

Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling

Energieeffizienz – wer weckt den schlafenden Riesen?

Die vier Säulen einer nachhaltigen Energieverwendung sind nach Prioritäten geordnet das Energiesparen, die Effizienzsteigerung, die Kraft-Wärme-Kopplung und die erneuerbaren Energien. Ein vollständiger und durchdachter Systemumbau im Sinne einer echten Energiewende kann nur so gelingen. Die Entwicklungen der letzten Jahre sprechen aber eine andere Sprache.

Die energetische Situation der Kläranlagen ist seit über 30 Jahren im Fokus der Betreiber. Die heute übliche Systematik der Energieanalysen wurde in den 1990er-Jahren in der Schweiz entwickelt und in einem Handbuch zusammengefasst. Das damalige Umweltministerium in Nordrhein-Westfalen (NRW) hat 1999 mit Unterstützung der Spezialisten aus der Schweiz ein auf deutsche Verhältnisse angepasstes Handbuch herausgegeben. Dieses wurde nach fast 20 Jahren überarbeitet und erschien 2018 in einer vollständig überarbeiteten Fassung /1/. Eine Verankerung im technischen Regelwerk erfolgte 2015 mit dem Arbeitsblatt DWA-A 216 „Energiecheck und Energieanalyse“. Das Handbuch und das Arbeitsblatt sind heute die maßgeblichen Grundlagen für die energetische Optimierung von Abwasseranlagen. Ergänzend wurden von mehreren Bundesländern Leitfäden für die Durchführung von Untersuchungen herausgegeben.

Das grundlegende Fachwissen steht somit zur Verfügung und es mangelt nicht an Anreizen für die Umsetzung. Die Erstellung des ersten Handbuches NRW fiel in eine Phase sehr niedriger Strompreise. Seit 2005 sind sie jedoch jährlich im Mittel um sieben Prozent angestiegen, was einer Verdopplung alle 10 Jahre entspricht. Mit der seit 2021 eskalierenden Versorgungslage ergibt sich eine völlig neue Situation, was vor allem den Kostendruck auf die Betreiber erhöht und sie zum Handeln zwingt.

Was passiert auf der politischen Ebene? Jetzt auf einmal, da Energie wirklich knapp zu werden droht, soll holterdiepolter auf gesetzlich verordnetem Weg gespart (!) werden. Die

Steigerung der Effizienz wird ebenfalls beschworen, jedoch geht das nicht ohne eine vorherige Analyse. Eine Effizienzsteigerung lässt sich eben nicht einfach „verordnen“. Folglich wird das verfügbare Expertenwissen ignoriert und stattdessen am „grünen Tisch“ bestimmt, wo es lang geht. Dann wird eben ab sofort die Duschzeit der Klärwerksmitarbeiter verkürzt und die Flure der Betriebsgebäude werden nicht mehr beheizt. Für die dann nicht genutzte Wärme gibt es schließlich Notkühler.

Betrachtungen zum Energierecht

Einen nicht zu unterschätzenden Einfluss hat die Entwicklung des Energierechts. Der Umfang ist von fünf Seiten in den 1990er-Jahren auf ca. 2.000 Seiten angewachsen und zu einem unübersehbaren Labyrinth geworden, in dem sich selbst spezialisierte Rechtsanwälte kaum noch zurechtfinden /2/. Diese bedenkliche Entwicklung nimmt weiter ihren Lauf, obwohl von allen Seiten zur Mäßigung und Vereinfachung gemahnt wird.

Inhaltlich stand dabei zunächst die politisch motivierte Förderung erneuerbarer Energien durch das EEG im Vordergrund. Aus technischer Sicht hätte man sich zeitgleich mit dem Umbau der Stromversorgung beschäftigen und entsprechende Rahmenbedingungen schaffen müssen. Schließlich sollte die zentrale Versorgung mit Großkraftwerken durch eine dezentrale Versorgung mit kleinen Erzeugungseinheiten (Windkraft, PV-Anlagen, Biogasanlagen) ersetzt werden, was aus technischer Sicht eine gravierende Umstellung vor allem hin-

sichtlich der Stabilität des Stromnetzes bedeutet. Weil diese Entwicklung verschlafen wurde und die Förderkosten zu immer höheren Strompreisen führten, wurde seit etwa 2012 die bisher lukrative finanzielle Förderung der erneuerbaren Energien zurückgeschraubt und zudem die Einspeisung bürokratisch erschwert. Einen vorläufigen Höhepunkt erreichte diese Entwicklung 2018 mit der Einführung der EEG-Umlage auf den selbst erzeugten und genutzten Strom, was insbesondere von den Betreibern der Kläranlagen wie eine Bestrafung des Betriebs ihrer BHKW-Anlagen wahrgenommen wurde. Diese „Belastung“ wurde Mitte 2022 aufgehoben, offenbar aber nur vorübergehend.

Energieeffizienz

Die vier Säulen einer nachhaltigen Energieverwendung sind in der Reihenfolge ihrer Priorität das Energiesparen, die Effizienzsteigerung, die Kraft-Wärme-Kopplung und die erneuerbaren Energien. Ein vollständiger und durchdachter Systemumbau im Sinne einer echten Energiewende hätte nur so gelingen können. Im Rückblick auf 20 Jahre Energiewende wurden die Prioritäten jedoch genau andersherum gesetzt. Von politischer Seite wird nun zum Sparen aufgerufen, sogar zwangsweise auf dem Wege von Verordnungen. Bei den Kläranlagen dürfte das entsprechende Potenzial allerdings gering sein, weil die einfachen Sparmaßnahmen unter dem Druck der gestiegenen Stromkosten schon umgesetzt wurden.

Anders sieht es bei der energetischen Effizienz aus. Bekanntlich ist sie der schlafende Riese der energetischen Optimierung. Der seit etwa 15 Jahren stagnierende spezifische Stromverbrauch der Kläranlagen von ca. 33 kWh/(E*a) /3/ deutet darauf hin, dass die entsprechenden Potenziale nicht abgerufen wurden. Es gibt sehr wohl wenige Anlagen, auf denen die Umsetzung gut vorangekommen ist. Diese Anlagen erreichen spezifische Verbrauchswerte im Bereich von 20 kWh/(E*a). Natürlich darf daraus nicht gefolgert werden, dass jede Kläranlage diesen Wert erreichen muss, sondern es gehört zu den wichtigsten Erkenntnissen aus der 20-jährigen Befassung mit dem Thema, dass jede Kläranlage individuell zu betrachten ist. Andererseits darf nicht bestritten werden, dass noch große Potenziale vorhanden sind und abgerufen werden können.

Die Hebung der Potenziale effizienter Lösungen und deren Umsetzung braucht allerdings etwas Zeit und kluge Köpfe. Der emeritierte Professor Kroiss aus Wien empfahl schon vor ca. 15 Jahren, nicht am Energieeinsatz für kreatives Denken zu sparen /4/. Diesen tatierte er in einer Tabelle auf ca. 1 WE, während der Primärleistungseinsatz des durchschnittlichen Österreicherers 6 kW/E beträgt. Er riet dazu, die Energie für kreatives Denken mindestens zu verdoppeln.

Gerade jetzt wird der Erzeugung von zusätzlicher Energie mit PV-Anlagen und Wind wieder der Vorzug gegeben. Die schöne, neue, blaue PV-Anlage auf dem Dach einer Sandfanghalle lässt sich eben politisch besser verkaufen als die energetisch gleichwertige Erneuerung des Sandfanggebläses, die außerdem deutlich wirtschaftlicher ist.

Die Bedeutung der Energieeffizienz bei der Abwasserreinigung

Die Hauptaufgabe der Kläranlagen ist die Reinigung des Abwassers und die Einhaltung der Überwachungswerte; dies soll hier keinesfalls bestritten werden. Gleichwohl muss mit dem Vorurteil, dass die Reduzierung des Energieverbrauchs zu Lasten der Reinigungsleistung geht, endlich aufgeräumt werden. Eine verbesserte energetische Effizienz bedeutet, dass die geforderte Pump- oder Förderleistung mit weniger Energie erbracht wird. Der Prozess wird dabei in keiner Weise nachteilig beeinflusst; das wird in den Diskussionen oft missverständlich dargestellt. Die Steigerung der Effizienz sollte jedoch nicht als eine isolierte Aufgabe gesehen werden:

- Bei der Strategie „Faktor 4“ /5/ wird gefordert, dass im Zusammenhang mit dem Einsatz regenerativer Energiequellen stets auch eine Steigerung der Energieeffizienz, mindestens um den Faktor 2, verbunden sein soll.
- Mit der heute verfügbaren Technik sind viele Kläranlagen vom Zustand der vollständigen Eigenversorgung mit Strom (Autarkie) nicht weit entfernt, wenn als erster Schritt schon die Steigerung der Energieeffizienz auf der Verbraucherseite in Angriff genommen wurde.
- An kaum einem anderen Objekt lassen sich die Möglichkeiten eines modernen nachhaltigen Umgangs mit der Energie besser darstellen als an einer Kläranlage. Hier sind mehrere unterschiedliche Energiearten bzw. Energieträger vorhanden (Klärgas, Strom, Wärme, Kälte, Druckluft,

Wasserkraft, Sonnenenergie etc.), mit denen auch die zukünftigen Anforderungen (Schlammtrocknung, 4. Reinigungsstufe) möglichst aus eigenen energetischen Quellen gedeckt werden können.

Energieeffizienz bei der Belüftung

Von den unterschiedlichen Belüftungssystemen kommt auf Kläranlagen am häufigsten die Druckbelüftung zum Einsatz. Sie besteht aus der Drucklufterzeugung, dem Rohrleitungsnetz mit den Armaturen zur Luftverteilung und den in den Becken eingebauten Belüfterelementen. Eine Optimierung des Gesamtsystems gelingt nur, wenn alle Komponenten und Teilsysteme gut aufeinander abgestimmt sind. Das gilt nicht nur für die Auslegung, sondern insbesondere für den Betrieb in seiner ganzen Bandbreite der Belastungsschwankungen /6/.

Das größte Potenzial liegt bei der Drucklufterzeugung. Die stürmische Entwicklung des Marktes in diesem Bereich hat dazu geführt, dass heute für den gesamten Bereich bis zu den größten Kläranlagen ein Generationswechsel der Verdichter möglich ist. Wie hoch die Effizienzsteigerung ausfällt, hängt vom Geschick und von der Vorgehensweise des Planers ab. Das Betriebsverhalten der neuen modernen Maschinen und die energetischen Kennlinien weichen bauartbedingt stark von denen der alten Aggregate ab. Wenn dann nach dem alten Schema (Bild 1) geplant wird, dann kann die Effizienzsteigerung bzw. die Einsparung trotzdem sehr gering ausfallen. Die Energieeffizienz muss heute an erster Stelle stehen. Schließlich kauft der Betreiber eigentlich die „Dienstleistung“ Druckluft und die Kosten dafür teilen sich bei einer Lebensdauer von 10–15 Jahren in 10 % für die Verdichter und 90 % Stromkosten.

Als Kennzahl für die Energieeffizienz hat sich die spezifische Leistung etabliert. Diese ist sowohl im Energiehandbuch /1/ als auch im DWA-Regelwerk (DWA-M 229) verankert. Der Wertebereich reicht von ca. 30–80 W(Nm³/h bar). Drehkolbengebläse liegen bauartbedingt immer über einem Wert von 40. Hingegen erreichen die neueren Niederdruckschraubenverdichter und die drehzahlverstellbaren Turboverdichter Werte zwischen 30 und 40 W(Nm³/h bar) (Bild 2). Die Schraubenverdichter haben eine konventionelle Kennlinie mit Verschlechterung bei Teillast. Die Turboverdichter haben eine parabelförmige Kennlinie und erreichen

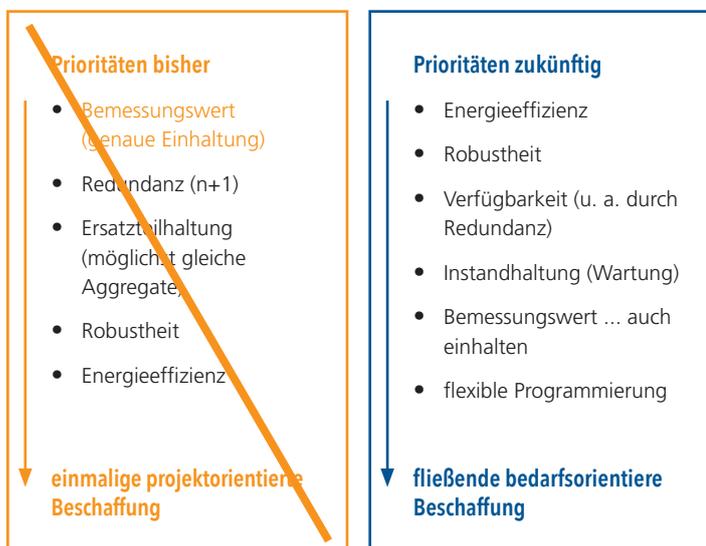
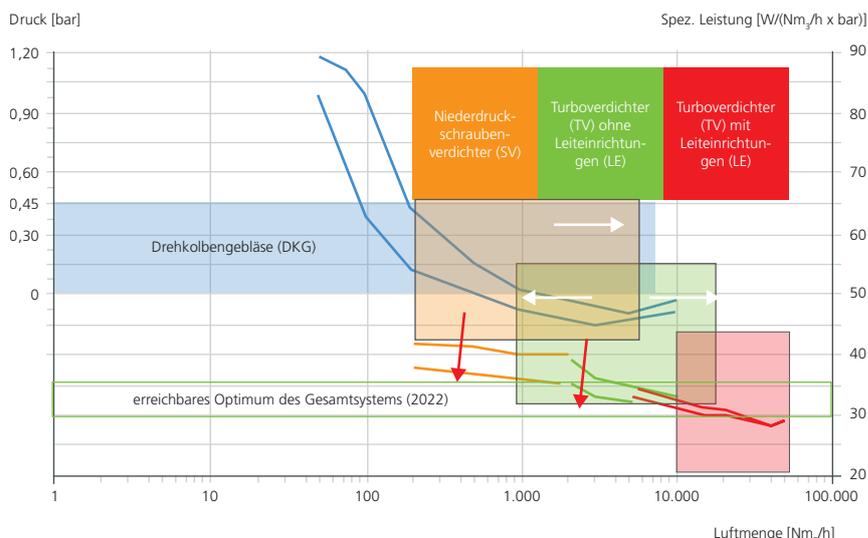


Bild 1 Paradigmenwechsel in der Planung
Quelle: Seibert-Erling

ihren Bestwert nur in einem engen Bereich in der Mitte des Regelbereichs. Insofern besteht das Kunststück der Auslegung darin, die am Markt verfügbaren Maschinen so auszuwählen und zu betreiben, dass über die gesamte Bandbreite und insbesondere in dem Betriebsbereich mit der größten Häufigkeit der Luftmenge eine hohe Effizienz erzielt wird. Bei üblichen Anforderungen sollte heute ein Wert zwischen 30–35 W/(Nm³/h bar) im Betrieb einzuhalten sein.

Energieeffizienz beim Heben, Fördern und Pumpen

Beim Durchfließen einer Kläranlage muss das flüssige Medium – Rohabwasser, Belebtschlamm-Wasser-Suspension, gereinigtes Abwasser – auf vielfältige Art und Weise bewegt und transportiert werden. Übliche Stationen oder Aggregategruppen sind ein Zulaufpumpwerk, Rohschlammumpwerk, Rücklaufschlamm-/Überschussschlammumpwerk, die Rezirkulationspumpen und diverse Pumpen im Bereich der Schlamm-



Berechnungsgrundlage: ca. 550 mbar Druckdifferenz

Bild 2 Effizienz bei der Druckluftherzeugung (Stand 2017)
Quelle: /1/ modifiziert

behandlung. Für alle genannten Aufgabenstellungen gibt es heute geeignete Pumpen. Ausführliche Hinweise zu diesen Grundlagen

finden sich im Energiehandbuch /1/ und in der Literatur /7, 8/. Insgesamt ist anzustreben, dass einerseits eine möglichst hohe

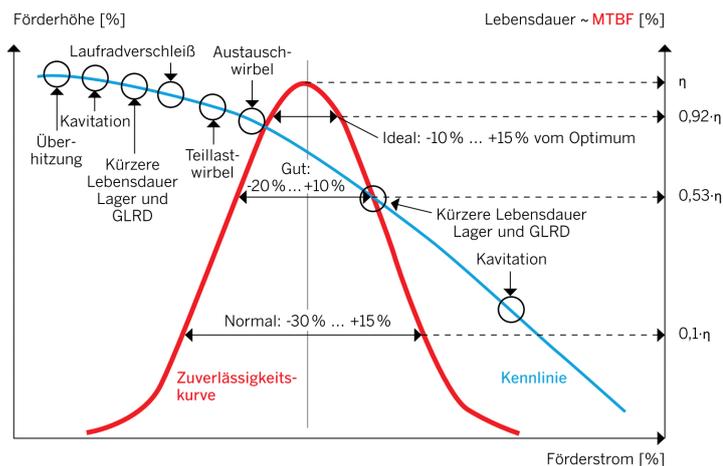
HUBER – Seit Jahrzehnten bewährte, energieeffiziente Maschinen und Lösungen

- Mechanische Vorreinigung: ROTAMAT®-Maschinen**
Kombination von Rechengutentfernung und -entwässerung in einem Aggregat
- Mechanische Schlammbehandlung: S-DISC / Q-PRESS®**
Optimale Eindickungs- bzw. Entwässerungsleistung bei minimalem Energieverbrauch
- Thermische Schlammbehandlung: SOLSTICE®**
Solare und regenerative Klärschlamm-trocknung

Auch für Ihren Anwendungsfall bieten wir die energieeffizienteste Lösung bei optimierten Life Cycle Kosten.



Energiewende in der Wasserwirtschaft



MTBF = Mean Time Between Failures
(Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen für instand gesetzte Einheiten)
GLRD = Gleitringdichtung

Bild 3 Abweichendes Betriebsverhalten bei falscher Auslegung
Quelle: /1/ modifiziert

Prozess- und Betriebssicherheit und auf der anderen Seite ein niedriger Energieverbrauch erreicht wird. Wo im Einzelfall die Schwerpunkte zu setzen sind, ergibt sich aus der individuellen Aufgabenstellung. Auf die energetische Effizienz muss grundsätzlich umso mehr geachtet werden, je länger die Pumpe dauernd in Betrieb ist. Bei einem Hochwasserpumpwerk, das nur ein- bis zweimal pro Jahr anspringt, ist die Effizienz sicherlich zweitrangig; hier steht ganz klar die Betriebssicherheit im Vordergrund. Dagegen ist bei dauernd laufenden Zulaufpumpwerken, Rücklaufschlamm- und Rezirkulationspumpen sowie Umwälzpumpen im Bereich der Schlammbehandlung ein sparsamer Umgang mit der Energie in jedem Fall angezeigt. Als Kennwert für die Effizienz eignet sich auch hier die spezifische Leistung. Der theoretische Energieverbrauch für das Pumpen von $2,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ m})$ ergibt sich aus den physikalischen Grundgleichungen. In der Praxis findet man leider noch Werte im Bereich bis zu $40 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ m})$. Als Maßstab für die Effizienz im Abwasserbereich sollten heute folgende Werte gelten:

- gut: $4\text{--}5 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h m})$,
- üblich: $5\text{--}7 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h m})$,
- erhöht: $> 8 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h m})$.

Die größten Fehler werden immer noch bei der Auslegung von Pumpen gemacht. Das gilt nicht nur für die energetische Effizienz, sondern auch für die Zuverlässigkeit, das Betriebsverhalten und den Verschleiß. Eine Pumpe läuft insgesamt gut in einem engen Bereich von 10–20 % um den Auslegungspunkt. Bei größeren Abweichungen kommt es zu den bekannten Schadensbildern (Bild 3). Eine ausreichende Reserve soll-

te nicht bei einer einzelnen Pumpe, sondern muss bei der Staffelung der Pumpengruppe berücksichtigt werden.

Energieeffizienz beim Umwälzen

Im Bereich der Belebung muss das Belebtschlamm-Abwasser-Gemisch ständig umgewälzt werden, um ein Absetzen des belebten Schlammes zu verhindern. Bei den belüfteten Becken ist durch den Lufteintrag eine hinreichende Durchmischung gewährleistet. In den unbelüfteten Becken kommen spezielle Umwälzaggregate zum Einsatz. Weiterhin muss der Schlamm in den Faulbehältern umgewälzt werden.

Nach der Wasserbewegungsrichtung unterscheidet man Horizontal- und Vertikalrührwerke. Bei der Bauform gibt es Varianten hinsichtlich der Drehzahl (langsam laufend, mittelschnell und schnell laufend) und der Zahl der Flügel des Laufrades. Die überwiegende Anzahl ist zweiflügelig aufgebaut; seltener kommen dreiflügelige Aggregate zum Einsatz.

Die Auslegung wurde lange Zeit allein nach dem Energieeintrag vorgenommen. Im Arbeitsblatt A 131 wurde noch Anfang der 1990er-Jahre ein Wert von $3\text{--}8 \text{ Wh}/\text{m}^3$ vorgegeben. Dieser wurde später auf $1,5\text{--}3 \text{ Wh}/\text{m}^3$ reduziert. An dieser Angabe orientiert sich die Auslegung auch heute noch.

Der Energieeintrag ist jedoch nicht die entscheidende Auslegungsgröße, viel wichtiger ist der Propellerschub /9/. Wesentliche Voraussetzungen für den energieeffizienten Betrieb sind die Anordnung im Becken und die Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen (Belüftung, Schlammindex etc.).

Eine Strömungssimulation zur Absicherung der Auslegung ist zu empfehlen, wenn ein Becken neu bestückt oder angepasst werden muss. Gute Effizienzwerte liegen bei großen Becken durchaus im Bereich von $0,8\text{--}1,5 \text{ Wh}/\text{m}^3$. In kleinen Becken lassen sich solche Werte aufgrund der Mindestgröße von Rührwerken im Dauerbetrieb nicht erreichen. Dann kann aber auf einen zeitlich getakteten Betrieb umgestellt werden.

Faulbehälter wurden bisher mit außenliegenden Pumpen oder mit innenliegenden Mischern umgewälzt. Eine Gaseinpressung ist nur noch in wenigen Fällen im Einsatz. Mit diesen Systemen werden spezifische Leistungen im Bereich von $3\text{--}6 \text{ Wh}/\text{m}^3$ erreicht. Eine betriebliche und energetische Verbesserung ist von einem Umwälzsystem in der Bauart und Funktionsweise einer Mammutpumpe zu erwarten, die mit einem Gasverdichter gespeist wird. Damit sind Werte um $1 \text{ Wh}/\text{m}^3$ /10/ zu erzielen. Das ist eine deutliche Steigerung der Effizienz bei weitestgehender Unempfindlichkeit gegen Verstopfungen, die bei konventionellen Mischern immer wieder zu Schäden und Problemen führen.

Zusammenfassung und Ausblick

Vor mehr als 15 Jahren haben die in der Gesellschaft für Energietechnik im VDI organisierten Fachleute ein Leitbild für die nationalen Energieziele entworfen /11/. Es wird durch die von Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit aufgespannte Zieltrias (Bild 4) geprägt. Damals wurde die nationale energetische Situation durch Importabhängigkeit, Umweltprobleme und hohe Kosten beschrieben. Für das Jahr 2030 setzte man sich zum Ziel, sichere und preiswerte Energie zu liefern, wobei höhere Preise in Kauf genommen wurden. Als Hebel sollte allerdings eine hohe Energieeffizienz dienen.

„Was nicht verbraucht wird, muss nicht erzeugt und verteilt werden.“ Dies ist einer der Kernsätze im Abschlussbericht zu dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Vorhaben EnEffAH /12/. Verbrauch lässt sich durch die Verbesserung der Effizienz und der Effektivität vermeiden, wozu dann weiter ausgeführt wird: „Technik und Methodik spielen bei der Optimierung des Energieeinsatzes eine wichtige Rolle. Die richtige Wahl der Technik (Effizienz) sowie der richtige Betrieb (Effektivität) bestimmen, wie viel Primär- bzw. Endenergie notwendig ist, um die

in Produktionsprozessen geforderten Energiedienstleistungen (Wärme, Kraft, Licht und Information) bereitzustellen.“

Dieser gesamtheitliche Blick ist sowohl auf der politischen Ebene als auch in der energetischen Fachwelt trotz der sich zuspitzenden Lage nicht zu erkennen. Die Politik ergeht sich wie immer in der Mikrosteuerung in Form von neuen Verordnungen zu Sparmaßnahmen, obwohl hier die Potenziale längst infolge der gestiegenen Energiekosten gehoben sind – zumindest bei Privatpersonen und bei wirtschaftlich denkenden Unternehmen. Fehlender direkter Kostendruck führt allenfalls zu Alibi-Berichten auf Hochglanzpapier. Die energetische Fachwelt setzt nach wie vor ihre Schwerpunkte bei der Energieerzeugung und -bereitstellung, wie aus einem aktuellen Tagungsprogramm zum Norddeutschen Ingenieurtag 2022 hervorgeht. Fazit: Der „Riese Energieeffizienz“ wird in Ruhe gelassen und kann weiterschlafen.

Die Abwasserbranche muss im Vergleich mit privatwirtschaftlichen Unternehmen gleicher (energetischer) Größenordnung die benötigte Energie, insbesondere den Strom, ohne jede Vergünstigung am Markt einkaufen. Das hat in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Erhöhung der Strom-Eigenenerzeugung aus Klärgas und damit zu einer Dämpfung der Kosten geführt. Hingegen stagniert der Stromverbrauch der deutschen Kläranlagen seit etwa 15 Jahren. Die vorhandenen Einsparpotenziale im Sinne nicht benötigter Energie sind vermutlich umgesetzt, vor allem wenn dazu keine größeren Kosten aufzuwenden waren. Effizienzmaßnahmen werden aber nach wie vor nicht priorisiert, sondern werden allenfalls im Zuge notwendiger Sanierungsmaßnahmen umgesetzt. Eine konsequente und allein durch die Effizienzsteigerung begründete Modernisierungsmaßnahme ist immer noch die Ausnahme. Einem Betriebsleiter wurde deshalb bei einer Tagung sogar „bescheinigt“, er sei übermotiviert. Sofern der schlafende Riese mitgehört hat, muss er sich also nur auf ganz wenigen Kläranlagen Sorgen um seine Nachtruhe machen.

Obwohl es nicht an Kenntnissen über die energetischen Zusammenhänge auf Kläranlagen mangelt, stellt sich gleichwohl die Frage, wer sich diese Kenntnisse aneignet, verinnerlicht und im Tagesgeschäft anwendet. Werden die entsprechenden Grundlagen im Rahmen der Aus- und Weiterbildung vermittelt? Eigentlich fehlt dem Betriebsperso-

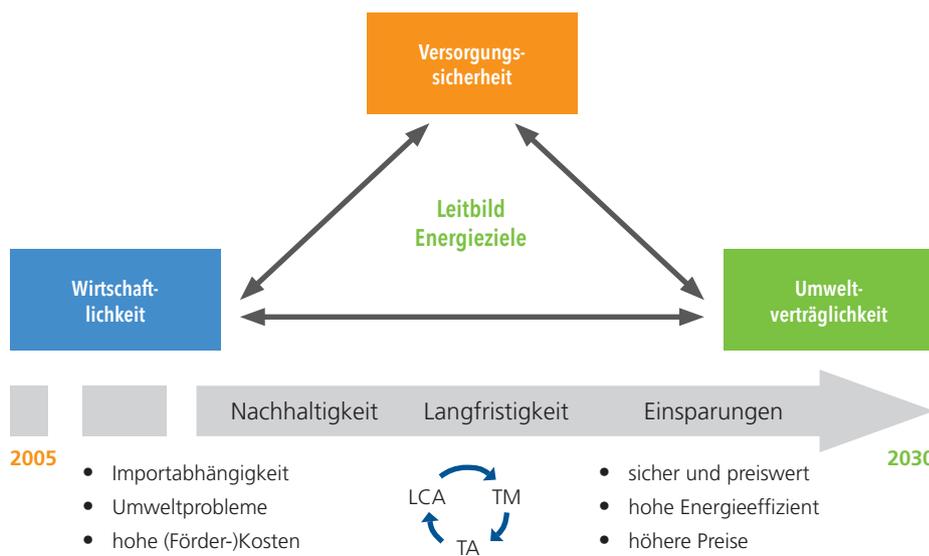


Bild 4 Energiebild der GET im VDI (Stand 2003)
Quelle: VDI

nal ein „energetisches Koordinatensystem“ für die tägliche Anwendung. Diese Lücke könnte mit Online-Kennzahlen geschlossen werden, die zudem dabei helfen würden, die immer größere Datenflut nicht nur beherrschbar, sondern auch im Sinne der energetischen Optimierung nutzbar zu machen.

■ **Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling**
Setacon GmbH
g.seibert-erling@setacon.de
www.setacon.de

Literatur:

<p>/1/ Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2017): Energie in Abwasseranlagen, Handbuch NRW. 2, vollständig überarbeitete Fassung. Unter Mitarbeit von Pinnekamp, J.; Schröder, M.; Bolle, F.-W.; Seibert-Erling, G.; Gramlich, E.; Gredigk-Hoffmann, S. et al., Düsseldorf</p> <p>/2/ Seibert-Erling, G. (2012): Energierecht – Komplexe Fragen mit einfachen Antworten? In: Bd. 1. Energie auf Kläranlagen, S. 5–14, DWA-Landesverband Nord (Hrsg.)</p> <p>/3/ Haberkern, B. (2019): Potenziale der Energieeffizienz auf Kläranlagen – Anspruch und Wirklichkeit. DWA-Energietage. Kassel, 10.09.2019</p> <p>/4/ Kroiss, H. (2010): Bedeutung des Energieverbrauches von Abwasseranlagen. In: ÖWAV, Energiemanagement in der Abwasserwirtschaft, Linz, 13.10.2010</p> <p>/5/ Weizsäcker, Ernst Ulrich von; Lovins, Amory; Lovins, L. Hunter (1997): Faktor vier. Doppelter Wohlstand – halbiertes [Natur]verbrauch; der neue Bericht an den Club of Rome. Vollständige Taschenbuchausgabe. München: Droemer Knauer (Knauer-Taschenbücher, 77286)</p> <p>[6] Seibert-Erling, G.: Einfluss der Auslegung und Abstufung der Gebläse auf die Effizienz der Belüftungs-</p>	<p>einrichtung – Belüftung auf Abwasserreinigungsanlagen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien</p> <p>/7/ Weismann, D. (1999): Kommunale Abwasserpumpwerke. Vulkan-Verlag</p> <p>/8/ Holzenberger, K.; Jung, K. (1989): Kreiselpumpenlexikon. Schneiderdruck GmbH, 3. Auflage</p> <p>/9/ Frauendorf, G.: Tauchmotor-Rührwerke zur wirtschaftlichen Strömungsbildung in Belebungsanlagen. In: Korrespondenz Abwasser 47 (11), 2000, S. 1634–1636</p> <p>/10/ Seibert-Erling, G. (2019): Umwälzsystem für Faulbehälter. Funktionsprinzip, Gaseinpressung und energetische Bewertung. Frechen</p> <p>/11/ Hülsmann, St.; Köpschall, M.; Neumann, R.; Ohmer, M. (2012): EnEffAH Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik. EnEffAH – Projektkonsortium (Hrsg.)</p> <p>/12/ VDI, Mitteilung der GET, online unter www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/get_dateien/Energiebild.pdf, zuletzt abgerufen am 10.10.2022</p> <p>/13/ Seibert-Erling, G. (2019): Energiewende verpatzt! – Wie geht es weiter auf den Kläranlagen? In: DWA Landesverband Baden-Württemberg, Landesverbandstagung 2019</p>
--	--

Sonderausgabe der Fachzeitschrift wwt wasserwirtschaft wassertechnik

modernisierungs report

wwt
2022/23

Aktuelle Themen

- Energie- und Wasserpolitik
- Klärwerk und Energiewerk
- Wasserelektrolyse
- Sektorkopplung

Expertenwissen

- Konzepte
- Technologieentwicklung
- Projektberichte
- Betriebserfahrungen

Energiewende
in der
Wasserwirtschaft

EINFACH GUT **VERNETZT**



Robuste Anlagen und sichere Netze zur Abwasserbewältigung