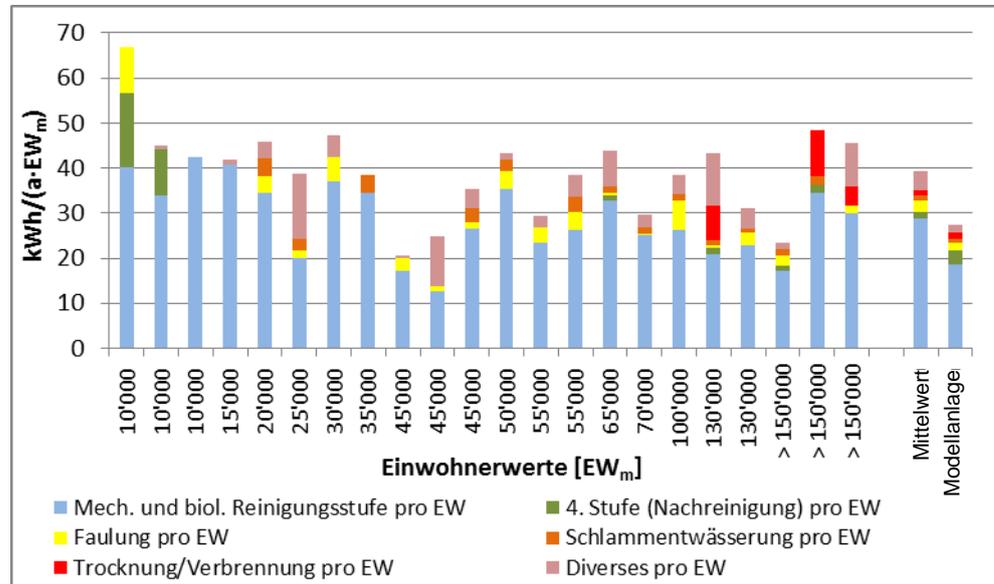
Es fällt auf, dass der Anteil der Prozesse am Verbrauch stark schwankt. Insbesondere der Anteil „Diverses“ hat bei einzelnen Anlagen eine grössere Ausprägung. Deutlich zu erkennen ist aber der grosse Anteil des Summenwertes der mechanischen und biologischen Reinigungsstufe am Gesamtverbrauch. Weiter sticht hervor, dass die Trocknung/Verbrennung einen beträchtlichen Anteil am Energieverbrauch ausmachen kann.

In Abbildung 12 ist der spezifische Energieverbrauch pro Einwohnergleichwert (EW_m) über die Prozesse dargestellt.

Auch bei dieser Darstellung fällt auf, dass die Angaben sowohl in der Summe, sowie über die einzelnen Prozesse z.T. sehr stark schwanken.

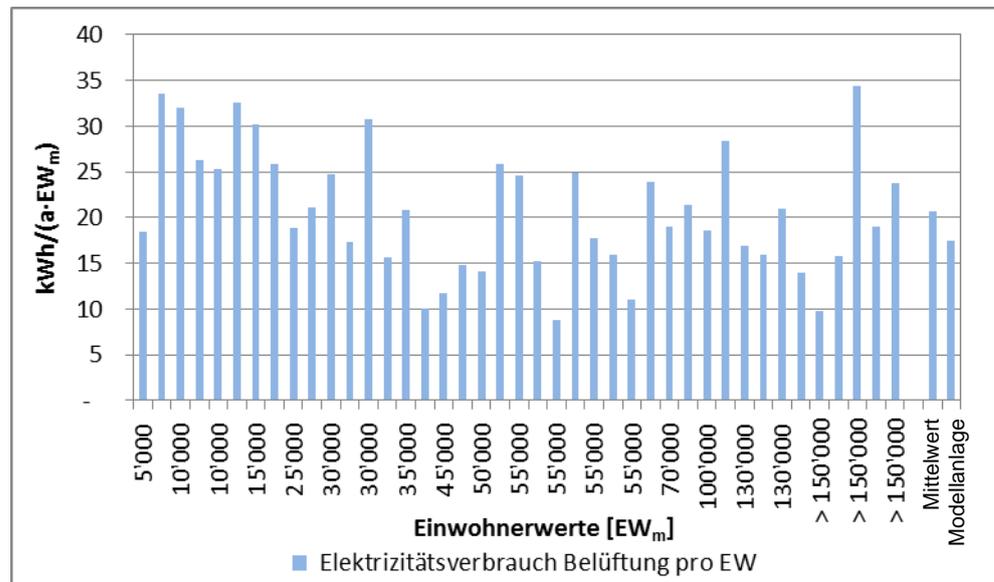
Der Mittelwert über die Anlagen liegt in der Summe deutlich über der Modellanlage. Die Interpretation zu einzelnen Prozessen wird dadurch erschwert, dass nicht im Detail bekannt ist, ob die Zuordnung der Aggregate zu den Summenwerten der Prozesse jeweils gleich definiert wurde.

Abbildung 12:
Spez. el. Energieverbrauch
der Verfahrensstufen
pro EW_m [5].



Bei der folgenden Grafik ist die Unsicherheit der Zuordnung kleiner, indem nur der Strombedarf der Belüftung einzeln betrachtet wird. Der Prozess ist klarer definiert (Aggregate für den Eintrag von Sauerstoff in Abwasser). Die Daten können somit besser verglichen und interpretiert werden.

Abbildung 13:
El. Energieverbrauch der
Belüftung [5].



Die kleinen Anlagen weisen einen tendenziell höheren elektrischen Energiebedarf für die Belüftung auf. Diverse der Anlagen können den Richtwert der Modellanlage unterschreiten, zahlreiche Anlagen liegen aber z.T. noch bis zum Doppelten darüber.

2.3 Gesamtes Energiepotenzial

Aufgrund der obigen Untersuchungen ergibt sich für den heutigen Kläranlagenbestand ein gesamtes elektrisches Energiepotenzial in der Schweiz von rund 200 GWh/a. Davon steuern die Effizienzmassnahmen und die zusätzliche Energieproduktion je etwa die Hälfte bei.

Der Energieverbrauch der Kläranlagen in der Schweiz wird heute noch nicht zentral erhoben. Aufgrund der Daten kann mit einer Hochrechnung der Stromverbrauch auf rund 450 GWh/a geschätzt werden. Dabei sind analog Kap. 2.1.3.1 Hebewerke nicht berücksichtigt bzw. abgezogen worden. Gemäss der WKK-Statistik des BFE [7] wurden im Jahre 2009 mit Klärgas 116 GWh/a auf ARA erzeugt. Daraus kann der Fremdstrombezug für alle ARA nach Ausschöpfung des Potenzials abgeschätzt werden (Tabelle 7).

Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen im Abwasser stellen eine neue Herausforderung an die kommunalen ARA dar. Das BAFU hat deshalb einen Entwurf zur Anpassung der Gewässerschutzverordnung in Vernehmlassung gegeben. Ob eine ARA eine Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen nachrüsten muss oder nicht, würde dann von der Ausbaugrösse, der Bedeutung der betroffenen Gewässer für die Trinkwasserversorgung sowie von den Verdünnungsverhältnissen im Vorfluter abhängen. Gemäss ersten Abschätzungen müsste rund die Hälfte des schweizer Abwassers mit weitergehenden Verfahren behandelt werden. Als Verfahren in Frage kommen dabei eine Ozonung oder eine PAK-Stufe. Werden die zwei Verfahren zu gleichen Teilen inkl. Sandfilter angewandt, so werden schweizweit rund 60 GWh/a für die weitergehende Reinigungsstufe in Zukunft zusätzlich benötigt¹⁰ [8].

Tabelle 7:
Gesamtes Potential
Elektrizität

	Ist ¹⁾	Potential	Mikroverun- reinigungen ²⁾	Soll / Zukunft
	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Verbrauch	448	- 97	+ 60	411 (- 8 %)
Produktion	116	+ 107		223 (+ 92 %)
Fremdstrombezug	332	- 204	+ 60	188 (- 43 %)

¹⁾ ohne Hebewerk

²⁾ Anteil O₃ und PAK je 50 %, inkl. Filtration

Im Vergleich zum heutigen Zustand könnte also gemäss Umfrage der gesamte Stromverbrauch der Kläranlagen in der Schweiz aufgrund der berechneten Potenziale um über einen Fünftel gesenkt und gleichzeitig die Produktion annähernd verdoppelt werden. Der erwartete Mehrverbrauch einer zukünftigen Elimination von Mikroverunreinigungen kann durch eine Steigerung der Energieeffizienz und Energieproduktion der ARA mehr als kompensiert werden. Generell sollten bei Massnahmen, welche zu einem

¹⁰ Ozonierung bei 5 g O₃/m³ mit zentraler Sauerstoffproduktion in der Schweiz, PAK-Dosierung bei 12 g PAK/m³ mit Aktivkohleherstellung im Ausland [8]

grossen Energie-Mehrverbrauch auf der Kläranlage führen, folgende Punkte beachtet werden:

- Die eingesetzten Verfahren sind auch nach energetischen Kriterien auszuwählen.
- Die Verfahren sind bezüglich Energieeffizienz ständig zu entwickeln.
- Der Mehrverbrauch an Strom ist durch Energieeffizienz und Energieproduktion mindestens zu kompensieren - wenn nicht auf Stufe der einzelnen Anlage, so zumindest in der Summe auf nationaler Stufe.

Dies gilt beispielsweise auch für den Einbau einer Nitrifikation/N-Elimination auf Anlagen, die bislang nur CSB-Eliminationen besitzen (nicht in Rechnung enthalten).

Insgesamt kann theoretisch unter Berücksichtigung der Mikroverunreinigungen der Fremdstrombezug um rund 40 % gesenkt werden. Diese Zahlen können aber höchstens als Anhaltspunkt betrachtet werden und sollten noch verifiziert werden. Insbesondere muss auch der umsetzbare Anteil dieser Potenziale noch abgeschätzt werden. Dennoch zeigen die Daten, dass das Potenzial, auch wenn nicht alles in der Praxis realisiert werden kann, noch sehr gross ist. Die Zielsetzung muss sein, die vorhandenen Potenziale zu identifizieren und den umsetzbaren Anteil möglichst vollständig umzusetzen.

3 HEUTIGE SITUATION, TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN

Der Leitfaden von VSA und BFE [1] zeigt die Strategie und das systematische Vorgehen zur gesamtheitlichen Energieoptimierung auf einer Kläranlage auf. Es gibt aber für Kläranlagen kein allgemein gültiges Rezept, welche Massnahmen generell sinnvoll und wirtschaftlich sind. Die Ermittlung der Massnahmen muss individuell für jede einzelne Anlage erfolgen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Massnahmen sehr stark vom ARA-Betrieb sowie dessen Umfeld abhängen.

Um niedrige Energieverbrauchswerte zu erreichen, sind sowohl eine energieoptimierte Betriebsführung als auch der Einsatz von energieeffizienter Aggregatetechnik und eine gute Planung und Dimensionierung der Aggregate erforderlich. Kolisch hat die verschiedenen Ansatzpunkte zur Energieoptimierung folgendermassen dargestellt [9]:

Abbildung 14:
Ansatzpunkte für
Energieoptimierung auf
Kläranlagen [9].



Zusätzlich zu den aufgeführten Ansatzpunkten sind die Wahl der Vorklärbeckengrösse, Annahme von Substraten zur Co-Vergärung sowie die energetische Optimierung der Schlammentsorgung als weitere Möglichkeiten zu nennen.

Die Grundlage für das Erkennen von Energieoptimierungsmassnahmen sind ein griffiges Energiecontrolling (im Prozessleitsystem und mit Betriebsinformationen) und entsprechend ausgebildetes Personal.

Um allfällige Synergien mit anderen ARA und auch Industriebetrieben nutzen zu können, ist eine Erweiterung der Systemgrenzen notwendig. Ziel soll es sein, die Energieströme überregional zu optimieren. Dazu ist eine grossräumigere Betrachtung notwendig.

3.1 Praxisbeispiele

Ein Blick in die Praxis zeigt, dass durch Einzelinitiativen bereits zahlreiche und z.T. kreative Lösungen umgesetzt wurden. Die folgenden Praxisbeispiele sollen einen Einblick in die diversen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung geben.

3.1.1 ARA Meilen: Wärmerückgewinnung aus Prozessen

Ausgangslage

Die gesamte Klärgasproduktion der ARA Meilen wird durch einen Contractor aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist. Diese spezielle Randbedingung hat zur Folge, dass die bisherige Klärgasverwertung mit den beiden BHKW und dem Gasbrenner im Normalfall nicht mehr betrieben wird. Die Eigenstromproduktion und die entsprechende Abwärme stehen somit nicht mehr zur Verfügung. Für die Wärmeversorgung der Kläranlage wurden alternative Lösungen gefunden.

Massnahmen

Das Konzept für die Wärmebereitstellung der ARA Meilen beruht auf einer weitgehenden Wärmerückgewinnung aus den laufenden Prozessen, kombiniert mit einer Spitzenabdeckung durch Fremdenergie via Gaskessel:

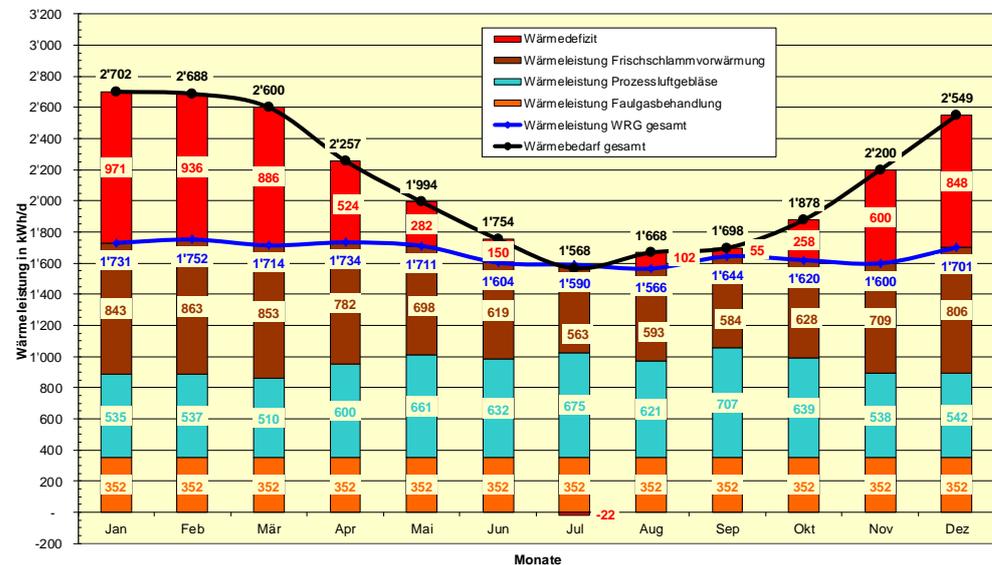
- Bei der Gasaufbereitung mittels Aminwäsche wird Abwärme bei höheren Temperaturen (65°C / 45°C) freigesetzt und über einen Wärmetauscher zurückgewonnen.
- Eine weitere, nutzbare Wärmequelle, ist die komprimierte Luft der Biofiltrationsbelüftung. Die durch die Luftverdichtung frei werdende Kompressionswärme wird über einen Wärmetauscher ins Heizsystem übertragen.
- Frischschlamm wird via Schlamm-Schlamm-Wärmetauscher mit ausgefaultem Schlamm vorgewärmt.
- Besteht ein Wärmeüberschuss, so wird die Wärme konsequent über die Schlammwärmerückgewinnung in den Faulraum geführt. Die Faulräume werden dadurch als zusätzliche Wärmespeicher bei Wärmeüberschuss genutzt. Mit dieser Betriebsweise werden insbesondere Schwankungen bei der Wärmeproduktion über den Tag hinaus aufgefangen. Auf Grund des verhältnismässig grossen Volumens der Faulung ist zu erwarten, dass die Temperatur dadurch im Allgemeinen deutlich weniger als +/- 1°C um das Tagesmittel variieren wird.
- Abwärme aus Elektro- und Gebläseräumen wird bei kalter Witterung konsequent für die Gebäudeheizung genutzt.

Resultat

Abbildung 15 zeigt die im Rahmen des Bauprojektes berechnete Wärmebilanz der ARA Meilen für das Ausbauziel. Dank den Wärmerückgewinnungen werden im Winter über 64 % des gesamten

Wärmebedarfes zur Verfügung gestellt. Im Sommer ist die Kläranlage zeitweise wärmeautark. Statt einer Erdgasmenge von 82'000 Nm³/a werden aufgrund der Wärmerückgewinnungen nur noch 18'000 Nm³/a gebraucht [10].

Abbildung 15:
Wärmebilanz ARA Meilen
(inkl. Wärmerückgewinnungen)
berechnet für das Ausbauziel.



3.1.2 ARA Werdhölzli: Faulwasserentstickung

Ausgangslage

Durch das Faulwasser aus der Schlammbehandlung wird die Kläranlage mit Ammonium rückbelastet. Die N-Rückbelastung macht in kommunalen Anlagen ca. 20% der Zulaufcharge aus [11]. Die Kläranlage Werdhölzli weist eine Rücklaufwassermenge von 1'780 m³/d mit einer Konzentration von 676 mg/l auf [12].

Das Rücklaufwasser gelangt üblicherweise in die Biologie. Im konventionellen Verfahren wird zunächst alles Ammonium unter grossem Sauerstoffverbrauch zu Nitrat oxidiert und anschliessend teilweise unter Sauerstoffausschluss zu Luftstickstoff umgewandelt (denitrifiziert).

Durch eine separate Faulwasserbehandlung strebt man auf der ARA Werdhölzli eine Erhöhung der Stickstoffelimination an. Dieses spezielle Verfahren benötigt gleichzeitig weniger Sauerstoff, wodurch Belüftungsenergie gespart werden kann. Damit kommt die ARA Werdhölzli dem Ziel energieautark zu werden, einen Schritt näher.

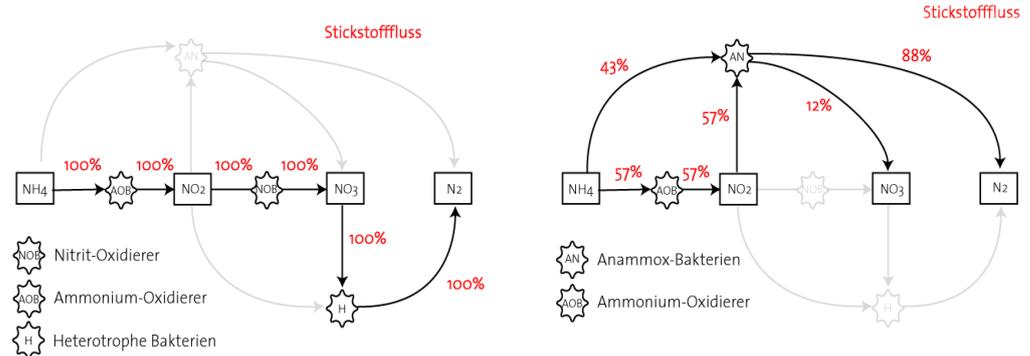
Massnahmen

Eine separate Rücklaufwasserbehandlung nach dem SBR-Verfahren wurde realisiert. Zwei Reaktoren mit je einem Volumen von 1'400 m³ wurden gebaut. In ihnen läuft die Faulwasserentstickung nach dem PNAA-

Verfahren ab: auf eine Partielle Nitritation folgt eine Anaerobe Ammoniumoxidation. (siehe Abbildung 16). Ein spezielles Bakterium ist dazu in der Lage, aus der anaeroben Ammoniumoxidation (kurz Anammox) Energie zu gewinnen.

Als Alternative für diese Methode könnte im Übrigen auch das energieeffiziente, gaselektive Membran-Verfahren angewandt werden.

Abbildung 16:
Links: Konventionelles
Verfahren; Rechts: PNA.
[13]



Resultat

Die Stickstoffelimination konnte gezielt erhöht werden. Bei PNA wird zudem 57% weniger Sauerstoff (und damit weniger Belüftungsenergie) zur Entstickung gebraucht als beim konventionellen Verfahren [14].

Ein weiterer Vorteil ist, dass die heterotrophe Denitrifikation reduziert werden kann. Die Denitrifikation kann bei Störung der biologischen Prozesse zu Lachgasemissionen führen. Lachgasemissionen verursachen im Vergleich zu Kohlendioxid einen 310-fachen Treibhauseffekt.

Alternative:
Ammonium-Rückgewinnung
mittels Strippung

Als Alternative zum PNA Verfahren zur Elimination von Ammonium muss an dieser Stelle auch die Rückgewinnung von Ammonium aus dem Faulwasser mittels Luftstrippung und anschließender saurer Wäsche erwähnt werden. Das so gewonnene Ammoniumsulfat kann als Stickstoffdünger eingesetzt werden und ersetzt den mit dem energieintensiven Haber Bosch Verfahren industriell hergestellten Stickstoffdünger. Das Verfahren wird in der Schweiz derzeit auf der ARA Kloten/Opfikon erstmals grosstechnisch umgesetzt [15].

3.1.3 ARA Schwyz (und ARA Engelberg): Abwasserturbinierung¹¹

Ausgangslage

Besteht bei einer Kläranlage mit Ausbaubedarf ein Platzmangel, so wird oftmals ein neueres, platzsparendes Verfahren gewählt. Bei der ARA Schwyz wurde aufgrund dessen eine Biofiltration gewählt. Verfahrensbedingt muss dabei das Wasser gepumpt werden. Das gereinigte Abwasser stürzt anschliessend bei der ARA Schwyz in den ca. 7 m tieferen Vorfluter. Ein Teil der aufgebrauchten Pumpenergie kann mit einer Turbine wieder zurückgewonnen werden.

Massnahmen

Die Gefällsdifferenz soll zur elektrischen Energieerzeugung genutzt werden. Die geplante Kraftwerkanlage besteht aus einer Wasserausleitung aus der Biofiltrationsanlage der ARA mittels einer kurzen Druckleitung. Das Triebwasser wird zu einer Turbine geleitet. Der angeschlossene Generator hat eine max. Leistung von 11 kW.

Resultat

Die jährliche Energieproduktion beträgt ca. 50'000 kWh [16].

3.1.4 Wärmeverbund Neuhausen: ARA-externe Klärgasnutzung

Ausgangslage

Die ARA Röti erzeugt täglich etwa 2'400 Nm³ Klärgas und verbrauchte früher etwa die Hälfte für die eigene Wärmeerzeugung. Das übrige Gas wurde der ca. 800 m entfernten Internationalen Verbandstoff-Fabrik (IVF) zugeleitet, die das zugeführte Klärgas ausschliesslich zur Dampferzeugung verwendete. Das bezogene Gas wurde bezahlt. Während längerer Produktionsunterbrüche (Ferien, verlängerte Wochenenden etc.) wurde kein Dampf gebraucht und es musste ca. 5 % der Gasproduktion abgefackelt werden.

Massnahme

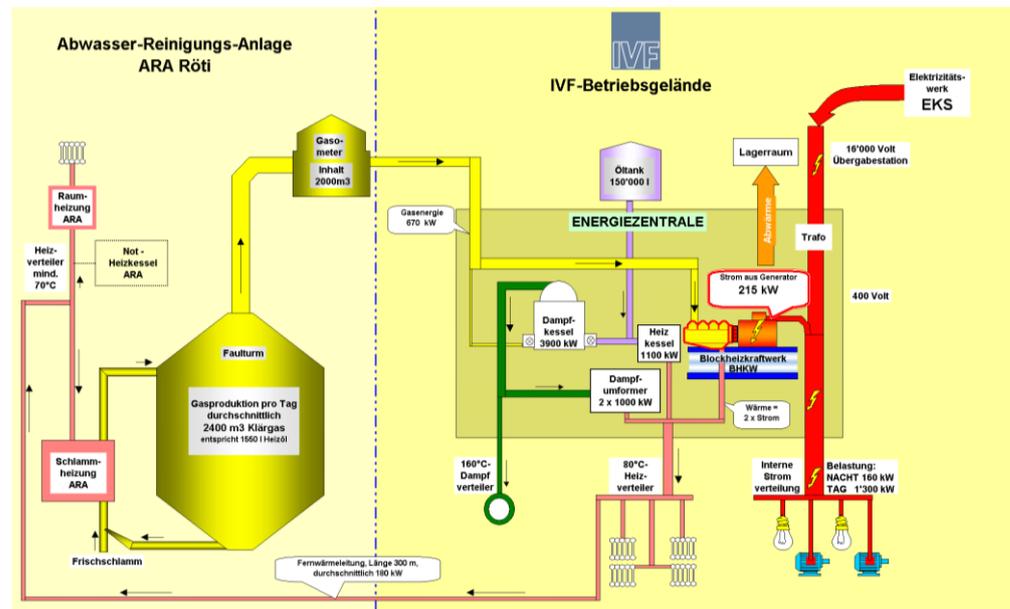
Damit kein Klärgas mehr abgefackelt wird, verpflichtete sich die IVF die komplette Klärgasproduktion zu kaufen. Das Gas wird in einem grossen BHKW vollständig verstromt, womit ein höherer elektrischer Wirkungsgrad erreicht und die Abwärme über das ganze Jahr praktisch vollständig genutzt werden kann.

Die ARA bezieht die benötigte Wärme gegen Bezahlung von der IVF, welche eine Wärmeversorgung garantiert. Zu diesem Zweck wurde eine

¹¹ Hinweis: Vorstudien zur Turbinierung von Abwasser oder Trinkwasser können vom Programm EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen gefördert werden (www.infrastrukturanlagen.ch).

Fernwärmeverbindung auf 80/60°C-Niveau erstellt. Während der Ferien wird mit gedrosselter BHKW-Leistung die Grundlast gedeckt.

Abbildung 17:
Wärmeverbund
ARA Röti – IVF.



Resultat

Heute besteht in Neuhausen ein betriebsübergreifender Klärgas-Wärmeverbund. Durch konsequente Analyse der Energieströme und Anpassung der Installation konnte die jährliche Energieersparnis auf bis zu 3 Mio. kWh angehoben werden [17].

3.1.5 ARA Werdhölzli: Abwasserwärmenutzung nach ARA

Ausgangslage

Mittels Wärmepumpen kann dem Abwasser beim Auslauf Wärme entnommen und als Heizwärme zur Verfügung gestellt werden. Gute Voraussetzungen für eine Abwasserwärmenutzung zeichneten sich bei der Kläranlage Werdhölzli ab. Sie befindet sich rund einen Kilometer vom Briefsortierzentrum Mülligen der Schweizerischen Post entfernt. Das Postzentrum ist ein grosser Verbraucher von Wärme und Kälte; das Abwasser der Kläranlage eine Energiequelle zum Heizen und Kühlen.

Massnahmen

Ein Energieverbund ARA – Postzentrum wurde erstellt: das Abwasser wird über einen Wärmetauscher geführt, der wiederum mit einer Wärmepumpe verbunden ist. Die Realisierung des Energieverbundes geschieht im Contracting. Das Projekt sieht vor, später weitere angrenzende Areale mit Abwasserenergie zu versorgen.

Resultat

Der Verbrauch an fossilen Energien sinkt bis zum Endausbau des Abwasserenergieverbundes Schlieren um vier Fünftel im Vergleich zu einer konventionellen dezentralen Energieversorgung. Die CO₂-Emissionen vor Ort werden jährlich um rund 9'000 Tonnen reduziert [18]. Zum heutigen Zeitpunkt wird das Postzentrum im Sommer mit 5'600 kW rückgekühlt und im Winter mit 4'200 kW geheizt [19]. Im Ausbau steigt die Heizleistung auf rund 20 MW.

3.1.6 Solaranlage

Ausgangslage

Kläranlagen weisen meist grosse Dach- und Beckenflächen auf, auf denen Solaranlagen installiert werden können. Da die Kläranlagen oft ausserhalb der Siedlungsgebieten liegen, sind auch die Anforderungen an die ästhetischen Aspekte geringer als in dichten Ballungsgebieten. Zudem weist die Stromproduktion einen sich dem Stromverbrauch ähnelnden Verlauf auf. Während dem Nachtminimum wird z.B. weniger Belüftungsenergie auf der Kläranlage benötigt als am Tag. Ein weiterer Vorteil ist der kurze Weg vom Produzenten zum Verbraucher, wodurch Netzverluste reduziert werden.

Massnahmen

Es wurden bereits einige Solaranlagen installiert, zahlreiche sind projektiert (z.B. ARA Obersee, Meilen, Morgental). Im Folgenden werden zwei Photovoltaik-Anlagen unterschiedlicher Grösse vorgestellt.

Resultat

In Effretikon wurde eine Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Maschinen- und Pumphauses der ARA Manneberg installiert. Es handelt sich dabei um Solarmodule mit kristallinen Solarzellen auf einer Fläche von 60 m². Die jährliche Stromproduktion beträgt etwa 5'000 kWh.

Die Photovoltaikanlage auf dem Areal der ARA Werdhölzli erstreckt sich auf einer Dachfläche von 1'770 m². Die jährliche Produktion beträgt 195'000 kWh.

Das Potential ist flächenabhängig und muss im Einzelfall geprüft werden.

Abbildung 18:
Solaranlagen auf ARA-Dächern.
Links: ARA Manneberg [20];
Rechts: ARA Werdhölzli [19].



3.1.7 Optimierung Energiebilanz bei Schlamm Entsorgung im Zementwerk

Ausgangslage

Klärschlamm enthält organisch gespeicherte Energie. Wird der Schlamm vollständig getrocknet, so wird etwa ein Heizwert von Braunkohle erreicht und kann unter anderem via Verbrennung im Zementwerk genutzt werden. Damit Schlamm auf diese Weise verwertet werden kann, muss dieser zuerst unter Energieeintrag getrocknet werden.

Massnahmen

Die Trocknung kann mit Hilfe von tieftemperaturiger Abwärme geschehen, was eine Nutzung von Abwärme oder solarer Wärme möglich macht.

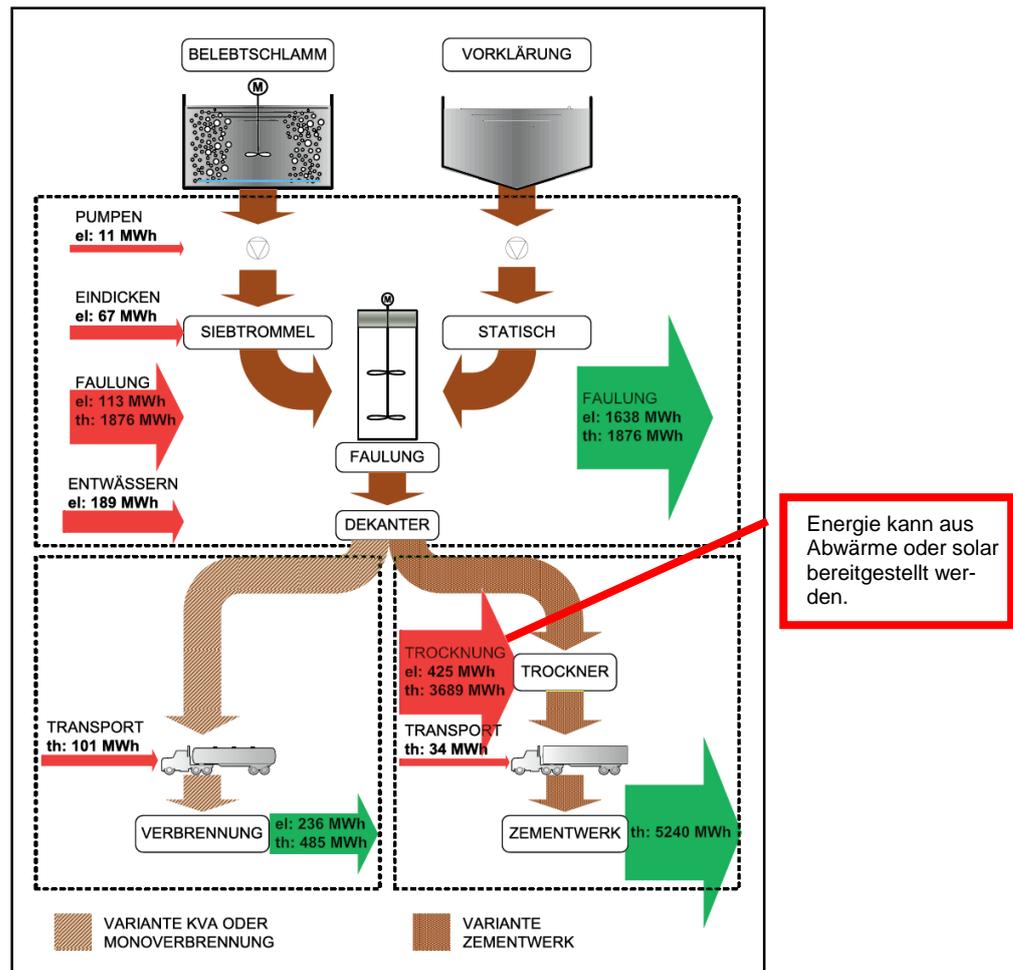
Dass eine Optimierung der Energiebilanz möglich ist, wird anhand von drei Beispielen mit jeweils unterschiedlichem Lösungsansatz aufgezeigt:

- Trocknungsanlage ARA Biel nutzt direkt Abwärme aus der Kehrlichtverbrennung (KVA) [21]
- Solare Trocknung Renquishausen [22]
- Trocknungsanlage Mellingen nutzt Energie aus dem Auslauf der Kläranlage mittels Wärmepumpe [23]

Resultat

Abbildung 19 zeigt die Energiebilanz von zwei möglichen Schlamm Entsorgungswegen auf. Bei der einen Variante gelangt der entwässerte Faulschlamm direkt in die Verbrennung, bei der anderen über eine Trocknung ins Zementwerk. Die Energieströme sind für die Modellanlage gemäss Leitfaden gerechnet worden [24].

Abbildung 19:
Elektrischer und
thermischer
Energieverbrauch und
Energieproduktion der
Faulschlammverbrennung
in KVA/MV und
Zementwerk pro Jahr
(Modellkläranlage) [24].



Bei der Verbrennung in der KVA wird zwar keine Trocknung im Vorfeld notwendig – die freigesetzte Energie ist dafür auch kleiner. Die grösste Umsetzung von Energie ergibt sich bei der Verbrennung im Zementwerk. Die Trocknung verschlingt zwar sehr viel Energie – noch mehr Energie kann jedoch bei der Verbrennung genutzt werden.

Bei den drei vorgestellten Massnahmen wird jeweils der Energieinput in die Trocknung reduziert. Dabei verbessert sich entsprechend die Gesamtbilanz.

Phosphorrecycling

Neben der energetischen Betrachtung muss bei der Klärschlamm-entsorgung auch die Phosphor-Thematik berücksichtigt werden. Von der gesamten Phosphorfracht in Abfällen, die in der Schweiz jährlich anfällt (13'500 t), macht der Anteil im Klärschlamm rund die Hälfte aus. Es wird damit gerechnet, dass aus dem Klärschlamm über 6'000 t Phosphor pro Jahr theoretisch zurückgewonnen werden können. Dies entspricht etwa der Importmenge an mineralischen Düngemitteln (5'880 t Phosphor). Angesichts der begrenzten natürlichen Vorräte und steigender Preise wird in Zukunft ein Recycling interessanter. Dies ist aber nur möglich, wenn der Klärschlamm nicht mit anderen Verbrennungsrückständen vermischt bzw. in einer Monoverbrennung behandelt wird [25].

3.2 Weitere Möglichkeiten

Dieses Unterkapitel beschreibt Energiesparmöglichkeiten, deren (verfahrenstechnische) Grundlagen zwar bereits vorhanden sind, deren Umsetzung jedoch noch nicht üblich ist.

3.2.1 Optimierung der Schlammfäulung

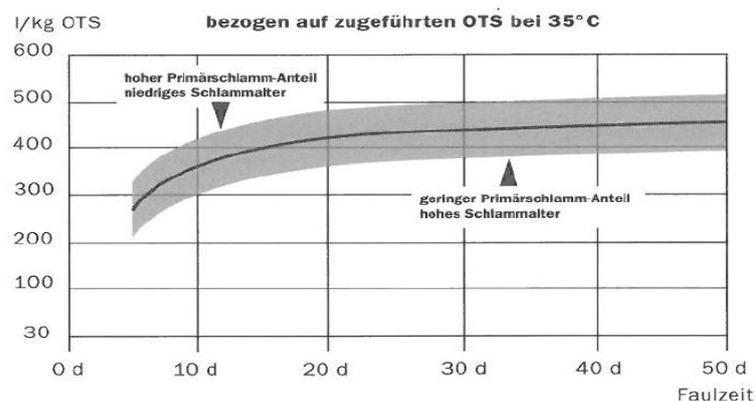
Fäulung in der Vorklärung

Aus der Vorklärung wird der Primärschlamm (und oftmals auch der Überschussschlamm) abgezogen. Um eine hohe Eindickung zu erreichen, wird der Schlamm häufig in der Vorklärung über längere Zeit zwischengelagert. Im Trichter der Vorkläerbecken entstehen anaerobe Zonen - der Schlamm beginnt zu Faulen. Dadurch geht in der Vorklärung Gas verloren, das sonst in der Fäulung angefallen wäre. Durch regelmässigen Schlammabzug (Verteilung der Zyklen über den Tag), lässt sich dieses Problem reduzieren. Dabei ist auf einen sinnvollen Kompromiss zwischen gewünschtem Eindickungsgrad und dem Verhindern der Fäulung in der Vorklärung zu achten.

Verlängerung der Faulzeit

Abbildung 20 zeigt den Zusammenhang zwischen der Gasproduktion, der Faulzeit und dem Primärschlamm-Anteil. Es ist deutlich erkennbar, dass die Gasproduktion bis zu einer Faulzeit von 20 Tagen stark und danach langsam zunimmt.

Abbildung 20: Gasentwicklung in Abhängigkeit der Faulzeit und des Primärschlamm-Anteils. Die Gasproduktion bezieht sich auf die organischen Stoffe, die dem Faulraum zugeführt werden [26].



Die Faulzeit (Aufenthaltszeit in Fäulung) kann durch verschiedene Möglichkeiten erhöht werden:

- Frischschlammvorentwässerung
- Faulwasserseparation aus Fäulung (Hochlastfäulung)
- Nutzung des Schlammstapels als zusätzlichen Faulraum
- Desintegration

Dank technischen Entwicklungen wie die Frischschlammvorentwässerung oder die Hochlastfäulung kann die Aufenthaltszeit nach Möglichkeit

optimiert werden. Die Nutzung von Stapelvolumen als Faulraum wird heute denkbar, da seit dem Ausbringverbot von Klärschlamm in die Landwirtschaft keine Stapelung über längere Zeit mehr notwendig ist. Bei einer anschliessenden Entwässerung des Faulschlammes ist dabei auf eine vorgängig vollständige Ausgasung zu achten.

Die Auswertung der Umfrage in Kapitel 2.1.2.7 zeigt, dass die Klärgasproduktion pro in die Faulung zugeführte org. Substanz den Erwartungswert deutlich übertreffen kann. Dies deutet darauf hin, dass bei einer Optimierung der Faulung die Gasausbeute ev. stärker als heute angenommen erhöht werden kann.

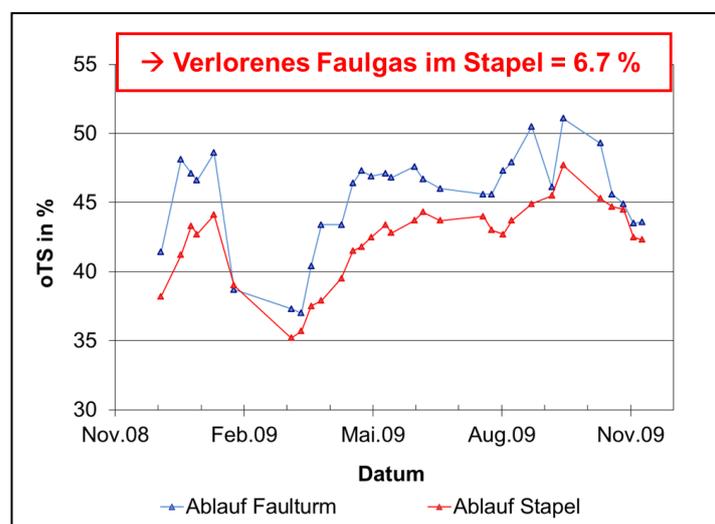
Die Erhöhung des Primärschlammanteils im Frischschlamm wird im folgenden Kapitel 3.2.2 erörtert.

Nachfaulung

Nach der Faulung wird der Schlamm im Stapel zwischengelagert. Im Stapel besteht immer noch eine gewisse biologische Aktivität, die zu einer weiteren Gasproduktion führt. In der Nachfaulung geht aufgrund unverschlossener Stapelräume oftmals ein beträchtlicher Anteil des Faulgases in die Atmosphäre verloren.

zeigt als Beispiel eine Messreihe der Glühverluste im Ablauf des Faulturmes sowie im Ablauf des Stapels einer Kläranlage. Der Unterschied zwischen den beiden Kurven entspricht der Nachfaulung. Der Anteil des verlorenen Faulgases beträgt knapp 7 %. Nebst einer geringeren Ausbeute an Strom und Wärme trägt dieser Gasverlust auch überproportional zur Klimaerwärmung bei. Methan weist ein 25mal grösseres Treibhauspotential auf als Kohlendioxid. Indem der Stapel mit einer Gashaube versehen und ans Gassystem angeschlossen wird, erhöht sich die Energieproduktion und gleichzeitig wird die Methanemission in die Umwelt reduziert.

Abbildung 21:
Faulgasverluste im Stapel
[27].



3.2.2 Steigerung der Abscheideleistung der Vorklärung

Je grösser die Abscheideleistung der Vorklärbecken ist, desto mehr organische Stoffe gelangen nicht in die Biologie, sondern in den Faulturm. Der Abbau erfolgt in der Faulung unter anaeroben Bedingungen, wodurch die Gasproduktion entsprechend ansteigt und verwertbares Klärgas entsteht (siehe Abbildung 20). In der Biologie kann im gleichen Masse Belüftungsenergie eingespart werden.

Bei der Abscheidung von organischen Stoffen muss darauf geachtet werden, dass noch genügend organische Substanz für die Denitrifikation zur Verfügung steht. Die zu denitrifizierende Fracht lässt sich durch eine Separatbehandlung von Faulwasser verringern (z.B. Strippung, Annamox - siehe auch Kapitel 3.1.2).

Vorfällung/Flockung

Nebst grossen Vorklärbecken mit einer entsprechend hohen Aufenthaltszeit lässt sich auch mit einer verbesserten Hydraulik oder Vorfällung/Flockung mehr Organik in der Vorklärung abscheiden. Bislang wurde diese Massnahme vor allem bei ARA, deren Kapazität eigentlich schon überschritten ist, zur Einhaltung der Einleitbedingungen (vorübergehend – bis zum Ausbau) oder bei Biofilterverfahren ergriffen.

Ein konkretes Beispiel zeigt, dass mit einer Vorfällung der Abscheidegrad für die organische Substanz in der Vorklärung von den üblichen 33 % auf 57 % gesteigert werden konnte. Ziel der Vorfällung war, zu hohe Frachten aus der überlasteten Biologie fernzuhalten. Mit einer solchen Erhöhung der Abscheidung lassen sich folgende Auswirkungen berechnen:

- Abnahme des Sauerstoffverbrauchs zum CSB-Abbau in der Biologie (-36 %)
- Zusätzlicher Anfall an CSB im Primärschlamm (+73 %)
- Zusätzliche Gasproduktion und damit zusätzlicher Stromertrag bei der Mikrogasturbine (+21 %)
- Anstieg des Fällmittelverbrauchs und der Schlamm Entsorgungskosten aus der Fällung

Die Wirtschaftlichkeit dieser Massnahme hängt von der Entwicklung des Strompreises sowie der Fällmittel- und der Schlamm Entsorgungskosten ab.

3.2.3 Co-Vergärung

Mit den technischen Möglichkeiten zur Erhöhung der Kapazität der Schlammfaulung (Kap. 3.2.1) wird es möglich, zusätzliches vergärbare Material von ausserhalb der ARA anzunehmen. Dank der Erweiterung der Systemgrenzen über den ARA-Zaun hinaus, können sich je nach Standort der ARA sinnvolle Kooperationen mit Industriebetrieben, Gastronomie oder Landwirtschaft ergeben. Diese Betriebe können ihre Abfälle entsorgen, während im Faulturm der ARA dafür mehr Gas anfällt. Voraussetzung dafür ist, dass genügend Kapazität im Faulraum und in der Biologie (Rückbelastung der ARA mit zusätzlichem Energieverbrauch) vorhanden ist.

3.2.4 Erweiterung der Systemgrenzen

Setzt man die Systemgrenzen der Energieoptimierung beim ARA-Zaun, so gehen zahlreiche Synergien verloren. Ein wesentliches Potential liegt daher in der Erweiterung der Systemgrenzen. Je nach Lage der ARA existiert z.B. die Möglichkeit eines Wärmeverbundes; einer externen Nutzung von Klärgas oder Abwasserwärme.

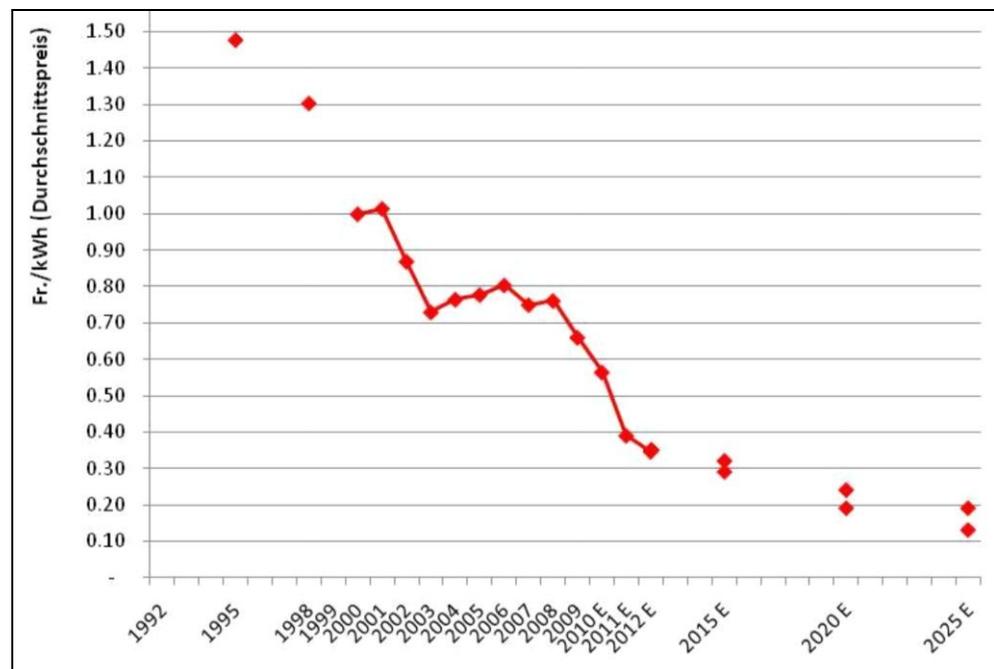
Selbstverständlich birgt auch das Kanalnetz mit seinen Pumpwerken Optimierungspotential – dies war jedoch nicht Thema dieser Studie und muss separat untersucht werden.

3.2.5 Photovoltaik

Die Kosten zur Stromproduktion mittels Photovoltaikanlagen sind in der Vergangenheit stark gesunken. Gemäss einer Schätzung von Swissolar ist die Photovoltaik nach 2025 auf der Produktionsebene zu anderen Erzeugungsarten konkurrenzfähig [29].

Kläranlagen weisen grosse Flächen auf, welche sich für eine Nutzung von Solarenergie eignen. Mit tendenziell sinkenden Preisen wird die Nutzung dieses Potentials zur Produktion von Solarenergie zunehmend interessanter.

Abbildung 22:
Preisentwicklung PV-Strom
Schweiz. Daten bis 2009
IEA PVPS, ab 2010:
Schätzungen Swissolar
[29].



3.3 Zukunftstechnologien

In zahlreichen Bereichen wird intensiv geforscht. In diesem Kapitel präsentieren wir Technologien, welchen das Potential zugesagt wird, die Energiebilanz der ARA in Zukunft wesentlich beeinflussen zu können.

3.3.1 Hydrothermale Karbonisierung

Bei der hydrothermalen Karbonisierung handelt es sich um ein neues Verfahren, das zur energetischen Nutzung von Biomasse im Klärschlamm angewendet werden kann. Dieses Verfahren bildet den Kohlegestehungsprozess innerhalb weniger Stunden technisch nach.

Bei der hydrothermalen Karbonisierung wird die zu behandelnde Biomasse bei einem Druck von 20 bis 35 bar und einer Temperatur um 200 °C unter Luftabschluss und Zugabe von Katalysatoren dehydriert. Dabei werden von der Biomasse H₂O-Moleküle unter Energieabgabe abgespalten. Die durch die Reaktion freigesetzte Wärme wird mittels Wärmetauschern zurückgewonnen und für die Erwärmung des Klärschlammes verwendet. Dadurch kann die für den Prozess benötigte thermische Energie verringert werden.

Gemäss den Lieferanten verbleibt im Schlamm am Ende eine Nettoenergie zwischen 80 und 90 %. Das entstehende Produkt liegt als Kohle-Wasser-Gemisch vor, welches relativ einfach auf einen TS-Gehalt von 60 bis 70 % TS entwässert werden kann. Das Produkt wird anschliessend verbrannt (mit entsprechender potentieller Energienutzung).

Bewährt sich die Hydrothermale Karbonisierung im praktischen Betrieb, so könnte dieses System ev. eine interessante Alternative zu den heutigen Verfahren zur Klärschlammmentsorgung darstellen [30].

Die thermische Verwertung der produzierten Kohle erfolgt mit Vorteil in einer Monoverbrennung, damit die P-Rückgewinnung ermöglicht wird.

3.3.2 Brennstoffzellen für Biogas

Brennstoffzellen erzeugen elektrischen Strom direkt aus der im Gas enthaltenen chemischen Reaktionsenergie. Damit vermeiden sie im Vergleich zu konventionellen Wärmekraftmaschinen den Umweg der thermischen und mechanischen Energiezustände und erzielen daher höhere elektrische Wirkungsgrade. Der realisierte Wirkungsgrad liegt derzeit bei 40 bis 55 %. Zudem bleibt der Wirkungsgrad bei einer Nennleistung von 40 bis 100 % nahezu konstant. Gegenüber einem BHKW weisen Brennstoffzellen auch bessere Emissionswerte in den Abgasen auf (vgl. [31]).

Brennstoffzellen sind aber relativ sensibel im Einsatz mit Biogas. Die Anforderungen an die Gasqualität sind daher höher als bei BHKWs. Ein

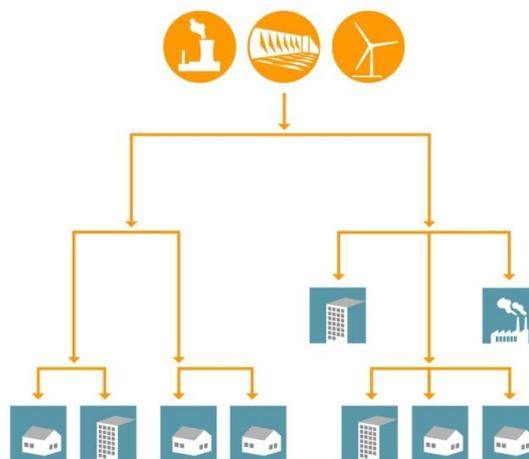
weiterer Nachteil ist die erforderliche Energiezufuhr für den Anfahrprozess und die erhöhten Sicherheitsanforderungen an die Installationen aufgrund der Präsenz von Wasserstoff [31].

3.4 Smart Grid

3.4.1 Definition

In der traditionellen Netzstruktur wird der Strom zentral produziert und an den Verbrauch angepasst (Abbildung 23).

Abbildung 23:
Traditionelle Netzstruktur:
Zentrale Stromerzeugung
mit verbrauchsorientierter
Produktion [28].

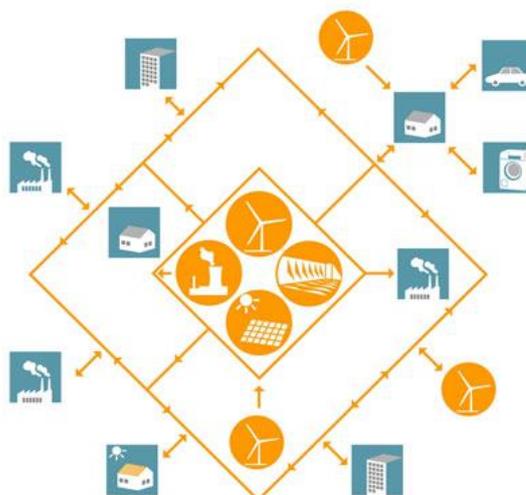


Folgen:

- + Zentral steuerbare Produktion
- + Produktion von Bandenergie (AKW, Flusskraftwerke)
- + Produktion von Spitzenenergie (Speicher, Gas-Combi)
- Teure Lastspitzen, grosse Netze
- Erneuerbare Energien nur bedingt nutzbar (Wind, Sonne)

Aufgrund des Trends von der zentralen Stromerzeugung hin zu dezentralen Erzeugungsanlagen gewinnen intelligente Stromnetze (engl. Smart Grids) zunehmend an Bedeutung. Beim Smart Grid wird die Stromerzeugung, die Speicherung, die elektrischen Verbraucher und die Netzbetriebsmittel kommunikativ vernetzt und gesteuert (Abbildung 24).

Abbildung 24:
Vernetzung & Steuerung
von Stromerzeugung,
Speicherung und
Verbrauch [28].



Folgen:

- + Weniger Lastspitzen
- + Viele kleine Erzeuger möglich
- + Höherer Anteil erneuerbarer Energie
- Produktion schwer vorhersehbar
- Aufwändige Steuerung erforderlich
 - Versorgungssicherheit schwieriger (Redundanzen)

Dadurch wird eine Optimierung und Überwachung der miteinander verbundenen Bestandteile ermöglicht. Dies wird insbesondere wichtig, wenn der Anteil von erneuerbaren Energiequellen wie z.B. Wind- und Solarenergie an der Gesamtproduktion zunimmt und dadurch die Produktion volatiler wird.

Ziel eines Smart Grid ist die Sicherstellung der Energieversorgung auf Basis eines effizienten und zuverlässigen Systembetriebs.

3.4.2 Potential der ARA für Smart Grid

Eine ARA kann einen ausgleichenden Einfluss auf das Stromnetz ausüben, indem sie ihre Stromproduktion und den Stromverbrauch von gewissen definierten Prozessen zeitlich verschiebt.

Aus einem anderen Blickwinkel kann auch gesagt werden, dass eine ARA das Potential hat, mit eigenen Ressourcen Zeiten überbrücken zu können, in denen das Stromnetz sehr schwach ist und kein Strom vom Netz bezogen werden kann/soll. Dies erhöht die Betriebssicherheit im Sinne des Gewässerschutzes im Falle einer unsicheren Stromversorgung.

Die Voraussetzung für die Steuerung und Koordination von Smart Grid Informationen ist durch das Prozessleitsystem (PLS) gegeben, welches auf jeder modernen ARA vorhanden ist.

Gezielte Beeinflussung der Stromproduktion

Bei den ARA mit Faulung ist Standardmässig ein Gasometer zur Zwischenspeicherung des Biogases vorhanden. Dieser Speicher gibt der Anlage eine gewisse zeitliche Flexibilität für die Verstromung des Faulgases in Abhängigkeit des Speichervolumens. Der Gasometer wurde oft auf einen Drittel bis zur Hälfte des Tagesanfalles ausgelegt.

Mit Hilfe der Daten kann eine grobe Abschätzung gemacht werden, wie viel Energie in den Gasometern bei den Anlagen mit mehr als 10'000 EW_m in etwa gespeichert werden kann.

Tabelle 8:
Grobe Hochrechnung
Energieinhalt in Gasometern

Mittlere Einwohnerwerte ARA >10'000	10.3 Mio EW _m	Kap. 2.1.1
Spez. Gasanfall pro EW _m	31 l/(d*EW _m)	Daten
Gasproduktion	300'000 m ³ /d	100 % Faulung
Unterer Heizwert Faulgas	6.3 kWh/Nm ³	Annahme
Heizwert Gasproduktion (H _u)	1'880 MWh/d	
Stromproduktion		
Energieinhalt Klärgas bei Verstromung	620 MWh _{el} /d	
Wirkungsgrad BHKW	33 %	Richtwert
Grösse Gasometer zu Tagesprodukt.	40 %	Annahme
Stromäquivalent in Gasometer etwa speicherbar (grob abgeschätzt)	250 MWh_{el}/d	

Das gesamthaft nutzbare Potential ist wesentlich abhängig von der Gasometergrösse. Die nutzbare elektrische Leistung bzw. wie schnell das gespeicherte Gas in Strom umgewandelt werden kann, hängt von der installierten Leistung der WKK ab.

Möchte man die auf der ARA gespeicherte Energie strategisch zum Netzausgleich verwenden, so sind entsprechende Empfehlungen für Gasometergrösse und WKK zu definieren. Daraus leitet sich die Tendenz zu grösseren und effizienteren Aggregaten ab. Entsprechend zu der veränderten Klärgasverwertung müssen mit einer Bewirtschaftung der Faulraumerwärmung auch die Möglichkeiten geschaffen, die Wärmeproduktion in der entsprechenden Zeit verwerten zu können.

Kurzfristige Senkung des Stromverbrauchs

Eine ARA kann bei Stromknappheit den Strombedarf reduzieren, indem nicht zeitkritische Prozesse verschoben werden.

Die Prozesse der Abwasserreinigung sind grundsätzlich kontinuierlich zu betreiben und sollten nicht unterbrochen werden:

- Abwasserhebewerk
- Rechen
- Sandfangbelüftung
- Rezirkulationen
- Belüftung der Biologie
- Fällmitteldosierung
- Filtration

Neben der kontinuierlichen Reinigung gibt es auch noch diskontinuierliche Prozesse, welche zeitlich flexibler sind:

- Überschussschlammabzug und Voreindickung
- Stabilisierung (Rührwerke, Umwälzpumpen oder Gaseinpressung)
- Schlammwässerung
- Schlammrocknung
- Regenbeckenentleerung
- Option der Bewirtschaftung ARA-Zufluss bzw. des vorgelagerten Kanalisations-systems
- Faulwasserdosierung (Effekt auf Belüftung in Biologie)

Grundsätzlich hängt die zeitliche Flexibilität von der Auslegungsgrösse und der Grösse der Pufferkapazitäten zwischen den Prozessen ab. Ein grösserer Puffer vermindert die Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten. Je grösser die Auslegung, desto schneller kann eine Charge abgearbeitet werden. Damit verlängert sich die Zeit in welcher ein Prozess ausser Betrieb sein kann. Die Anlagen sind heute meist so geplant, dass eine zeitliche Flexibilität der Prozesse um mehrere Stunden möglich ist.

Bei einer Planung einer gesteuerten Bewirtschaftung des Stromverbrauchs durch gezielte Ausserbetriebnahmen von Prozessen muss darauf geachtet

werden, dass sämtliche verfahrenstechnischen Randbedingungen berücksichtigt werden. Die Umsetzung von Smart Grid auf Kläranlagen ist sicherlich möglich und sinnvoll, muss aber auch „smart“ betrieben werden. Hierzu sind eine ganzheitliche Planung und eine Implementierung möglichst im Zusammenhang mit ARA-Ausbauten anzustreben. Die konsequente Umsetzung von Smart Grid auf Kläranlagen wird aber wesentlich davon abhängen, ob mit neuen Stromkostenmodellen entsprechende Anreize geschaffen werden, die hierfür notwendigen Investitionen auszulösen.

Zurzeit werden vom Verein InfraWatt im Rahmen eines Forschungsauftrages des Bundesamtes für Energie die Möglichkeiten zum Netzausgleich von Infrastrukturanlagen bei Produktion und Verbrauch untersucht. Dabei werden unter anderem an drei Fallbeispielen unter den Kläranlagen Machbarkeitsstudien erstellt und eine Hochrechnung für die ganze Schweiz durchgeführt. Resultate sind auf Herbst 2012 zu erwarten, wobei neben den langfristig ausgerichteten Szenarien auch kurzfristig machbare Massnahmen untersucht werden [32].

4 MÖGLICHE POLITISCHE HANDLUNGSOPTIONEN

4.1 Instrumente für Kläranlagen

Wirksamkeit der
verschiedenen Instrumente

In diesem Kapitel werden die möglichen Handlungsoptionen untersucht. Dazu werfen wir zunächst einen generellen Blick auf den Energiebereich und auf die Studie vom Interface Institut für Politikstudien (2009) im Auftrag des Energie Dialog Schweiz sowie des Bundesamtes für Energie [33]. Die Studie untersuchte die Frage, „unter welchen Bedingungen staatliche Instrumente zur direkten und indirekten Steuerung im Energiebereich wirksam sind?“ Dabei wurde zwischen vier Kategorien von Instrumenten unterschieden, an deren Unterteilung wir uns im Bericht halten:

- regulativ
- finanziell
- persuasiv
- strukturierend

Grunderkenntnis war, dass es für eine hohe Wirkung einerseits griffige Instrumente, andererseits aber auch eine hohe Vollzugsintensität mit Kontrollen und Sanktionen braucht (vgl. Anhang A 2).

wirtschaftlich interessante
Energiepotenziale

Die Auswertung der Umfrage bei den Kantonen und Praxisbeispiele zeigen, dass bereits heute diverse Kläranlagen energetisch sehr gut sind und dass die Richtwerte aus dem Leitfaden realistisch und in der Praxis machbar sind. Die Auswertungen zeigen aber auch, dass die meisten Kläranlagen noch über beträchtliche Energiepotenziale verfügen. Dass diese Potenziale auch betriebswirtschaftlich genutzt werden können, zeigen zahlreiche Feinanalysen und die Muster-Beispiele aus dem Jahre 2012 im neuen Anhang des Leitfadens "Energie in ARA" [1].

neue energiepolitische
Zielsetzung für
Kläranlagenbereich
definieren und umsetzen

Der Bundesrat und das Parlament hat 2011 die Energiewende beschlossen; dazu braucht es in allen Bereichen verstärkte Anstrengungen. Auch bei den Kläranlagen lautet die Zielsetzung, den Fremdstrombezug zu senken, wobei der Energiebedarf für weitere Reinigungsanforderungen wie die Elimination von Mikroverunreinigungen durch zusätzliche Energieeffizienz und Steigerung der erneuerbaren Energien zumindest kompensiert werden soll. Diese Ziele sind angesichts der aufgezeigten Potenziale in 2.1.3 realistisch, es braucht aber zur Zielerreichung grosse zusätzliche Anstrengungen. Die Frage stellt sich nun, wie die Rahmenbedingungen zur weitgehenden Umsetzung der vorhandenen Energiepotenziale auf den Kläranlagen verbessert werden können. Bei der Beurteilung der Massnahmen ist auch die Verhältnismässigkeit zu berücksichtigen, werden doch z.B. den Einfamilienhäusern im Gegensatz zu den Kläranlagen sehr strenge energetische Anforderungen auferlegt.

Betreiber zum "Glück"
führen oder zwingen?

Zusätzliche Massnahmen sind vor dem Hintergrund der neuen Energiepolitik des Bundes bzw. der angestrebten Energiewende neu zu bewerten. Die bisherigen Instrumente und deren Vollzug reichen bei den Kläranlagen nicht aus. Zunächst stehen sogenannte "weiche" Massnahmen wie Information, Beratung, Anreize über Label sowie die Aus- und Weiterbildung im Vordergrund. Diese Massnahmen sind freiwillig und für den Staat kostengünstig. Diese Instrumente sollen verstärkt werden, sie erzielen aber alleine nicht die notwendige Wirkung. Deshalb muss auch ein gewisser "Zwang" der ARA zur energetischen Optimierung diskutiert werden, insbesondere wenn dieser Zwang zu einer ökonomischen Verbesserung des Betriebes der Kläranlagen führt. Dabei gilt es zunächst den Spielraum von bestehenden Gesetzen wie der Förderung der Stromproduktion durch die KEV, Gewässerschutzverordnung vom 1.1.1999 (Artikel 13, 2.1 Fachgerechter Betrieb mit Energieoptimierung), Grossverbrauchermodell durch Verstärkung des Vollzuges zu nutzen und weitere Instrumente zu prüfen.

Grundsatz:
Gewässerschutz einhalten
oberste Priorität

Bei der Energieoptimierung der Kläranlagen gilt - und das sei an dieser Stelle nochmals betont - immer der Grundsatz, dass die Anforderungen an die notwendige Reinigungsqualität und einen sicheren Betrieb immer gewährleistet sein müssen. Dies gilt für alle nachfolgend vorgeschlagenen Instrumente.

4.2 Regulative Instrumente

Die vorgängig zitierte Studie [33] verweist bei den regulativen Instrumenten insbesondere auf Vorschriften in Gebäuden. Dabei wird dem Vollzug besondere Beachtung geschenkt. So wird z.B. ein Baugesuch auch für kleine Gebäude nur bewilligt, wenn die energetischen Vorschriften eingehalten werden.

Spezifisch für die Kläranlagen werden folgende Massnahmen zur Diskussion vorgeschlagen:

- I. Grossverbraucher: Umsetzung bestehende Gesetzesgrundlage
- II. Gewässerschutzgesetz: Fachgerechter Betrieb mit Energieoptimierung
- III. Fördermittel knüpfen an Energieanforderungen
- IV. UVP an Energieanforderungen binden
- V. Anforderungen an Klärlagen bei Neubau und Erneuerung/Sanierung
- VI. Vorschrift zur weitergehenden Abwärmenutzung intern / extern
- VII. Vorgaben an Branche (Kontingente, Zielvorgaben)

I. Grossverbrauchermodell:

Ausgangslage Die gesetzliche Basis ist in der Schweiz bereits heute vorhanden, damit die Kantone Grossverbraucher über 5 GWh/a Wärmeverbrauch und/oder 0,5 GWh/a Stromverbrauch zur Energieoptimierung verpflichten können. Mit dem Grossverbrauchermodell können auch bereits mittlere Kläranlagen angehalten werden, die machbaren Energiemassnahmen zu ermitteln und jene Massnahmen umzusetzen, die wirtschaftlich sind. Das ist grundsätzlich auch im Interesse der Betreiber und Gebührenzahler. Zahlreiche Kantone verfügen über die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen; die Möglichkeiten werden aber im Bereich der Kläranlagen noch kaum konsequent vollzogen. Gründe für die fehlenden Aktivitäten dürften unter anderem sein, dass die fachlichen Grundlagen und entsprechendes Personal für Bewilligung und Kontrolle bei den Kantonen fehlen.

Massnahmen Wir schlagen zur verstärkten Umsetzung und landesweiten Verbreitung folgende Massnahmen vor:

- Erarbeitung praxisnaher Umsetzungsgrundlagen für die Kantone aufgrund erster Erfahrungen und den Fachgrundlagen im neuen Leitfaden Energie in ARA [1], wobei die Energiekennwerte aus dem Leitfaden periodisch überprüft werden sollten, insbesondere für neuere Technologien (z.B. Mikroverunreinigung).
- Möglichkeiten einer neutralen und fachkompetenten Unterstützung der Kantone beim Vollzug durch externe Organisation prüfen.
- Vollzugshilfen den Kantonen unterbreiten.
- Fachliche Unterstützung der Betreiber und Planer sowie Vollzugsbehörden durch neutrale, kompetente Auskunft und Beratung sowie Schaffung von Aus- und Weiterbildungsangeboten.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: gross, relativ rasch
 Kosten¹²: gering
 Umsetzbarkeit: mittel

II. GSchV: Fachgerechter Betrieb mit Energieoptimierung:

Ausgangslage In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) wird in Artikel 13 ein fachgerechter Betrieb der ARA verlangt, was gemäss der zugehörigen Vollzugshilfe beinhaltet, "den Energieverbrauch zu optimieren". Die Vollzugshilfe verlangt auch, dass wenn die Anlage noch nicht optimiert ist, dass die Ursachen vom Betreiber geklärt und entsprechende Massnahmen getroffen werden müssen. Die Vollzugshilfe ist deshalb eine ausgezeichnete Grundlage für die Umsetzung der Energiepotenziale auf den Kläranlagen, wird aber in der Praxis noch kaum vollzogen. Gründe dafür sind, dass die Anforderungen an eine energetisch optimierte Anlage nicht definiert und auch nicht rechtlich verbindlich sind.

¹² Kosten für Staat zur Entwicklung der politischen Instrumente, Einführung und Vollzug

Massnahmen In der Vollzugshilfe zum Artikel 13 der GSchV sollen die Kriterien an eine energetisch optimierte Kläranlage präzisiert werden, wobei sich diese auf die energetische Bewertung mit Richt-/Idealwerten und qualitativen Beurteilungen aus dem Leitfaden [1] abstützen können. Dazu müssen den Kläranlagenbetreibern und Vollzugsbehörden auch die notwendigen Hilfsmittel (EDV-Tool, Anleitung dazu) und Ausbildungen angeboten und der Vollzug ebenfalls kontrolliert werden. Die Kläranlagen sollen verpflichtet werden, analog zu den Betriebsdaten auch die Energiedaten jährlich zu erheben und zu bewerten, bei Nichterfüllung der Anforderungen entsprechende Massnahmen aufzuzeigen und in konkreten Schritten umzusetzen. Die Unterlagen sind jährlich den zuständigen Behörden bei den Kantonen abzuliefern. Die Vollzugsbehörden kontrollieren die energetischen Anforderungen und sorgen für den Vollzug der entsprechenden Massnahmen. Die Kantone haben dem BAFU jährlich Bericht über den Vollzug zu erstatten und das BAFU stärkt den Vollzug durch die Kantone. Dazu sind folgende Massnahmen notwendig:

- Standardisierung der Datenerhebung.
- Entwicklung energetische Anforderungen und standardisierter EDV-Tools inklusive Anleitung für Kläranlagen und Vollzugsbehörden.
- Bund präzisiert die energetischen Anforderungen der ARA in den Vollzugshilfen bzw. GSchV und gewichtet diese entsprechend.
- Betreiber und ihre Planer sowie die Vollzugsbehörden sind durch eine neutrale, kompetente Anlauf- und Auskunftsstelle bei Fragen zu den Anforderungen und vor allem aber auch für fachliche Fragen zur Energieoptimierung zu unterstützen. Parallel dazu sind entsprechende Aus- und Weiterbildungsangebote zu schaffen.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung:	gross
Kosten:	gering
Umsetzbarkeit:	mittel

III. Förderbeiträge knüpfen an Energieanforderungen:

Ausgangslage Finanzielle Förderbeiträge von Bund und Kanton für Kläranlagen sind an Energieanforderungen zu knüpfen. Erwünscht wäre die Verpflichtung einer systematischen Energieoptimierung der gesamten Anlage, auch wenn nur einzelne Bereiche der Anlage gefördert werden.

Massnahmen Die Kantone prüfen die rechtlichen Möglichkeiten und leitet die Umsetzung ein. Dazu werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

- Kantone entwickeln konkrete energetische Anforderungen für finanzielle Förderungen und Vollzugshilfen.
- Kantone setzen Massnahme um und kontrollieren den Vollzug.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: mittel
 Kosten: mittel
 Umsetzbarkeit: nicht einfach

IV. UVP an Energiekennwerte binden:

Ausgangslage Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) betrifft Kläranlagen über 20'000 Einwohnerwerten, wenn die Anlagen neu gebaut oder in wesentlichen Teilen ausgebaut werden. Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung soll zukünftig auch der Energiebereich untersucht und bei Kläranlagen energetische Anforderungen gemäss dem Leitfaden [1] verlangt werden.

Massnahmen Der Bund prüft, inwiefern die UVPV präzisiert und der Vollzug ergänzt werden müsste und setzt die Massnahme um. Die kantonalen Umweltschutzämter werden sensibilisiert, die Energieanforderungen bei der Umweltverträglichkeitsprüfung entsprechend zu berücksichtigen.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: mittel bis gross
 Kosten: gering
 Umsetzbarkeit: mittel

V. Energetische Anforderungen bei Neubauten, Sanierungen und Erweiterungen:

Ausgangslage Die vorgängig aufgeführte Studie [33] nennt Zulassungsbedingungen für Anlagen und Geräte als wirksames Instrument, wobei der Vollzug mit einer strengen Kontrolle entscheidend für die Wirkung ist. Wir schlagen deshalb diese Massnahme bzw. energetische Anforderungen auch für Kläranlagen vor, wenn diese neu erstellt, erweitert oder saniert werden. Energiemassnahmen lassen sich gemäss Leitfaden [1] bei Kläranlagen am einfachsten, kostengünstigsten und wirkungsvollsten umsetzen, wenn sie von Anfang an bei einem Neubau oder der Erneuerung/Sanierung eingeplant werden. Als Anforderungskriterien dienen - analog zum Grossverbrauchermodell oder GSchV - die Richt- bzw. Idealwerte und die qualitativen Bewertungskriterien aus dem Leitfaden als Basis. Diese erlauben eine gesamtheitliche und individuell an die spezielle Ausgangslage der jeweiligen Anlage angepasste Optimierung. Diese Kennwerte beinhalten zudem auch Anforderungen an einen Mindestanteil an erneuerbaren Energien und eine Minimierung der Abfackelung. Einzelanforderungen sind kaum geeignet. Da bei einer ARA zwischen der Auslegungsgrosse und der effektiven durchschnittlichen Belastung nach der Inbetriebsetzung grosse Unterschiede bestehen, ist zwingend darauf zu achten, dass die aktuelle Situation und nicht der ev. in 20 Jahren erreichte Zustand optimiert wird.

Massnahmen	Wir schlagen folgende Schritte unter Leitung von BAFU/BFE vor: <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung energetischer Anforderungen und standardisierter EDV-Tools inklusive Anleitung für Kläranlagen und Vollzugsbehörden. • Bund prüft gesetzliche Grundlagen (z.B. ENV) und einen effizienten Vollzug mit konsequenter Kontrolle. • Für Betreiber und ihre Planer sowie die Vollzugsbehörden sind neutrale und kompetente Angebote für Auskunft und Beratung sowie Aus- und Weiterbildungsangebote zur Energieoptimierung zu schaffen.
Bewertung	Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen: <p>Wirkung: sehr gross Kosten: gering Umsetzbarkeit: mittel</p>

VI. Vorschrift zur Klärung Abwärmenutzung intern / extern:

Ausgangslage	<p>Die Kläranlagen verfügen mit der Wärme im Abwasser, der Abwärme aus den Blockheizkraftwerken und Gebläsen etc. über sehr grosse Energiequellen. Alleine das Angebot der Abwärme aus dem Abwasser würde ausreichen, um einen Sechstel aller Gebäude im Einzugsgebiet einer Kläranlage versorgen zu können [1]. Die Wärme wird dabei dem Abwasser mit Wärmetauschern entzogen und mittels Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden in der Nähe der geeigneten Kanäle oder der Kläranlage genutzt. Die Technologie ist erprobt, wie rund 80 Anlagen in der Schweiz mit z.T. über 30-jähriger, positiver Betriebserfahrung zeigen. Anlagen sind bei gegebener Ausgangslage auch wirtschaftlich konkurrenzfähig zu konventionellen Heizungen. Sie sind umweltfreundlich, auch im Vergleich etwa zu Erdöl- oder Erdgasheizungen, Wärmepumpen mit Grundwasser oder Erdreich [34]. Einer der wichtigen Gründe, warum diese Energiequelle nicht genutzt wird, ist ein rein organisatorisches Problem: Die Kläranlagen nahmen Voruntersuchungen kaum auf, da es bisher nicht ihre Aufgabe war. Die potenziellen Abnehmer wissen häufig nichts von den Möglichkeiten oder scheuen den Aufwand für die Absprachen und Vorabklärungen. Aus diesem Grunde sollen die Kläranlagen verpflichtet werden, die Energiepotenziale vor, auf und nach der Kläranlage sowie eine mögliche Nutzung zu klären. Die Umsetzung soll dann durch die Wirtschaft vollzogen werden, wie das heute schon häufig erfolgreich im Contracting realisiert wird. Deshalb schlagen wir auch vor, auf eine schärfere Massnahme wie die Abwärmenutzungspflicht für Kläranlagen zu verzichten. Mit dieser "weicheren" Pflicht zur Ermittlung der Möglichkeiten zur Abwärmenutzung hat die Kläranlage den Vorteil, dass sie von Anfang an auch die Anforderungen an die Abwasserreinigung und eine stabile Betriebsführung einbringen und z.B. durch die Bestimmung von Kontingenten insbesondere bei der Abwasserwärmenutzung aus dem Kanal vor der ARA sicherstellen kann.</p>
--------------	---

Massnahmen Der Bund prüft die rechtlichen Möglichkeiten einer landesweiten Verankerung (z.B. GSchV, Energieplanung) und entwickelt Vollzugsmodelle.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: sehr gross
 Kosten: gering
 Umsetzbarkeit: nicht ganz einfach

VII. Zielvorgaben an Kläranlagen-Branche:

Ausgangslage Der Bund ermöglicht, im Rahmen des CO₂-Gesetzes Zielvereinbarungen mit der gesamten Branche festzulegen. Dadurch können jene Unternehmungen höhere CO₂-Einsparungen liefern, die das am kostengünstigsten realisieren können und anderen Unternehmen, wo es viel teurer wäre, zu einem günstigeren Preis verkaufen. Die Frage ist, ob dieses Modell auch für den Energieverbrauch und für Kläranlagen möglich wäre.

Massnahmen Der Bund prüft in einem ersten Schritt, ob dieser Weg aufgrund der Erfahrungen mit dem CO₂-Gesetz im ARA-Sektor praktikabel und sinnvoll wäre. Falls ja, werden die Ziele definiert (z.B. schweizweit keine Steigerung des Strombezuges), ein Modell entwickelt und umgesetzt.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: gross
 Kosten: gering
 Umsetzbarkeit: schwierig

4.3 Finanzielle Instrumente

KEV - wirksames Instrument zur Förderung der erneuerbaren Stromproduktion

Die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) ist ein Beispiel eines finanziellen Instrumentes. Sie garantiert eine Vergütung der Gestehungskosten über die Lebensdauer der Anlage. Zahlreiche Kläranlagen haben deshalb den Bau oder den Ersatz ihrer alten Blockheizkraftwerke geprüft, ein Gesuch für die KEV eingereicht und bei einer Bewilligung auch häufig realisiert. Mit der KEV kann die erneuerbare Stromproduktion gerade auf den Kläranlagen wirksam gefördert werden. Im Bereich der Energieeffizienzsteigerung beim Stromverbrauch fehlt hingegen ein analoges Instrumenten noch vollständig.

Energieeffizienz, ein Mauerblümchen

Der Mangel an Förderinstrumenten im Effizienzbereich ist umso gravierender, als die Potenziale auf den Kläranlagen in diesem Bereich

etwa gleich gross sind wie bei der Stromproduktion. Auch wenn eine finanzielle Förderung in Form von Subventionen wirksam sein könnte, stellt sich vor allem die Frage, wer soll die Fördermittel finanzieren? Mit dem Bonus-Malus-System fällt diese Frage weg.

Spezifisch für die Kläranlagen werden folgende Massnahmen zur Diskussion vorgeschlagen:

- I. Kostendeckende Stromeinspeisevergütung KEV
- II. Bonus-Malus System
- III. Finanzielle Investitionsförderung von Energiesparmassnahmen

I. Kostendeckende Stromeinspeisevergütung (KEV):

Ausgangslage Die KEV hat in der Abwasserbranche viel bewirkt. Das Thema wurde einerseits wegen der finanziellen Vergütung selbst und andererseits dank der Informations-/Überzeugungskampagne unter anderem durch EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen (InfraWatt) in Zusammenarbeit mit dem VSA landesweit verbreitet. Diese Massnahmen waren sehr wichtig, weil in den vorangegangenen Jahren ein Trend sichtbar wurde, dass die alten BHKW nicht mehr ersetzt oder bei umfassenden Sanierungen von Kläranlagen immer mehr auf die energetisch positive Faulung verzichtet wurde. Der Erfolg ist an der grossen Zahl der eingereichten Gesuche von Kläranlagen für die KEV augenscheinlich.

Massnahmen Der Bund prüft, dass wieder ausreichend Mittel für die KEV zur Verfügung stehen, auch für zukünftige Gesuche von neuen Klärgas-BHKW. Zudem soll die Vergütung tatsächlich den gesamten Gestehungskosten entsprechen und geprüft werden, ob es z.B. tatsächlich sinnvoll ist, den Strom auch physisch ins Netz einzuspeisen, was erhöhte Kosten für eine Einspeisung bei der Trafostation verursacht, oder ob nicht auch für den internen Verbrauch auf der Kläranlage die KEV vergütet werden könnte. Zudem könnte längerfristig zur nationalen Netzstabilisierung von Interesse sein, wenn die Produktion nach dem Bedarf gesteuert wird (Smart Grid), was z.B. mit einem Zuschlag für diese Leistungen zu gewissen Zeiten bewirkt werden könnte.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: sehr gross
Kosten: gross
Umsetzbarkeit: sehr gut

II. Bonus-Malus-System für Energiemassnahmen:

Ausgangslage Das Bonus-Malus-System kann Anreize (praktisch) zum Nulltarif für den Staatshaushalt schaffen. Kläranlagen, welche aufgrund der jährlichen Angaben über die Energiedaten die Richtwerte nicht erreichen, zahlen einen Beitrag in einen Topf ein. Aus diesem Topf können gezielt

Energieanalysen und vor allem auch Umsetzungen von Energiemassnahmen von Kläranlagenbetreibern gefördert werden. Die Förderung kann gezielt dort eingesetzt werden, wo eine hohe Wirkung erzielt wird und wo sonst keine Förderinstrumente vorhanden sind, z.B. im Effizienzbereich.

Massnahmen Der Bund prüft die gesetzlichen Möglichkeiten und die politische Akzeptanz generell und entwickelt einen konkreten Vorschlag für die Kläranlagen.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: sehr gross
Kosten: gering
Umsetzbarkeit: sehr schwierig

III. Finanzielle Förderung an Energiemassnahmen (Subventionen):

Ausgangslage Eine Alternative zum Bonus-Malus-System wäre eine finanzielle Förderung in Form von Subventionen aus staatlichen Mitteln. Auch hier könnten die Mittel gezielt dort eingesetzt werden, wo eine hohe Wirkung erzielt und sonst keine Anreizinstrumente vorhanden sind. Pauschale Beiträge wie im Gebäudebereich pro m² Fensterfläche dürften sich auf einer Kläranlage weniger eignen.

Massnahmen Das BAFU prüft die gesetzlichen Möglichkeiten und die politische Akzeptanz und entwickelt einen konkreten Vorschlag. Die Kantone prüfen, inwieweit Massnahmen auf Kläranlagen über die Energieförderprogramme teilweise begünstigt werden können.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: sehr gross
Kosten: gross
Umsetzbarkeit: schwierig

4.4 Persuasive Instrumente

Die anfangs aufgeführte Studie führt unter den persuasiven Instrumenten v.a. Information, Beratung, Audits, Labels und Aus- und Weiterbildung auf.

Spezifisch für die Kläranlagen werden folgende Massnahmen zur Diskussion vorgeschlagen:

- I. Kompetenzzentrum Energie in ARA
- II. Verstärkung Aus- und Weiterbildung zu Energiefragen
- III. Förderung von Gutachten und Energieanalyse
- IV. Label

I. Kompetenzzentrum "Energie in ARA":

Ausgangslage	Die Fachgrundlagen zur Energieoptimierung auf den Kläranlagen sind mit dem Handbuch (1994) bzw. dem kürzlich neu überarbeiteten Leitfaden Energie in ARA (2010) von VSA/BFE und EnergieSchweiz [1] weitgehend vorhanden. Das Bewusstsein und das Know-how zum Energiethema muss aber in den Entscheidungsprozessen der ARA-Verantwortlichen, bei der Planung und im Betrieb noch gestärkt werden. Dazu braucht es ein Kompetenzzentrum Energie in ARA, in welchem das "Energie-Wissen" und „Energie-Gewissen“ gepflegt und weitergegeben wird. Das Kompetenzzentrum soll aus den führenden Energie-Köpfen der Abwasserbranche der Schweiz bestehen, sei dies aus der Forschung zu Energiethemen, der Schulung oder Experten mit Praxiserfahrung. Das Kompetenzzentrum muss neutral sein und darf die Wirtschaft nicht konkurrenzieren. Eine solche Organisation existiert mit dem Verein InfraWatt, welcher Energiefragen im Bereich Abwasser, Wasser, Abfall und Abwärme behandelt. InfraWatt besteht aus den Fachverbänden, also auch aus dem VSA und ist mit dem Mandat EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen beauftragt. Darüber hinaus hat der VSA mit dem Kompetenzzentrum Abwasserreinigung, Fachbereich Energie auch intern eine Organisation geschaffen, welche die aktuellen Energiethemen strategisch mitgestalten wird.						
Massnahmen	<p>Den Kompetenzzentren sind entsprechende finanzielle Mittel zur Verfügung zu stellen, damit sie ihre Aufgaben im Bereich Information, Beratung, Aus- und Weiterbildung mit entsprechendem Personalaufwand nachkommen und ausbauen können:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Anlaufstelle für alle Energiefragen im Abwasserbereich für Behörden (Bund, Kanton), Entscheidungsträger der ARA (Politiker, Gemeindeverwaltungen), Betriebsleiter, Betriebspersonal, Planer, Hersteller, Forschung, Fachverbände etc.. 2. Sammelt Fachwissen, Erfahrungen und bringt diese in der Branche in verständlicher Weise ein und arbeitet mit den relevanten Forschungsstellen im In- und Ausland zusammen. 3. Bietet telefonische Auskunft und Informationsmaterial an. 4. Bietet neutrale Beratung vor Ort an (vergünstigt oder kostenlos). 5. Führt Informationskampagnen und Apelle durch. 6. Hält Referate und Schulungen zum Energiethema Kläranlagen. 7. Organisiert Veranstaltungen und Besichtigungen von Vorzeiganlagen. 						
Bewertung	<p>Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:</p> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Wirkung:</td> <td>gross</td> </tr> <tr> <td>Kosten:</td> <td>klein</td> </tr> <tr> <td>Umsetzbarkeit:</td> <td>sehr gut und rasch möglich</td> </tr> </table>	Wirkung:	gross	Kosten:	klein	Umsetzbarkeit:	sehr gut und rasch möglich
Wirkung:	gross						
Kosten:	klein						
Umsetzbarkeit:	sehr gut und rasch möglich						

II. Verstärkung Aus- und Weiterbildung zu Energiefragen:

Ausgangslage	Die Fachgrundlagen zur Energieoptimierung sind mit dem Leitfaden Energie in ARA weitgehend vorhanden [1]. In der Praxis wird aber bei den Kläranlagen eine systematische Energieoptimierung bei der Planung, dem Bau oder dem Betrieb noch zu wenig umgesetzt. Das Bewusstsein und das notwendige Know-how muss vermehrt vermittelt werden. Dazu muss die Ausbildung wie auch die Weiterbildung auf allen Stufen zu den Energiethemen im Abwasserbereich gestärkt und ausgebaut werden. Zielgruppen sind Betriebspersonal, Betriebsleitung, Entscheidungsträger der Abwasserverbände (politische Vertreter in Gemeinden), Planer aus Branche (zukünftige ausbilden, aktuelle weiterbilden und vor allem sensibilisieren), Hersteller, etc.						
Massnahmen	<p>Der VSA (CC ARA, Fachbereich Energie) prüft den heutigen Stand der Aus- und Weiterbildung, evaluiert Lücken unter Berücksichtigung der geplanten Massnahmen der verschiedenen betroffenen Institutionen und entwickelt konkrete Vorschläge:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Erstellung Konzept über sinnvolle Bildungsangebote unter Nutzung von Synergien bestehender Angebote und Strukturen (vgl. auch laufende Studie von InfraWatt). 2. Erstellung und ständige Anpassung von Fachgrundlagen ausgehend vom Leitfaden Energie in ARA [1] und Entwicklung von Lektionen sowie der dazu notwendigen Schulungsunterlagen für die verschiedenen Stufen. 3. Vermittlung von Lernangeboten unter Nutzung bestehender Strukturen oder allenfalls Schaffung neuer Schulungsangebote. 						
Bewertung	Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:						
	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Wirkung:</td> <td>sehr gross, aber eher mittel- bis langfristig</td> </tr> <tr> <td>Kosten:</td> <td>mittel</td> </tr> <tr> <td>Umsetzbarkeit:</td> <td>gut</td> </tr> </table>	Wirkung:	sehr gross, aber eher mittel- bis langfristig	Kosten:	mittel	Umsetzbarkeit:	gut
Wirkung:	sehr gross, aber eher mittel- bis langfristig						
Kosten:	mittel						
Umsetzbarkeit:	gut						

III. Förderung von Gutachten und Energieanalysen:

Ausgangslage	Mitte der 90-iger Jahre wurden vom damaligen BUWAL mit dem BFE die erste Auflage des Handbuches "Energie in ARA" erstellt und Aus- und Weiterbildungskurse durchgeführt. Wie das BUWAL allerdings feststellen musste, ging es in der Praxis noch nicht wie erhofft voran. Die Umsetzung von Energiemassnahmen hat erst einen entsprechenden Impuls erhalten, als mit dem Programm "Energie 2000" Beratungen durch neutrale Fachleute durchgeführt und Energieanalysen durch das BFE finanziell gefördert wurden. Nachdem diese Förderung der Gutachten wegen Budgetfragen eingestellt wurde, war ein Rückgang zu verzeichnen. Diese Erfahrung wurde auch im Programm Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg in den letzten zwei Jahren gemacht. Information und Beratungen waren die Grundlagen, entscheidend für die ersten konkreten Abklärungsschritte war aber die Förderung der Machbarkeitsstudien. Mit diesem Massnahmenpaket wurde tatsächlich eine grosse Zahl von
--------------	--

Gutachten ausgelöst, die auch zu Projekten oder gar Realisierungen führten. Zusätzlich wurde die Realisierung von Anlagen durch (grössere) Finanzbeiträge an die Investitionen gefördert. Es hat sich aber gezeigt, dass nicht die Höhe der Förderung wichtig war, denn sie hat die Wirtschaftlichkeit schlussendlich in den meisten Fällen nicht wesentlich verbessert. Entscheidend war, dass es eine Förderung gab, was für die Politiker den Entscheid in den Gemeinden zur Realisierung vereinfachte, weil mit der Förderung quasi auch das Land hinter diesem Projekt stand.

- Massnahmen Standardisierte energetische Feinanalysen nach dem Pflichtenheft im Leitfaden Energie in ARA [1] werden vom Bund finanziell gefördert, z.B. prozentual oder mit einem Fixbetrag. Das gleiche gilt für Machbarkeitsstudien zur Abwasserwärmenutzung. Die Energieanalysen werden von neutralen, kompetenten Fachleuten überprüft und abschliessend den ARA-Betreibern präsentiert. Dadurch soll die Erfüllung der geforderten Aufgaben geprüft, eine Qualitätssicherheit der Machbarkeitsstudien gewährleistet und nicht zuletzt auch die Umsetzungsquote der vorgeschlagenen Massnahmen erhöht werden.
- Bund erstellt Konzept, prüft Finanzierung und setzt Programm um.

Bewertung Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:

Wirkung: gross
 Kosten: klein bis mittel
 Umsetzbarkeit: gut

IV. Label:

Ausgangslage Der VSA und EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen bzw. InfraWatt haben für Kläranlagen das Label "Médaille d'eau" vergeben. Dies hat auch zu einer breiten PR-Aktion und einer gewissen Sensibilisierung der Betreiber geführt und auch energiebewusste Politiker und Personal bei ihren Arbeiten unterstützt.

- Massnahmen Médaille d'eau hat Wirkung gezeigt und wird vom VSA und InfraWatt weitergeführt:
1. Médaille d'eau wie geplant durch VSA/InfraWatt weiterführen, Konzept überprüfen und wie geplant 2012 durchführen.
 2. Übergabe der Label PR-wirksam vermarkten zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit und Abwasserbranche; hohe Persönlichkeit für Anlass mit Übergabe anfragen.

Bewertung	Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:	
	Wirkung:	mittel (indirekte Massnahme)
	Kosten:	klein
	Umsetzbarkeit:	rasch und einfach

4.5 Strukturierende Instrumente

Durch die strukturierenden Instrumente sollen gemäss [33] die Akteure gestärkt werden im Sinne der Energieoptimierung.

Spezifisch für die Kläranlagen werden folgende Massnahmen zur Diskussion vorgeschlagen:

- I. Aufbau Erfahrungsaustauschgruppen unter Betreibern
- II. Benchmarking

I. Erfahrungsaustauschgruppen:

Ausgangslage Der Deutsche Abwasserfachverband DWA hat mit den sogenannten "Nachbarschaften" erfolgreich ein Netzwerk für einen Erfahrungsaustausch unter Betreibern aufgebaut. In der Schweiz führt die EnAW "Energie Agentur der Wirtschaft") mit EnergieSchweiz mit Erfolg einen Erfahrungsaustausch für Betriebsleiter von Unternehmungen aus der gleichen Branche und gleichen Regionen durch. Die teilnehmenden Unternehmungen verzeichnen dank diesem Erfahrungsaustausch, der von neutralen Spezialisten moderiert wird, Energieeinsparungen von 10% und mehr.

Massnahmen Das BAFU prüft mit dem VSA die Möglichkeit und Finanzierung, ein Netzwerk für einen Erfahrungsaustausch für ARA-Betreiber aufzubauen und zu unterstützen, sei dies für die politischen Entscheidungsträger, Betriebsleiter oder Betriebspersonal. Dabei soll neben Gewässerschutz, Verfahren etc. auch das Thema Energie seinen Platz erhalten. Von Spezialisten wird ein aktuelles Thema mit Energiepotenzial ausgewählt, ein Anlass organisiert, ein Impulsreferat durch Experten gehalten und vom betroffenen ARA-Betreiber kommentiert, und anschliessend unter den Betreibern ausgiebig diskutiert. Beim nächsten Treffen berichten alle Betreiber über ihre Erfahrungen bei der Umsetzung dieser Energiemassnahmen. Der Anlass kann mit einer Besichtigung von guten Beispielen verbunden werden.

Bewertung	Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:	
	Wirkung:	mittel
	Kosten:	klein
	Umsetzbarkeit:	rasch und einfach

II. Benchmarking:

Ausgangslage	Mit einem Benchmarking Energie kann die eigene Anlage energetisch eingestuft und auch Lücken bzw. Potenziale erkannt werden. Durch den Vergleich wird gleichzeitig auch der sportliche oder finanzielle Anreiz geschaffen, sich zu verbessern. Damit ein Erfahrungsaustausch untereinander stattfinden kann, sollte die strenge Vertraulichkeit, die mit Benchmarking in der Regel verbunden ist, gelockert werden. Für ein energetisches Benchmarking liegen die Grundlagen mit den Kennwerten aus dem Leitfaden weitgehend vor. Es ist zu bemerken, dass beim Benchmarking die erreichte Reinigungsleistung der Kläranlagen mit berücksichtigt werden.						
Massnahmen	<p>Voraussetzung für ein Benchmarking ist, dass die Datenerhebung und Dokumentation unter den beteiligten Kläranlagen vereinheitlicht und zentral zusammengeführt wird. Das Handbuch Energie in ARA gibt hierzu eine Checkliste vor. Das CC Abwasserreinigung, Fachbereich Energie hat die Notwendigkeit für Verbesserungen der systematischen Datenerfassung ebenfalls bereits erkannt.</p> <p>Der Bund prüft den Aufbau von einem weitreichenden Benchmarking der energetischen Situation auf den Kläranlagen. Dabei stehen zwei Wege im Vordergrund:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Auswertung der Daten bei den Kantonen und individuelle Information der einzelnen Kläranlagen über die Bewertung und Potenziale. Fachkompetente und neutrale Beratungen von ARA mit Potenzial und Handlungsbedarf anbieten, möglichst auch Fördergelder für Energieanalysen. 2. Aufbau eines EDV-Portals zum Kennzahlenvergleich für ARA 						
Bewertung	<p>Wir beurteilen diese Massnahmen folgendermassen:</p> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Wirkung:</td> <td>mittel bis gross</td> </tr> <tr> <td>Kosten:</td> <td>klein</td> </tr> <tr> <td>Umsetzbarkeit:</td> <td>rasch und einfach</td> </tr> </table>	Wirkung:	mittel bis gross	Kosten:	klein	Umsetzbarkeit:	rasch und einfach
Wirkung:	mittel bis gross						
Kosten:	klein						
Umsetzbarkeit:	rasch und einfach						

4.6 Handlungsoptionen im Überblick und Empfehlung

Im Folgenden sind die Handlungsoptionen mit Einschätzung für deren Wirksamkeit, Kosten und Umsetzbarkeit zusammengefasst.

Tabelle 9:
Handlungsoptionen

Massnahme	Wirkung	Kosten	Umsetzbarkeit
Regulative:			
<u>Grossverbrauchermodell</u>	++	-	+
<u>Fachgerechter Betrieb</u>	++	-	+
Subvention an Energieanforderungen knüpfen	+	--	-
UVP verlangt Idealwerte	+ / ++	-	+
Anforderung Neubau/Sanierung	+++	-	+
Klärung Abwärmenutzung	+++	-	-
Zielvorgaben Branche	+++	-	--
Finanzielle:			
<u>KEV</u>	+++	---	+++
Bonus/Malus	+++	-	--
Subventionen	+++	---	--
Persuasive:			
Kompetenzzentrum	++	-	+++
<u>Aus- und Weiterbildung</u>	+++	--	++
Förderung Energiegutachten	++	- / --	++
Label	+	-	+++
Strukturierende:			
Erfahrungsaustausch	+	-	++
<u>Benchmarking</u>	+ / ++	-	+++

Wirkung: sehr gross (+++), gross (++), mittel (+)

Kosten: gering/klein (-), mittel (- -), gross (- - -)

Umsetzbarkeit: sehr gut (+++), gut (++), mittel (+), nicht einfach (-), schwierig (- -)

Empfehlung

Grundsätzlich können alle vorgeschlagenen Massnahmen einen positiven Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und Energieproduktion leisten. Hinsichtlich der Wirkung, Kosten und Umsetzbarkeit können jedoch einige Massnahmen priorisiert werden.

Die **regulativen Instrumente** weisen prinzipiell eine sehr hohe Wirkung auf und kosten die öffentliche Hand wenig. Die Umsetzbarkeit ist aber nicht immer einfach. Die gesetzliche Basis liegt bei den Massnahmen für einen fachgerechten Betrieb gemäss GschV und beim Grossverbrauchermodell bereits vor. Es müssen aber noch Präzisierungen für verbindliche

Vorgaben definiert werden. Diese Massnahmen sollten umgehend geprüft und konsequent umgesetzt werden.

Finanzielle Instrumente können eine sehr hohe Wirkung erzielen, die Kosten sind aber auch sehr hoch. Zudem ist die Umsetzbarkeit teilweise sehr schwierig. Die KEV wird bereits in der Praxis eingesetzt und sollte weitergeführt bzw. die Deckelung aufgehoben werden, da zur Zeit viele Projekte auf der Warteliste blockiert sind.

Persuasive Instrumente schneiden bei der Bewertung mit einer guten Wirkung bei tiefen Kosten und guter Umsetzbarkeit hervorragend ab. Es erstaunt daher nicht, dass persuasive Instrumente heute schon zum Teil eingesetzt werden. Schwierig dabei ist, dass die Zielgruppe auch flächendeckend erreicht wird. Mit einer Förderung der Aus- und Weiterbildung kann gezielt auf die Akteure eingegangen und dadurch auch eine grössere Reichweite der Massnahme ermöglicht werden.

Strukturierende Instrumente sind gut umzusetzen, kosten wenig und können doch etwas bewegen. Insbesondere beim Benchmarking wird erwartet, dass sich bei einer geschickten Umsetzung eine Eigendynamik entwickelt, welche beim Anlagenbetreiber das Bewusstsein stärkt, durch Effizienzsteigerung und Innovationen sich im „sportlichen Sinn“ zu verbessern.

Standardisierung der Datenerhebung

Die meisten Massnahmen basieren auf einem Vergleich von gemessenen Daten einer ARA zu Richtwerten oder zu Messungen von anderen ARA. Damit die Vergleichbarkeit auch gegeben ist, müssen die Messungen standardisiert und detaillierte Richtlinien erarbeitet werden.

Grossräumige Betrachtung

Beispiele zeigen, dass die Energiebilanz einer ARA zusätzlich optimiert werden kann, wenn die Systemgrenze nicht nur auf eine einzelne ARA beschränkt ist, sondern diese im Kontext mit der Umgebung gesehen wird. So können überregionale Schlammkonzepte, Wärmeverbunde mit industriellen Wärmeabnehmern/-lieferanten, eine koordinierte Biogasverwertung, eine Co-Substrat-Annahme und viele weitere grossräumige Konzepte die energetische Situation der Anlagen weiter verbessern.

HOLINGER AG

Bearbeitung: Elija Kind
Gian Andri Levy

5 LITERATURVERZEICHNIS

Folgende Datengrundlagen standen bei der Erarbeitung des Berichtes zur Verfügung:

- [1] *Müller, E.A., Kobel, B., Schmid, F., Levy, G., Kind, E., Moser, R., Brügger, R., Roth, Y., Graf, E.* (2008 / 2010): Energie in ARA, Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen (2008/2010). Im Auftrag des Bundesamtes für Energie und des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Bern/Zürich.
- [2] *BUWAL* (1999): Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 35, Betrieb der zentralen Abwasserreinigungsanlagen.
- [3] *Binggeli, S., Lintner, S., Diener, H-P.* (2011): Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung. Im Auftrag der Fachorganisation Kommunale Infrastruktur (KI) und des Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Bern/Zürich.
- [4] *BAFU* (2006): Adressliste der Schweizer Kläranlagen mit Angaben zu deren Ausbaugrösse.
<http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01295/01296/01298/index.html>
- [5] *BAFU* (2004): Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz, Mengen- und Kapazitätserhebung, Umwelt-Materialien Nr. 181
- [6] *Kappeler* (2005-2010): Benchmarking für Schweizer Kläranlagen, Kappeler Infra Consult AG, Laufen (BL).
- [7] *Bundesamt für Energie* (2009): Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz, Bern.
- [8] *Abegglen, C. et al* (2011): Mikroverunreinigungen, Energieverbrauch und Kosten weitergehender Verfahren auf kommunalen ARA, GWA 07/11.
- [9] *Kolisch, G. et al* (2010): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (57), Nr. 10.
- [10] *HOLINGER AG* (2009): „Bauprojekt Ausbau ARA Meilen“, März 2009.
- [11] *Salzgeber, D. et al.* (2009): Biologische Schlammwasserentstickung mit partieller Nitrifikation und anaerober Ammoniumoxidation (PNAA).
- [12] *HOLINGER AG*: Projektdatenblatt „Rücklaufwasserbehandlung Klärwerk Werdhölzli Zürich“.
- [13] *Kind, E.* (2007): Simultane Ammoniumoxidation von aeroben und anoxischen Ammoniumoxidieren, Experimente und Modellierung mit Faulwasser und Urin.
- [14] *Siegrist, H. et al.* (2008): Anammox brings WWTP closer to energy autarky due to increased biogas production and reduced aeration energy for N-removal, WST 2008.
- [15] *EAWAG* (2011): Produktion eines Düngers aus Abwasser (Luftstrippung)
<http://www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/luftstrippung/>

- [16] *Eco Power Systems AG* (März 2009): Vorprojekt: Abwasserkraftwerk ARA Schwyz / Ibach.
- [17] *HOLINGER AG* (2001), Projektdatenblatt „Gas- und Wärmeverbund ARA Röti – IVF, Neuhausen“.
- [18] *Deiss, C.* (2007): Energiequelle zum Heizen und Kühlen; Grösste Abwasserenergienutzungsanlage in der Schweiz, GWA 06/07.
- [19] *ERZ Entsorgung + Recycling Zürich* (September 2010): VSA-Vortrag: „Energieproduktion in der ARA“.
- [20] *Holinger Solar AG* (April 2003): Informationsblatt „ARA Manneberg, Effretikon: Solarstromkraftwerk – Photovoltaik“.
- [21] *Caduff G., Müller E.A.*: Klärschlamm-trocknung durch Abwärme – am Beispiel KVA Biel, gwa 06 / 2007.
- [22] *Bux, M. et al.* (2002): Solare Trocknung von Flüssigschlamm in kleinen Kläranlagen, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 3.
- [23] *Warthmann, P.* (2006): Trocknungsanlage nutzt Abwasserwärme, HK-Gebäudetechnik 9/06.
- [24] *Kind, E.* (2009): Klärschlamm – ein erneuerbarer Energieträger, GWA 06/09.
- [25] *BAFU* (2009): Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung, Eine Bestandesaufnahme.
- [26] *Gujer, W.* (2002): Siedlungswasserwirtschaft, S. 297.
- [27] *HOLINGER AG*, VSA-Vortrag: „Energieverwertung in Kläranlagen“, September 2010.
- [28] *ABB* (2009): Pressemitteilung, Smart Grids, Flexible Netze sind Voraussetzung zum Erreichen der Klimaschutzziele, 17. 2. 2009.
- [29] *Swissolar* (Mai 2011): „Einheimisch und erneuerbar: Wertschöpfung in der Region“, Informationsveranstaltung Zürich erneuerbar.
- [30] *HOLINGER AG* (2011): „Klärschlammverwertung ARA Oftringen; Variantenstudie“, Juni 2011.
- [31] *Prof. Dr.-Ing. Steinmetz, H et al.* (2007): Innovative Energiekonzepte für Kläranlagen, 82. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium 11.10.2007. Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. Stuttgart.
- [32] *Müller, E.A.; Frei U; Kernen M.; Kobel, B.; Moser, R.* et al (2011/12). Potential der Schweizer Infrastrukturanlagen zur Erbringung von Systemdienstleistungen. Laufende Forschungsarbeit im Auftrage des Bundesamtes für Energie.
- [33] *Interface Institut für Politikstudien* (März 2009): Wirksamkeit von Instrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Förderung erneuerbarer Energien; Studie im Auftrag des Energie Trialog Schweiz und des Bundesamtes für Energie.

- [34] *Müller, E.A.; Kobel, B.; Müller, K.; Billmaier, K.; Lambauer, J.* (2010). Untersuchung der Voraussetzungen für Projekte zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Deutschland.

Anhang

Umfrage Kantone

Politische Handlungsoptionen

A 1. UMFRAGE KANTONE

Abgefragte Kennzahlen

In der Umfrage wurden folgende Kennzahlen der Anlagen abgefragt. Die grün hinterlegten Kennzahlen wurden dabei als ‚wichtige Werte‘ gekennzeichnet.

	Kennzahl	Bemerkung	Einheit
ARA	Nr.		
	Kt.		
	Name ARA		
Belastung ARA Zulauf	Abwasseranfall	auf ARA behandelt	m ³ /a
	CSB im ARA-Zulauf (Rohwasser)	Mittelwert	kg/d
	NH ₄ -N im ARA-Zulauf Rohwasser	Mittelwert (ohne Rückflüsse)	kg _N /d
Belastung Ablauf VKB	CSB im Ablauf VKB	Mittelwert	kg/d
	NH ₄ -N im Ablauf VKB	Mittelwert (mit Rückflüssen)	kg _N /d
Verfahren mechanische Stufe	Vorklärung		m ³
	Vorfällung		1 / 0 (Ja/Nein)
Verfahren Biologie	Verfahren Biologie		
	Nitrifikation		1 / 0 (Ja/Nein)
	Denitrifikation		1 / 0 (Ja/Nein)
Verfahren Nachreinigung	Filtration		1 / 0 (Ja/Nein)
Stromverbrauch	Stromverbrauch TOTAL		kWh/a
	Stromverbrauch mech. Reinigung		kWh/a
	Stromverbrauch Biologie		kWh/a
	Stromverbrauch Nachreinigung		kWh/a
	Stromverbrauch Schlammbehandlung		kWh/a
	Stromverbrauch Nebenbetriebe		kWh/a
	Stromverbrauch Abwasserpumpwerke ARA	(Verfahrensunabhängig, im TOTAL enthalten, z.B. Hebewerk im ARA-Zulauf)	kWh/a
	Aussenwerke		kWh/a
Stromproduktion	Stromproduktion TOTAL		kWh/a
	Eigene Stromproduktion aus Biogas	BHKW, Gasturbine, inkl. KEV	kWh/a
	Stromproduktion aus Wasserkraft	Abwasserturbinierung	
	Stromproduktion aus Solaranlagen	Photovoltaik	
	Stromdefizit	Ohne Verkauf Differenz von Produktion zu Verbrauch	kWh/a
Gas	Faulgasproduktion		Nm ³ /a
	Faulgasverbrauch Heizung		Nm ³ /a
	Faulgasverbrauch Stromerzeugung	(BHKW, Gasturbine)	Nm ³ /a
	Abfackelung		Nm ³ /a
	Faulgasverkauf	(m ³ vor Aufbereitung)	Nm ³ /a
	Methangehalt Faulgas		%
Zukauf Wärmeträger	Heizölverbrauch		l/a
	Erdgasverbrauch		Nm ³ /a
	andere Wärmeträger		kWh/a
Schlammbehandlung	eigener Frischschlamm (ohne Schlammannahme)		m ³ /a
		Trockensubstanz	t TS/a
		Organische Trockensubstanz	t oTS/a
	angenommener Frischschlamm (zur Faulung)		m ³ /a
		Trockensubstanz	t TS/a
		Organische Trockensubstanz	t oTS/a
	Bei Faulung: dem Faulraum zugeführter Frischschlamm	Für die Gasproduktion verantwortlicher Frischschlamm	m ³ /a
			t TS/a
		t oTS/a	
Bemerkungen			

A 2. POLITISCHE HANDLUNGSOPTIONEN

Das Interface Institut für Politikstudien untersuchte im Jahr 2009 im Auftrag des Energie Trialog Schweiz sowie des Bundesamtes für Energie die Wirksamkeit von Instrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Förderung erneuerbarer Energien [33].

Die zentralen Gestaltungsprobleme sowie die Erfolgsfaktoren für den Einsatz unterschiedlicher Kategorien (regulativ, finanziell, persuasiv, strukturierend) wurden in dieser Studie tabellarisch zusammengefasst:

Tabelle 10:
Kritische Erfolgsfaktoren für
den Instrumenteneinsatz
[33].

	Regulative Instrumente	Finanzielle Instrumente	Persuasive Instrumente	Strukturierende Instrumente
Steuerungsprinzip	- Zwang	- Nutzenkalkül der Zielgruppe	- Appelle, Überzeugung	- Indirekte Steuerung durch Befähigung und Stärkung von Akteuren
Zentrales Problem bei der Gestaltung	- Definition angemessener Vorgaben - Kontrollproblem: Zielgruppe versucht sich dem Eingriff zu entziehen	- Informationsdefizit des Staats - Gefahr der Strukturzerhaltung und Ineffizienz	- Erzielen einer genügend grossen Reichweite (Anzahl erreichte Zielgruppen)	- Dauerhaftigkeit der initiierten Strukturen - Hohe Anforderungen an den Organisationsgrad der Zielgruppen
Erfolgsfaktoren Konzeption	- Angemessene Höhe der Vorgaben im Vergleich zum	- Absolute Höhe der Anreize - Vermeidung Mitnahmeeff-	- Stringente Konzeptionen gemäss den Regeln (Ziel-	- Einsatz, wenn Win-Win-Situationen möglich und

Fortsetzung Tabelle 10

	Regulative Instrumente	Finanzielle Instrumente	Persuasive Instrumente	Strukturierende Instrumente
	Status quo - Anpassungsmöglichkeiten (Verschärfung)	fekt durch Programm-konzeption	formulierung, Selektion der Zielgruppen, Ziel-Mittel-Verhältnis)	Mehrebenenstrukturen vorhanden sind - Verwendung, wenn andere Instrumente nicht einsetzbar sind
Erfolgsfaktoren Vollzug	- Hohe Vollzugsintensität mit Kontrollen und Sanktionen	- Vermeidung des Mitnahmeeffekts durch Kontrollen und Monitoring - Flexible Anpassung der Beiträge - Symbolischer Einsatz bei knappen Mitteln	- Nähe zur Zielgruppe erhöht die Wirkung: Audits und Energieberatung effektiver als Kampagnen - Langfristiger Einsatz notwendig für hohe Reichweiten	- Dauerhafte Aktivierung der Zielgruppen (inklusive Selbsthilfe) - Erhalten der kritischen Distanz zur Zielgruppe
Beispiele für wirksamen Einsatz in der Vergangenheit	- Gebäudevorschriften - Zulassungsbedingungen für Anlagen, Fahrzeuge und Geräte - Entwicklung von Konditionalprogrammen zu finalen Zielvorgaben	- Einspeisevergütungen sehr effektiv und einfach zu konzipieren - Steuern theoretisch am besten geeignet, aber selten umgesetzt	- Hochwirksam, wenn individuelle Beratung Zielgruppe erreicht (Audit für Gebäude, Beratung erneuerbare Energien)	- Netzwerke zu ausgewählten erneuerbaren Energien - Freiwillige Vereinbarungen mit Unternehmen unter Androhung von Sanktionen
Beispiele für unwirksamen Einsatz in der Vergangenheit	- Vorschriften ohne Vollzug und Kontrolle - Nachvollzug der technischen Entwicklung in den Vorschriften	- Förderprogramme mit hohen Mitnahmeeffekten - Förderprogramme mit zu geringen Beiträgen	- Beratungsangebote mit minimaler Reichweite - Schlecht konzipierte Kampagnen (nicht zielgruppenspezifisch, zu geringer Dauer)	- Bei Verteilproblemen, hoher Konkurrenz der Zielgruppen (Automobilindustrie) und ungenügendem Willen zur Kooperation

