



ENERGIEEFFIZIENZ KOMMUNALER KLÄRANLAGEN

Stand:
Oktober 2009

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Pressestelle
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Autor: Klaus Fricke
Fachgebiet III 2.5 - Überwachungsverfahren, Abwasserentsorgung

Titelbild: © darknightsky | Fotolia.de
Fotos: Fotolia.de

www.umweltbundesamt.de
E-Mail: pressestelle@uba.de



Einführung

Im Kampf gegen den Klimawandel gibt es ein bewährtes Mittel: Einfach mehr Energie sparen. Das schont Umwelt und Geldbeutel gleichermaßen.

Energie sparen lässt sich überall, egal ob Zuhause, in der Industrie oder im Verkehr. Auch die Kommunen können aktiv zum Klimaschutz beitragen, indem sie öffentliche Gebäude besser dämmen oder ihre Straßenbeleuchtung auf den neuesten Stand bringen.

Hohe Einsparpotentiale gibt es auch in den mehr als 10.000 kommunalen Kläranlagen. Noch sind diese für durchschnittlich fast 20 Prozent des Stromverbrauchs aller kommunalen Einrichtungen verantwortlich – und so richtige Stromfresser.

Kläranlagen benötigen fast 4.400 Gigawattstunden Strom pro Jahr. Anders ausgedrückt muss nur für die kommunalen Kläranlagen Strom in der Jahresleistung eines modernen Kohlekraftwerks erzeugt werden. Pro Jahr entstehen so rund 3 Millionen Tonnen des Klimagases Kohlendioxid (CO₂).

Dieser Ausstoß lässt sich um über 30 Prozent senken, ohne dass große zusätzliche Investitionen nötig sind. Besonders viel versprechend: Eine energiesparendere Belüftung der Belebungsbecken sowie die Energieerzeugung aus den Faulgasen der Klärschlämme in Blockheizkraftwerken.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen

Kläranlagen“ hat das Umweltbundesamt (UBA) untersucht, wie sich die Energieeffizienz von Kläranlagen kurz- und mittelfristig steigern lässt – natürlich ohne Abstriche bei der Reinigungsleistung oder der Betriebsstabilität hinzunehmen.

1. Stromverbrauch von kommunalen Kläranlagen

1.1 Allgemeines

In Deutschland sind ca. 94 Prozent der Bevölkerung an die kommunale Abwasserentsorgung angeschlossen. Hierzu stehen ca. 10.000 kommunale Kläranlagen zur Verfügung. Die restliche Bevölkerung reinigt ihr Abwasser in eigenen Kleinkläranlagen.

Die Kläranlagen sind mit durchschnittlich 20 Prozent Anteil in der Regel die größten Stromverbraucher im kommunalen Bereich und verbrauchen mehr Strom als Schulen, Krankenhäuser,



Verwaltungsgebäude oder andere kommunale Einrichtungen. Der Gesamtstromverbrauch der 10.000 Kläranlagen liegt in der Größenordnung von 4.400 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr. Das entspricht etwa dem Strombedarf von 900.000 Vier-Personen-Haushalten und einer CO₂-Emission von 3 Millionen Tonnen pro Jahr.

Vorrangige Aufgabe von kommunalen Kläranlagen ist die Eliminierung von Schadstoffen aus dem Abwasser gemäß den Mindestanforderungen des Anhangs 1 der Abwasserverordnung. Die Abwasserreinigung ist mit fortschrittlichen Verfahren nach dem Stand der Technik durchzuführen, um die Beeinträchtigung der Gewässer so weit wie möglich zu vermeiden. Anhang 2 zu §7a Wasserhaushaltsgesetz enthält die ökologischen Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik. Zu diesen Kriterien gehört auch der Einsatz energieeffizienter Verfahren.

Durch besondere regionale Verhältnisse können Anforderungen und damit Verfahrensschritte erforderlich sein, die über die Mindestanforderungen des Anhangs 1 der Abwasserverordnung hinausgehen und unter energetischem Aspekt nicht das Optimum darstellen wie die Membranfiltration oder die Abwasserdesinfektion. Diese Verfahrensschritte sind z. B. notwendig, wenn in ein Badegewässer gereinigtes Abwasser gelangt (Badegewässerrichtlinie).

1.2 Energiebedarf der unterschiedlichen Größenklassen

Anhang 1 zur Abwasserverordnung teilt die kommunalen Kläranlagen bezogen auf ihre Ausbaugrößen in 5 Größenklassen ein. Die unteren Größenklassen haben durchschnittlich höhere

Energiekennwerte, angegeben in verbrauchten Kilowattstunden pro angeschlossenen Einwohnerwerten und Jahr (KWh/EW x a) als die Größenklassen 4 und 5. Es gibt zwar kleine Kläranlagen, die energetisch genau so günstig arbeiten wie die großen, aber die Streubreite ist bei den kleinen Anlagen wesentlich ausgeprägter, da sich unterschiedliche regionale Gegebenheiten oder Sonderaggregate stärker auf den Gesamtenergiebedarf auswirken als bei den großen Anlagen.

Der Einwohnerwert (EW) ist definiert als die durchschnittliche Belastung des Abwassers eines Einwohners mit biologisch abbaubaren Stoffen. Die an eine Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerte setzen sich aus dem Abwasser der Bevölkerung sowie dem Abwasser aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die ihr Abwasser an kommunale Kläranlagen abgegeben, zusammen. Insgesamt sind in Deutschland ungefähr 127 Millionen Einwohnerwerte an die kommunalen Kläranlagen angeschlossen.

1.3 Energiebedarf der einzelnen Verfahrensschritte

Druckbelüftungssysteme leiten während der Hauptreinigungsstufe (Belebungsbecken) Luft-sauerstoff ein, um das Wachstum von aeroben Mikroorganismen zu ermöglichen und zu fördern. Die Mikroorganismen bewirken den biologischen Abbau von vor allem organischen Schadstoffen und bilden den Belebtschlamm, an dem zusätzlich biologisch nicht abbaubare Schadstoffe adsorbieren. Nach einer bestimmten Aufenthaltszeit im Belebungsbecken ist es üblich, den Belebtschlamm in dem darauf folgenden Nachklärbecken vom gereinigten Abwasser zu trennen und teilweise zur Verbesserung der mi-



Im Durchschnitt liegen die spezifischen Stromverbräuche nach unseren Informationen wie folgt bei:

Größenklasse 1	< 1.000 EW	75 kWh/EWxa
Größenklasse 2	> 1.000 – 5.000 EW	55 kWh/EWxa
Größenklasse 3	> 5.000 – 10.000 EW	44 kWh/EWxa
Größenklasse 4	> 10.000 – 100.000 EW	35 kWh/EWxa
Größenklasse 5	> 100.000 EW	32 kWh/EWxa

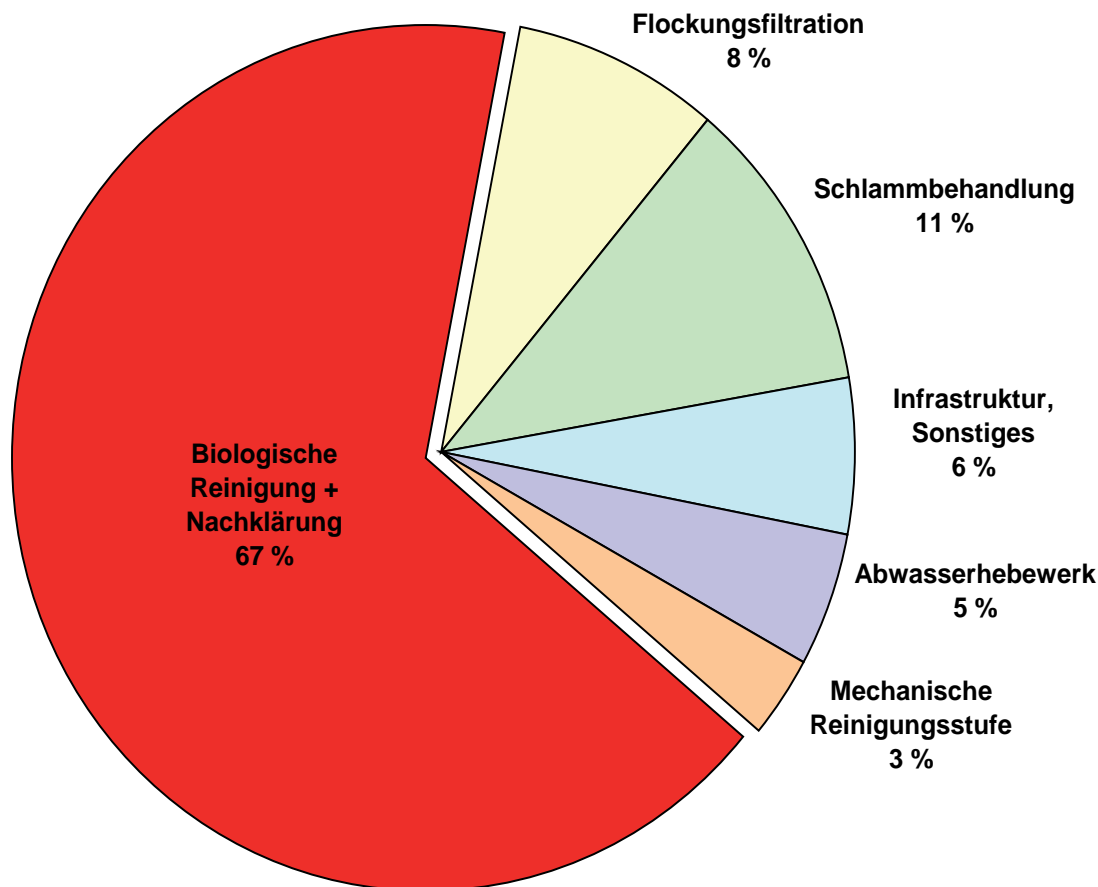
Die Größenklassen 4 und 5 haben zwar hinsichtlich der Anzahl nur einen Anteil von 22 Prozent an den 10.000 Kläranlagen, sie behandeln aber über 90 Prozent der Einwohnerwerte und verursachen etwa 87 Prozent des gesamten Stromverbrauchs.

krobiellen Reinigungsleistung in das Belebungsbecken zurückzuführen (Rücklaufschlamm) oder als Klärschlamm (Überschussschlamm) weiter zu behandeln und verwerten. Der eingetragene Luftsauerstoff oxidiert außerdem den Ammoniumstickstoff im Abwasser zu Nitrat und macht ihn damit der Elimination durch Mikroorganismen zugänglich (simultane Nitrifikation/Denitrifikation).

Die Belüftung erfordert in der Regel den mit Abstand größten Energieaufwand von allen Verfahrensschritten einer kommunalen Abwasserbehandlungsanlage. In Anlagen mit anaerober Schlammstabilisierung, d. h. mit nachgeschalteter Klärschlammfäulung und Biogasgewinnung (betrifft etwa 76 Prozent aller Einwohnerwerte)

liegt der Stromverbrauch für die Belüftung im Durchschnitt bei etwa 50 Prozent des gesamten Strombedarfs. Bei kleineren Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung erfordert die Belüftung zwischen 60 und 80 Prozent des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage.

Weitere Verbraucher mit hohem Stromverbrauch sind die kontinuierlich laufenden Pumpen (Zulauf, Zwischenhebwerke, Rückführung des Rücklaufschlammes, interne Kreislaufführung, Faulschlammumwälzung im Faulturm). Die drittgrößte Verbrauchergruppe bilden in der Regel die kontinuierlich laufenden Rührwerke, z. B. für die Denitrifikation und im Faulturm.



Diese Grafik zeigt typische Anteile der Verfahrensschritte am Gesamtenergiebedarf.

Diese drei Hauptkomponenten verbrauchen in normal geführten Anlagen über 80 Prozent des Stroms und sind somit Hauptansatzpunkte für die energetische Optimierung.

1.4 Energiebedarf durch neue Techniken/erhöhte Reinigungsanforderungen

Kläranlagen in den Größenklassen 4 und 5 (mit etwa 21,5 Millionen. angeschlossenen EW) filtern das gereinigte Abwasser im Ablauf zusätzlich mit Sandfiltrationsanlagen. Die im Durchschnitt einen Energiemehrbedarf von etwa 5 kWh/EWxa verursachen.

Membrananlagen steigern die Reinigungsleistung von Kläranlagen durch die Rückhaltung von feinsten Partikeln bis hin zu Bakterien und Viren erheblich. Die Anlagen erhöhen allerdings den Stromverbrauch für die Belüftung um ein Mehrfaches im Vergleich zu konventionellen Verfahren. Bei bestehenden Anlagen liegt der Gesamtstromverbrauch in der Größenordnung von 120 bis 130 kWh/EWxa, wobei bei neueren Anlagen und größerer Betriebserfahrung zweifellos ein günstigerer Verbrauch zu erzielen ist.

Nachgeschaltete Membrananlagen (z. B. zur Hygienisierung des Ablaufs und/oder des zusätzlichen Feststoff- und Phosphor- Rückhalts) sind hinsichtlich des Stromverbrauchs wesentlich günstiger. Nach bisherigen Betriebserfahrungen ist mit einem zusätzlichen Verbrauch von etwa 13 kWh/EWxa zu rechnen.

Die UV-Desinfektion mit dem Ziel der Einhaltung der Badegewässerqualität in den Gewässern erfordert nach bisherigen Erfahrungen mit Anlagen in Süddeutschland einen zusätzlichen Energieeinsatz von ca. 2,7 kWh/EWxa.

Die Behandlung des Abwassers mit Ozon ist sowohl zur Hygienisierung als auch zur Entfernung weiterer unerwünschter Stoffe (z. B. Arzneimittel) aus dem Abwasser einsetzbar. Für die Hygienisierung ist mit einem Energiebedarf von 20 kWh/EWxa, bei zusätzlicher Elimination von pharmakologisch wirksamen Substanzen, mit einem Bedarf von bis zu 100 kWh/EWxa zu rechnen.



2. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Wesentliche Energieeinsparpotenziale ermittelte die Forschergruppe bei den folgenden Verfahrensschritten:

- bei der Abwasserbehandlung (biologische Reinigung),
- bei der Klärschlammbehandlung (Faulgasgewinnung),
- bei der Klärschlammverwertung.

2.1 Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Abwasserbehandlung

In der biologischen Reinigungsstufe sind durch Austausch der Belüfter, Optimierung der Belüfteranordnung und Regelung der Belüftung über online -Messung der Ammoniumkonzentration (im Ablauf der biologischen Stufe) unter Umständen mehr als 50 Prozent der Belüftungsenergie (bis zu 10 kWh/EWxa) einsparbar. Energiefeinanalysen im Jahr 2005 in Nordrhein-Westfalen in 85 Kläranlagen ergaben, dass Maßnahmen zur energetischen Optimierung in der Belebung doppelt so hohe Einsparungen erbrachten wie die Maßnahmen bei den übrigen Verbrauchern.



Durch Verbesserung der Betriebsführung (u. a. Reduzierung der Kreislaufführung), Vermeidung von Druckverlusten (ausreichende Bemessung von Rohrleitungen und Armaturen) und Einsatz moderner Pumpen mit hoher Effizienz und geringer Verstopfungsanfälligkeit, könnte der Energiebedarf um bis zu 4 kWh/EWxa sinken.

Voraussetzung für die dauerhafte energetische Optimierung ist die Schaffung von Transparenz, d. h. Überwachung der größten Stromverbraucher (Gebläsestationen und Pumpwerke) durch Stromzähler und Messung des Druckverlustes der Belüftungseinrichtungen mit Manometern. Diese Kontrolle der wichtigsten Anlagenteile ist bisher noch nicht allgemein üblich, hat aber neben dem Hinweis auf Energieeinsparmöglichkeiten



häufig den Vorteil, auf diese Weise sich anbahnende Betriebsstörungen frühzeitig zu erkennen (Verstopfung von Pumpen, Ausfall der Belüftung).

Ein weiterer Ansatzpunkt, mit vergleichsweise geringem Aufwand deutliche Energieeffizienzsteigerungen zu erzielen, ist die Forderung, entgegen der derzeit noch üblichen Praxis, Pumpen und Gebläse nur mit Motoren der höchsten Effizienzklasse (EFF 1) einzusetzen, zumal sich in der Regel der höhere Kaufpreis durch eingesparte Energiekosten innerhalb weniger Monate amortisiert.

2.2 Energieeinsparung und -gewinnung bei der Klärschlammbehandlung

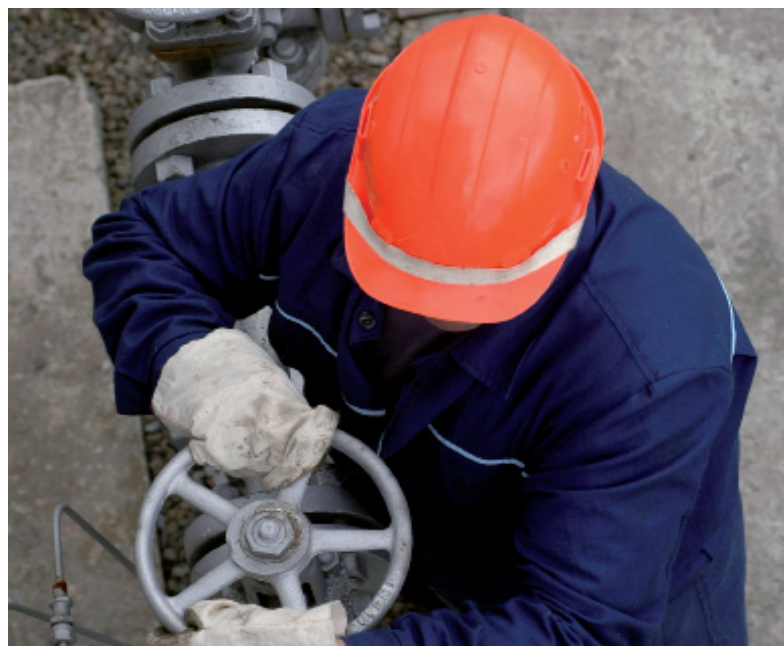
Im Jahr 2004 pumpten rund 1.150 Kläranlagen (fast 100 Prozent der Größenklasse 5 und ca. 45 Prozent der Größenklasse 4 mit 76 Prozent der angeschlossenen Einwohnerwerte) den Klärschlamm (Überschussschlamm) in Faulbehälter zur Erzeugung von Faulgas. Das Beheizen der Faulbehälter auf 35 bis 38°C sorgt dabei für eine optimale Faulgasausbeute. Die Beheizung benötigt 70 bis 80 Prozent des gesamten Wärmebedarfs der Kläranlage. Durch maschinelle Entwässerung des Klärschlammes vor der Verbringung in den Faulbehälter ließe sich das Volumen auf ein Fünftel reduzieren, die Trockensubstanz auf 6 bis 8 Prozent erhöhen und dadurch der Heizenergiebedarf erheblich senken.

Kommunale Kläranlagen erzeugten 684 Millionen m³ Faulgas mit einem mittleren Methangehalt von 65 Prozent. Blockheizkraftwerke (BHKW) nutzten 68 Prozent des Faulgases und produzieren damit 864 GWh Strom, was dem Strombedarf von etwa 177.000 Vier-Personen-Haushalten entspricht. Die Anlagen mit Faulgasverstromung erreichten damit einen Eigenversorgungsgrad von etwa 33 Prozent des Strombedarfs. Im Jahr 2004 fackelten Kläranlagen noch fast 10 Prozent des hergestellten Faulgases über sogenannte Sicherheitsfackeln ab.

Aus dem unteren Heizwert des Faulgases von 6,1 kWh/m³ und der erzeugten Strommenge lässt sich auf einen durchschnittlichen Wirkungsgrad bei der Verstromung von 30 Prozent schließen. Moderne BHKW haben einen Wirkungsgrad zwischen 35 und 40 Prozent.

Durch eine 90-prozentige Faulgasverstromung in Verbindung mit der Einführung effizienterer BHKW ließe sich die Eigenstromerzeugung verdoppeln.

Durch Ausnutzung der freien Faulraumkapazitäten und optimale Betriebsführung wäre es möglich, erhebliche Mengen an geeignetem biologischem Material zur Faulgas- (Biogas-) gewinnung aufzunehmen und die Stromproduktion damit auf über 2000 GWh zu steigern. Da bei der Faulgaserzeugung Schlammwasser anfällt welches durch Rückführung wieder in die Kläranlage gelangt, darf die Aufnahme von zusätzlichem Substrat in den Faulbehälter jedoch nur erfolgen, wenn sich dadurch die Ablaufwerte der Kläranlage nicht verschlechtern und die Abfallstoffe die Faulung und die Verwertung des ausgefaulten Schlammes nicht beeinträchtigen.





2.3 Energieeinsparung und -gewinnung bei der Klärschlammverwertung

Zur energetischen Klärschlammverwertung erstellte die Forschergruppe im Rahmen des Forschungsprojekts „Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ für verschiedene Szenarien der Klärschlamm-trocknung und -verwertung energetische Bilanzen. Aus den Bilanzen geht hervor, dass die Trocknung mit Sonnenenergie und/oder ungenutzter Abwärme und Verbrennung möglichst nah am Kläranlagenstandort die energetisch günstigste Variante ist. An zweiter Stelle steht der Transport von entwässertem Klärschlamm auch bei großen Transportentfernungen zum Kraftwerk/Zementwerk und Trocknung mit der Kraftwerksabwärme vor der Verbrennung.

Energetisch ungünstig ist die Trocknung mit Primärbrennstoffen. Allerdings ergibt auch die Verbrennung des mit fossilen Brennstoffen getrockneten Klärschlamm eine CO₂-Gutschrift.

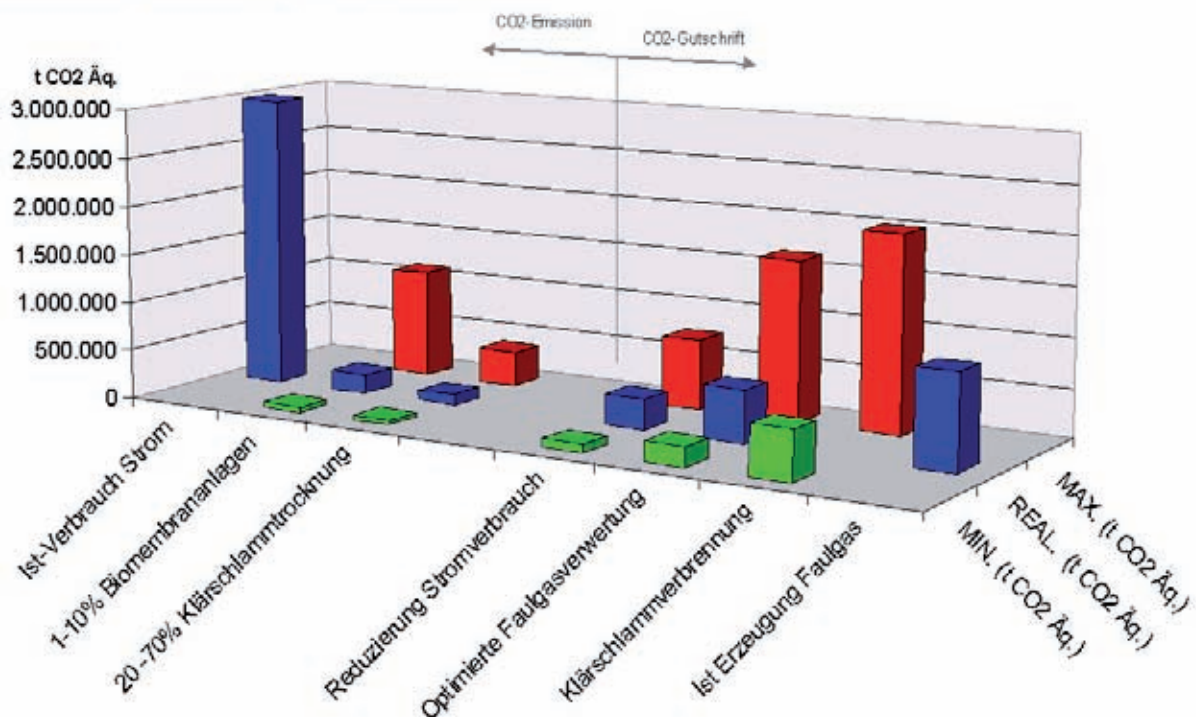
In der Energiebilanz ergibt sich aus der Trocknung mit Sonnenenergie oder Abwärme je nach Transportleistung eine Gutschrift zwischen 18 und 20 kg CO₂/EW_{xa} (entsprechend 26 und 29 kWh/EW_{xa}).

3. Fazit

In der unteren Grafik ist auf der linken Seite dargestellt, in welchen Größenordnungen sich neue Techniken wie die Biomembrananlagen, eingeführt in bis zu 10 Prozent der Kläranlagen sowie die Klärschlamm-trocknung auf 20 bis 70 Prozent Trockensubstanz mit Abwärme oder fossilen Brennstoffen in Form von zusätzlichen CO₂-Emissionen auswirken. Auf der rechten Seite ist zu sehen, welche CO₂-Emissionen einzusparen sind, wenn die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen im Anlagenteil, bei der Faulgasverwertung und der Klärschlammverbrennung in einem minimalen Umfang, in einem realistischen Umfang und maximal erfolgt.

Als erste wichtige Maßnahme ist die Transparenz hinsichtlich des Stromverbrauchs der Großverbraucher unter den Aggregaten (Kompressoren, Gebläse, Pumpwerke, Rührwerke) durch separate Stromzähler und Druckmessgeräte zu fördern.

Zusammenfassung Szenarien in CO₂ Äquivalenten



Durch effizientere Belüftung, verbesserte Steuerung der Aggregate und Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Energieeffizienzklasse ist eine durchschnittliche Stromersparung von 20 Prozent, entsprechend 900 GWh/Jahr oder ca. 600.000 Tonnen CO₂-Emissionsminderung pro Jahr realistisch.

Durch verbesserte Faulgasgewinnung und -verwertung können die Kläranlagenbetreiber die Selbstversorgung mit Strom verdoppeln und damit eine CO₂-Einsparung von weiteren knapp 600.000 Tonnen pro Jahr erreichen.

Eine Bund/Länder-Arbeitsgruppe erarbeitet technische Richtwerte für den Energieverbrauch der einzelnen Anlagenteile sowie der Selbstversorgung mit Strom und Wärme durch Faulgasgewinnung und -verwertung, an denen sich Kläranlagenbetreiber und Genehmigungsbehörden orientieren können.



4. Nutzung der Abwasserwärme

In gut wärmegeprägten Wohngebäuden gehen etwa 15 Prozent der Heizenergie über den Abwasserpfad verloren, da Abwasser mit Temperaturen zwischen 12 und 20°C in den Abwasserkanal gelangt.

Wegen der im Vergleich zu anderen Wärmequellen wie Luft, Boden oder Grundwasser höheren Temperaturen und der ganzjährigen Verfügbarkeit eignet sich die Abwasserwärme in größeren Abwasserkanälen sehr gut für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden.

In Abwasserkanälen mit einem Mindestabfluss von 15 Litern pro Sekunde lassen sich Wärmetauscher in die Kanalsohle oder als Kanalsohle einbauen, die dem Abwasser einen Teil der Wärme entziehen und über Wärmepumpen auf ein Temperaturniveau von bis zu 70°C für die Gebäudebeheizung anheben. Die Anlagen sind so auslegbar, dass die Abwassertemperatur insgesamt um nicht mehr als 1°C sinkt und damit ganzjährig die biologische Reinigung in der Kläranlage nicht beeinträchtigt. Wenn Abwasser durch Wärmezug um nur 1°C abkühlt, ist es möglich aus 1 m³ Abwasser etwa 1,5 Kilowattstunden Wärme zu gewinnen. Durch die übliche bivalente Auslegung der Wärmepumpenheizung, d. h. durch die zusätzliche Ausstattung mit einem Gas- oder Ölheizkessel ist es möglich, die Wärmepumpe auch an sehr kalten Wintertagen mit optimalem Wirkungsgrad zu betreiben, und die die Bedarfs- spitzen mit der Zusatzheizung abzudecken.

Auch unter Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Wärmepumpen ist auf diese Weise gegenüber einer modernen Ölheizung etwa 50 Prozent Primärenergie für die Gebäudeheizung einzusparen und die CO₂-Emission in gleicher Größenordnung zu reduzieren.





Voraussetzung: Es müssen sich größere Wärmeabnehmer wie Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude, öffentliche Einrichtungen wie Sporthallen oder Bäder in der Nähe des Kanals befinden. Das Verfahren lässt sich auch „umkehren“. Das heißt es ist möglich, durch Abgabe von Wärme über den Wärmetauscher an das Abwasser Gebäude im Sommer zu kühlen.

Bei den Investitionskosten nimmt der Einbau des Wärmetauschers den größten Anteil ein. Diese Kosten lassen sich unter Umständen sen-

ken, falls eine notwendige Kanalsanierung mit dem Wärmetauschereinbau verknüpft ist. Nach Recherchen der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. aus dem Jahr 2004 liegen bei 7 Prozent der Kanäle schwere Schäden vor, aus denen sofortiger oder kurzfristiger Handlungsbedarf resultiert. Weitere 10 Prozent sind in einem Zustand, der mittelfristigem Handlungsbedarf erfordert. Der Einbau der Wärmetauscher ist sowohl bei der „Inline-Sanierung“ (Abdichtung der Kanalrohre von innen) durch Einbringen von Wärmetauscherrohren als auch beim Austausch von Kanalrohren möglich.

Potenzialstudien in der Schweiz und in Nordrhein-Westfalen zeigen, dass zwischen 5 und 10 Prozent des Gebäudebestands in dieser Weise beheizbar sein könnte und damit eine CO₂-Emissionsminderung in der Größenordnung von 2 Milliarden Tonnen pro Jahr in Deutschland möglich wäre.

Die Gebäudebeheizung mit Abwasserwärme ist eine erprobte Technik. In der Schweiz gibt es über 80 Anlagen, die zum Teil schon seit mehr als 20 Jahre zufriedenstellend laufen. In Deutschland sind hingegen nur 7 Anlagen realisiert worden, darunter 2 Anlagen, die heizen und kühlen.

