

Energetische Kennzahlen für den Betrieb von Kläranlagen und Kanalnetzen

**Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling
setacon GmbH, Frechen**

1 Einleitung und Übersicht

Energetische Kennzahlen dienen dazu, die Situation einer Anlage oder eines Objektes in Bezug auf den Energieverbrauch und die Energieerzeugung in komprimierter Form abzubilden. Die Kennzahlen können dabei technisch, betriebswirtschaftlich oder ökologisch ausgerichtet sein. Durch ihre Einbindung in Energie- und Umweltmanagementsystemen sind sie eine tragende Säule in der strategischen Planung von Abwasserbetrieben, vor allem in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung.

Die Energie spielt mittlerweile in allen politischen, gesellschaftlichen und technischen Bereichen eine wesentliche Rolle; durch die Preissteigerungen der letzten Jahre sind energetische Kennzahlen noch stärker in den Blickpunkt gerückt. Aus der übergeordneten politischen Sicht wird heute auch von Abwasserbetrieben ein verantwortungsvoller Umgang mit der Energie und Ressourcen gefordert. Die dafür erforderlichen Instrumente (Handbücher, Leitfäden etc.) sind grundsätzlich vorhanden. Eine standardisierte Vorgehensweise war bisher nicht gefordert; ebenso wenig sind die Instrumente in technische Regelwerke eingebunden. Diese Lücke gilt es in den nächsten Jahren zu schließen um durch Selbstverpflichtung und nachweisliche Kontrolle einer (ungewissen) gesetzlichen Regulierung zuvorzukommen. Derzeit laufen Bestrebungen, eine bundesweit einheitliche methodische Vorgehensweise in Form eines DWA-Arbeitsblattes [1] abzustimmen.

Es ist darüber hinaus zwingend notwendig, die vorhandenen Instrumente mit den sonstigen nationalen (und internationalen) Standards im Energiebereich abzugleichen. In einer energetisch immer komplexer werdenden Welt können begriffliche Alleingänge oder nicht aufeinander abgestimmte technische Definitionen hinderlich sein und möglicherweise teure Missverständnisse nach sich ziehen. Im schnell wachsenden Energiebereich sollten sich deshalb alle um eine Standardisierung bemühen.

Die Folgen nicht abgestimmter Begrifflichkeiten erleben wir gerade im Energierecht. Hier haben sich die politischen Ressorts Wirtschaft, Finanzen und Umwelt jeweils eigene energetische Begriffswelten geschaffen, die in einem babylonischen Wirrwarr, irreparablen juristischen Mechanismen und in einer exponentiell wachsenden Gesetzesflut münden. Eine solche Entwicklung scheint im technischen Bereich noch vermeidbar, weil hier seit Jahren gute Vorarbeit geleistet wird. Hervorzuheben ist das technische Regelwerk des VDI. Es soll aber auch die bisher in der Abwasserbranche geleistete Arbeit nicht unerwähnt bleiben. Hier liegen umfassende Erfahrungen aus mittlerweile 15 Jahren intensiver Beschäftigung mit dem Thema Energie vor. Ein Ansatz für den Abwasserbereich kann deshalb ein neues offenes Bilanzmodell sein, das unter Verwendung der bisher bewährten Standards mit den standardisierten Begriffen abge-

glichen und um zu erwartende oder absehbare Entwicklungen erweitert wird. Ein erster Ansatz dazu wird am Ende dieses Beitrags vorgestellt.

2 Rückblick, Standortbestimmung und Trends

Mit dem Thema Energie ist die Abwasserbranche schon etwa so lange beschäftigt, wie es die biologische Abwasserreinigung gibt, denn spätestens seit dieser Zeit (etwa 1960) ist der Energieverbrauch eine relevante Größe bei den Betriebskosten. In den folgenden Jahrzehnten gab es immer wieder vereinzelte Untersuchungen zum Energieverbrauch, zum Lastmanagement oder sogar zu seinerzeit noch visionären Themen wie der Abwasserwärmenutzung.

Von einer systematischen energetischen Optimierung spricht man seit Ende der 1990er Jahre. Als in der Fachwelt anerkannte Grundlage dafür gilt das 1999 erschienene „Handbuch Energie in Kläranlagen NRW“ [2], bei dessen Erstellung das einige Jahre vorher herausgegebene Schweizer Handbuch als Vorbild diente. Das Handbuch Energie in Kläranlagen NRW basiert auf einem umfassenden und durchgängigen Kennzahlensystem, bei dem als einheitliche Bezugsgröße die aktuelle Zulaufbelastung einer Kläranlage (Einwohnerwerte) verwendet wird. Von oben betrachtet wird ein Bilanzraum definiert, der die Regenwasserbehandlung, den Abwasserreinigungsprozess, die Schlammbehandlung und die Schlamm Entsorgung umfasst. Hinter dieser groben Aufteilung steckt eine Modellanlage, die nach den üblicherweise vorhandenen verfahrenstechnischen Teilanlagen gegliedert ist. Das erste Teilziel einer Energieanalyse besteht darin, den Gesamtverbrauch auf die einzelnen Teilanlagen aufzuteilen. Für jede Teilanlage bzw. die dort eingesetzten Aggregate oder Aggregategruppen gibt es theoretisch hergeleitete (im Sinne eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs) oder empirisch bestimmte Verbrauchswerte (aus Messungen oder Herstellerangaben). Aus dem Vergleich der tatsächlichen Verbrauchswerte mit den rechnerisch ermittelten Verbrauchswerten lässt sich dann auf ein energetisches Einsparpotenzial schließen.

Demgegenüber wurden bei später vorgenommenen Untersuchungen [3] die für den Vergleich herangezogenen Verbrauchswerte überwiegend aus statistischen Erhebungen abgeleitet. Diese Unterscheidung ist essenziell und muss bei der Anwendung und dem Vergleich von darauf aufbauenden Kennzahlen beachtet werden. Vor allem für die in den letzten Jahren aufkommende Integration von Kennzahlen in Benchmarking-Prozesse, Energie- und Umweltmanagementsysteme ist die Herkunft, die Zweckbestimmung und die Zielausrichtung energetischer Kennzahlen zu beachten. Managementsysteme betrachten eine Anlage aus einer übergeordneten und häufig nur beobachtenden Perspektive. Folglich darf man dann auch nur Kennzahlen verwenden, die nach den oben dargestellten Zusammenhängen auf einer mehr bilanziell oder statistisch ausgerichteten Sichtweise aufbauen. Umgekehrt sind für eine konkrete energeti-

sche Optimierungsaufgabe vorzugsweise technisch basierte Kennwerte anzuwenden, weil sie einen konkreten physikalischen Bezug ausdrücken. Eine Missachtung dieser Grundsätze führt zu nicht interpretierbaren Ergebnissen oder sogar zu falschen Schlussfolgerungen.

Benchmarkingprozesse und Umweltmanagementsysteme werden sich in den nächsten Jahren noch stärker verbreiten. Grundsätzlich gelingt es mit diesen Werkzeugen, den Forderungen eines nachhaltigen Umgangs mit Energie und Ressourcen aus einer übergeordneten Sicht gerecht zu werden. Die so vorgenommene Abbildung komplexer Zusammenhänge und die Reduzierung auf wenige Kennzahlen ist bei der Unternehmenslenkung und auch bei der Diskussion mit politischen Entscheidungsträgern nicht mehr wegzudenken, obwohl es hinreichend viele Beispiele dafür gibt, dass eine derart verengte Sichtweise nicht unerhebliche Risiken birgt. Insofern sind bei der Festlegung von Kennzahlen für Managementsysteme Sorgfalt und Weitsicht gefragt.

Im Bereich der energetischen Kennzahlen für Kläranlagen und Kanalsysteme ist diese Fragestellung topaktuell. Die auf politischer Ebene vor etwa drei Jahren erhobene Forderung nach einer Verankerung energetischer Verbrauchswerte im Wasserhaushaltsgesetz bzw. der Abwasserverordnung wurde von den Betreibern nicht akzeptiert mit dem Hinweis auf die Unschärfe der Kennwerte und die jeweils spezielle energetische Situation einer Kläranlage. Als Alternative wird seither die Einführung eines allgemein verbindlichen Instrumentariums für den verantwortungsvollen Umgang mit der Energie auf Kläranlagen vorangetrieben. Eine Arbeitsgruppe der DWA beschäftigt sich seit geraumer Zeit mit der Erstellung des Arbeitsblattes DWA-A 216 „Energiecheck und Energieanalyse“. Der Energiecheck ist eine regelmäßig (jährlich) vom Betreiber durchzuführende Überprüfung anhand einfach zu ermittelnder energetischer Kennzahlen. Durch einen Vergleich mit statistischen Erhebungen einerseits und durch die Bewertung des zeitlichen Verlaufs der Kennwerte andererseits lässt sich die Anlage energetisch einordnen und daraus der Bedarf für eine detaillierte Untersuchung in Form einer Energieanalyse ableiten. Der Gelbdruck des Arbeitsblattes wurde im April 2013 veröffentlicht; die Frist zur Stellungnahme endete am 15. Juli 2013. Derzeit werden die eingegangenen Einsprüche ausgewertet; von einer Veröffentlichung oder Freigabe ist im ablaufenden Jahr auszugehen.

3 Kennzahlen und Kennzahlensysteme

Im technisch-wissenschaftlichen Bereich repräsentierten Kennzahlen lange Zeit das meist empirisch erworbene Wissen in einem Fachgebiet. Bekannte Beispiele sind Reibungsbeiwerte in der Fahrdynamik, die Oktanzahl als Maß für die Klopfestigkeit eines Verbrennungsmotors oder die Haltedruckhöhe (NPSH) bei Pumpen zur Vermeidung von Kavitation. Durch den Einsatz von CAE-Methoden und die Verfeinerung der Berechnungen hat die Bedeutung der physikalisch-technischen Kennzahlen stark abgenommen. Demgegenüber sind statistisch basierte Kennzahlen auf dem Vormarsch, was darauf zurückzuführen ist, dass die Sammlung und Auswertung umfangreichen Zahlenmaterials heutzutage kaum noch Aufwand erfordert. Umso wichtiger ist es die Kennzahlen nach ihrer Herkunft und der enthaltenen Information zu unterscheiden; vor allem sollte man eine Vermischung von unterschiedlich abgeleiteten Kennzahlen vermeiden, auch wenn das Ergebnis mathematisch korrekt erscheint. Bauteile, die auf einen Mittelwert der Belastung ausgelegt sind, gehen zu Bruch. Gebläse zur Druckluftherzeugung auf Kläranlagen, die auf den 85%-Wert der Belastung, multipliziert mit den bekannten Spitzenlastfaktoren, ausgelegt sind, laufen später die überwiegende Zeit im energetisch uneffizienten Teillastbereich.

Die Problematik der Kennzahlendefinition und -anwendung ist nicht zu unterschätzen [4], [5]. Deshalb werden in den beiden folgenden Abschnitten ausgehend von den allgemeinen Grundlagen über Kennzahlen dann anschließend die speziellen Belange der energetischen Kennzahlen erläutert.

3.1 Allgemeine Grundlagen

3.1.1 Kennzahlen

Nach einer allgemeinen Definition dienen Kennzahlen dazu, quantitativ erfassbare Sachverhalte in komprimierter Form wiedergeben zu können. Man unterscheidet im Allgemeinen

- absolute Kennzahlen (Summe, Differenzen),
- relative Kennzahlen (Bezugsgrößen),
- aggregierte (verdichtete) Informationen.

Daneben werden Kennzahlen auch dazu verwendet, sich schnell einen Überblick zu verschaffen und dazu bewusst auf eine detaillierte Zustandserfassung zu verzichten und nur einen kleinen Ausschnitt des insgesamt Erfassbaren wiederzugeben.

Kennzahlen kann man nach ihrer Funktion einteilen:

- Operationalisierungsfunktion
Bildung von Kennzahlen zur Festlegung von Zielen und deren Erreichung

- **Anregungsfunktion**
Laufende Erfassung von Kennzahlen zur Erkennung von Auffälligkeiten und Veränderungen
- **Vorgabefunktion**
Ermittlungen kritischer Kennzahlenwerte als Zielgrößen für Teilbereiche
- **Steuerungsfunktion**
Verwendung von Kennzahlen zur Vereinfachung der Prozessführung
- **Kontrollfunktion**
Kennzahlen zur Erkennung von Soll-Ist-Abweichungen



Abbildung 1: Gliederung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen

3.1.2 Kennzahlensysteme

Als Kennzahlensystem bezeichnet man die systematische Zusammenstellung von Einzelkennzahlen, die in einer ursächlichen Beziehung zueinander stehen, sich ergänzen und insgesamt auf ein übergeordnetes Ziel ausgerichtet sind. Dabei unterscheidet man drei generelle Systemformen:

- **Mathematisch verknüpfte Kennzahlensysteme**
Ein solches Kennzahlensystem liegt vor, wenn die Einzelkennzahlen durch mathematische Operationen miteinander verknüpft sind. Ein typisches Beispiel ist das Benchmarking. Der Vorteil solcher Systeme ist die unbestreitbare Exaktheit und Genauigkeit. Demgegenüber ist die Übersichtlichkeit und Aussagefähigkeit durch Hilfswerte als „mathematische Brücken“ eingeschränkt, was bei der Verarbeitung der mit Messfehlern behafteten Betriebsdaten hinderlich ist.
- **Systematisch verknüpfte Kennzahlensysteme**
Hier wird von einem Oberziel ausgehend ein System von Kennzahlen gebildet, das nur die wesentlichen Entscheidungen mit einbezieht. Ein Beispiel dafür ist die ener-

getische Optimierung von Kläranlagen nach dem Handbuch Energie in Kläranlagen NRW.

- Empirisch begründete Kennzahlensysteme
Noch zielgerichteter als beim systematisch verknüpften Kennzahlensystem wird beim empirisch begründeten Kennzahlensystem vorgegangen. Es beschränkt sich genau auf die Funktionen, die das Erfolgsziel auch tatsächlich beeinflussen.

3.2 Nutzen, Anwendung und Fehlermöglichkeiten

3.2.1 Nutzen und Anwendung

Der praktische Nutzen von Kennzahlen stellt sich nur dann ein, wenn sie leicht verständlich, einfach zu erheben und selbst beeinflussbar (nicht manipulierbar!) sind. Weitere Erfolgsfaktoren sind die Aktualität und die Richtigkeit. Richtigkeit steht hier für eine möglichst gute Übereinstimmung einer Kennzahl mit der Realität in dem Sinne, dass sie dem Adressaten oder Nutzer unter Berücksichtigung des Informationsbedarfs ein zutreffendes Bild der Wirklichkeit liefert. Die Richtigkeit im Sinne des Informationsziels ist insofern das wichtigste Kriterium für die erfolgreiche Arbeit mit Kennzahlen. Falsche Kennzahlen sind schlechte Ratgeber.

Wenn ein Kennzahlensystem verwendet wird, muss die Konsistenz der einzelnen Kennzahlen gewährleistet sein; bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Kennzahlen dürfen keine Widersprüche auftreten. Bei relativen Kennzahlen dürfen nur Größen zueinander in Beziehung gesetzt werden, zwischen denen ein ursächlicher Zusammenhang besteht.

3.2.2 Fehlermöglichkeiten

Fehlerhafte Kennzahlen können entstehen durch falsche Berechnungen oder durch Mängel bei der Konstruktion mathematischer Operationen, was häufig bei relativen Kennzahlen vorkommt. Fehler lassen sich vermeiden, wenn vor allem das beabsichtigte Informationsziel klar beschrieben ist und dem Informationsbedarf des Adressaten entspricht. Dann lässt sich auch der Aufwand für die Beschaffung der Grundinformationen einerseits und die Verlässlichkeit einer Kennzahl bewerten. Die Belastbarkeit einer Kennzahl ist insbesondere dann gefordert, wenn technisch basierte Kennzahlen in einem betriebswirtschaftlichen Umfeld weiterverwendet werden.

Eine verbreitete Unsitte im informationstechnischen Zeitalter ist die Erzeugung einer Kennzahleninflation. Es werden zu viele Kennzahlen gebildet, deren Aussagekraft im Verhältnis zum Aufwand für ihre Ermittlungen letztlich zu gering ist und schon von anderen Kennzahlen abgedeckt wird.

3.3 Energetische Kennzahlen

Energetische Kennzahlen sind auf die speziellen Belange der Energieversorgung ausgerichtet. Weil das ein sehr weites Feld mit vielen Beteiligten (Energiewirtschaft, Industrie, Gewerbe, Privathaushalte), noch dazu mit unterschiedlichen Interessen (Erzeugung, Verbrauch) und einer hohen Komplexität (Technik, Energierecht) ist, kommt es bei der Anwendung von Kennzahlen umso mehr auf eine verständlich beschriebene Festlegung und Zielrichtung an. Obwohl in den letzten Jahren im Bereich der Standardisierung und Normung große Fortschritte erzielt worden sind, überwiegt in der praktischen Anwendung oft noch der Eigensinn mit der Folge, dass eigene Kennzahlen definiert werden, die im ungünstigsten Fall falsch sind und wortidentisch zu feststehenden Begriffen aus der Normung gebraucht werden. Die Grundbegriffe der Energietechnik und die wesentlichen Kennwerte sind im Regelwerk des VDI (Tabelle 1) festgelegt. Die Begriffe und ihre Bedeutung sind mit der sonstigen nationalen und der internationalen Normung abgestimmt. Vor allem ergeben sich keine Widersprüche zu der für die Einführung eines Energiemanagements relevanten Norm ISO EN 50001 oder eines Umweltmanagementsystems nach ISO 14001 bzw. 14040. Unter diesen Voraussetzungen ist also dringend anzuraten, vorhandene Kennzahlen und Kennzahlensysteme auf betriebliche und inhaltliche Konformität mit den gültigen Regelwerken zu prüfen und im Sinne einer Zukunftsfähigkeit eine Angleichung vorzunehmen. Die wichtigsten energetischen Begriffe sind in einer Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 1: Relevante technische Regeln

Bezeichnung	Kurztitel
VDI 3985	Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen
VDI 4002	Energiemanagement, Begriffe, Beispiele
VDI 4660	Umrechnung spezifischer Emissionen bei der Energieumwandlung
VDI 4661	Energiekenngrößen Definition- Begriffe – Methodik
ISO 50001	Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
ISO 14001	Umweltmanagementsysteme - Spezifikationen mit Anleitung zur Anwendung
ISO 14031	Umweltmanagement - Umweltleistungsbewertung - Leitlinien
ISO 14040	Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen

Energiegröße	Bedeutung nach VDI-Richtlinien	Relevanz
Primärenergie	Energieinhalt von in der Natur vorkommenden Energieträgern	nicht für kaufmännische oder technische Zwecke, jedoch zur vergleichenden Bewertung im Sinne des Klimaschutzes
Sekundärenergie	Energieinhalt von Energieträgern, die durch technologische aus Primärenergie umgewandelt wurden	geringe Relevanz, nur interessant beim Vergleich von Bezugsenergien
Bezugsenergie	Energieinhalt aller gehandelten Energieträger, die der Endverbraucher bezieht	betriebswirtschaftlich relevant, ergibt sich aus Lieferscheinen und Rechnungen; eine einfache Addition des Energieinhalts führt jedoch zu verzerrten Ergebnissen
Endenergie	Energieinhalt aller gehandelten Energieträger, die der Umwandlung in Nutzenergie dienen	lässt sich üblicherweise aus der Bezugsenergie ermitteln; werden mehrere Endenergieträger (Strom, Wärme) verwendet, müssen diese getrennt geführt werden
Einsatz- oder Zielenergie	Endenergie abzüglich Lager- oder Speicherverluste	nur interessant, wenn Endenergie nicht unmittelbar verbraucht wird
Nutzenergie	Alle Formen der Energie, die der Verbraucher benötigt, um die erforderlichen energetischen Dienstleistungen zu erfüllen	schwierig zu ermitteln, weil meist sehr unterschiedliche Energiearten in komplexen Prozessen verwendet werden; ist aber wichtig für die energieintensiven Größen
Nichtenergetischer Verbrauch	Energieinhalt von Stoffen, die nicht durch ihren Energiegehalt, sondern durch ihre stofflichen Eigenschaften bestimmt sind (Schmierstoffe, Korrosionsschutz, etc.)	nur relevant, wenn der nichtenergetische Verbrauch von der Bezugsenergie abgezogen werden muss
Exergie	Teil der Gesamtenergie, der maximal als Arbeit entnommen werden kann	beschreibt die „Nützlichkeit“ einer Energieform und macht diese bei unterschiedlichen Möglichkeiten vergleichbar

Abbildung 2: Grundbegriffe, Energiegrößen

4 Energetische Kennzahlen in der Abwassertechnik

Nach dem Thema dieses Beitrages stehen die energetischen Kennzahlen für Kläranlagen und Kanalnetze im Mittelpunkt. Es wird hier vorausgesetzt, dass die energetischen Grundlagen nach dem Handbuch Energie bekannt sind; deshalb soll die Systematik nur kurz erläutert werden. Die Erfahrungen aus durchgeführten Analysen werden ebenfalls nur zusammenfassend in der Art eines Überflugs über die Kläranlage dargestellt. Über Einzelaspekte oder thematisch aufbereitete Ergebnisse ist in Seminaren und auf Tagungen umfassend berichtet worden [6], [7].

Die Systematik des Handbuches basiert auf einer Bilanzierung sämtlicher zugeführter und selbst produzierter Energien, im Wesentlichen Strom, Klärgas, Erdgas und Heizöl. Aus diesen Werten werden dann durch den Bezug auf die Einwohnerbelastung relative Kennzahlen gebildet. Außerdem werden die Klärgasproduktion und die Nutzung des Klärgases zur Strom- und Wärmeerzeugung bewertet; die Bezugsgröße ist dabei die dem Faulbehälter zugeführte organische Schlammmasse. Durch den Vergleich mit dem aus statistischen Untersuchungen abgeleiteten Richtwert oder dem sich aus theoretischen Berechnungen ergebenden Idealwert lässt sich die Kläranlage zunächst energetisch einordnen.

Danach wird für die Verbraucherseite eine detaillierte Strom- und Wärmebilanz, gegliedert nach den verfahrenstechnischen Stufen (Rechen, Sandfang etc.) aufgestellt. Die bilanzierten Energien werden dann aufgrund von Leistungsmessungen und Betriebsstundenauswertungen den Verbrauchern zugeordnet und daraus wiederum belastungsspezifische Kennzahlen gebildet. Diese werden mit entsprechenden Referenzwerten aus dem Handbuch verglichen. Anhand der Abweichung lassen sich dann energetische Potenziale identifizieren. Zu deren Umsetzung werden Maßnahmen ausgearbeitet und das Kosten-/Nutzenverhältnis ermittelt. Die Maßnahmen werden dann nach Prioritäten gebündelt und dem Betreiber zur Umsetzung vorgeschlagen.

Im Sinne der Ausführungen in den vorherigen Kapiteln basiert das Handbuch Energie auf einem Kennzahlensystem mit einer durchaus hohen Komplexität. Das System als solches hat sich aber durchaus in der Praxis bewährt und sollte daher nicht ohne Not auf den Kopf gestellt werden. Aus einer aktuellen Übersicht für Rheinland-Pfalz [8] mit einer vergleichsweise großen Streubreite für den Gesamtverbrauch könnte man schließen, dass möglicherweise auch die Systematik der Datenerfassung und -auswertung noch verbessert werden kann.

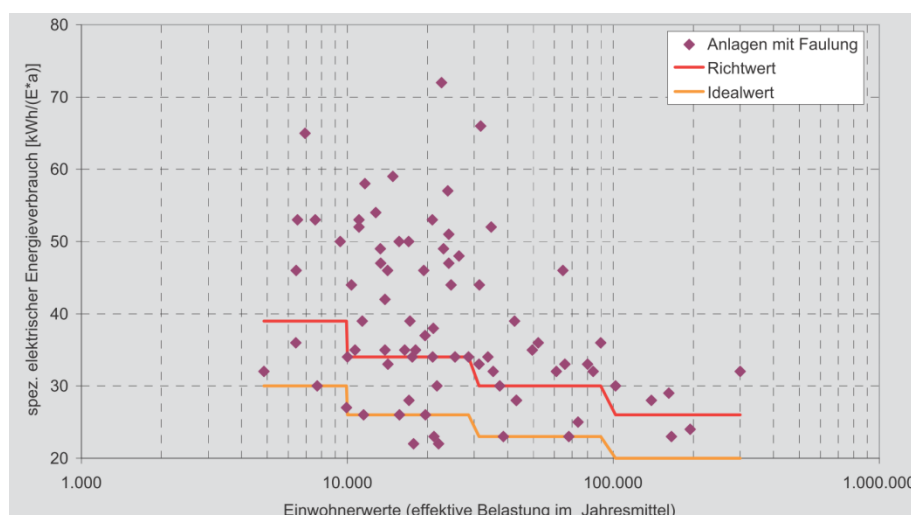


Abbildung 3: Streuung der Kennwerte nach einer aktuellen Statistik (Rheinland-Pfalz)

Es stellt sich die Frage, wie es weitergeht mit der energetischen Optimierung. Ist die Systematik des Handbuches nach 14 Jahren noch verwendbar? Müssen die bekannten Kennzahlen (spezifische Verbrauchswerte) angepasst werden? Müssen neue Fragestellungen (Umweltmanagement, Energiemanagement) aufgenommen werden?

Den umfassenden Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln ist unschwer zu entnehmen, dass der Autor in jedem Fall die Notwendigkeit einer Anpassung an die bestehenden technischen Regeln im Energiebereich sieht. Darüber hinaus ergibt sich aufgrund von Erfahrungen aus durchgeführten Energieanalysen an folgenden Stellen ein Änderungsbedarf:

- Die festgelegte Modellstruktur nach dem Handbuch Energie und die Wahl der äußeren Systemgrenzen können einen entscheidenden Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben. Wenn sich Querbeziehungen zwischen Teilanlagen oder Teilprozessen ergeben oder wenn reale Anlagen von den im Modell vorgegebenen Systemgrenzen abweichen, ist die energetische Bewertung erschwert und es werden möglicherweise vorhandene Potenziale nicht identifiziert. Dies trifft generell für die gesamte Schlammbehandlung zu, weil diese heute nur noch selten so betrieben wird wie im Handbuch vorgesehen (Eindicker werden fast nur noch als Stapelbehälter benutzt), weil sich dominante Abhängigkeiten ergeben (Strom sparen bei der Schlammabwässerung führt ggf. zu höheren Gesamtkosten) und weil die Abstimmung zwischen Wärme- und Strombilanz heute eine entscheidende Rolle spielt.
- Wenn sich durch die Erhöhung der Effizienz bei einem Teilprozess Nachteile oder Einschränkungen an anderer Stelle ergeben, dann muss eine insgesamt effektive Lösung gefunden werden. Bekannte Konfliktsituationen sind die Betriebsweise der Vorklärung, bei der sich durch eine lange Aufenthaltszeit die Primärschlammmenge und damit die Faulgasproduktion erhöhen lässt, was sich andererseits nachteilig auf die Denitrifikation auswirkt. Ein anderes Beispiel ist die Optimierung der Belüftung, wo sich eine Konkurrenzsituation zwischen der Effizienz des Sauerstoffeintrags und der für die Durchmischung notwendigen Umwälzenergie ergibt.
- Die Modellanlage des Handbuchs geht von einer überwiegend verbrauchsorientierten Struktur der betrachteten Kläranlage aus; eine vorhandene Eigenproduktion von Strom hat in der Systematik den Stellenwert eines „negativen Verbrauchers“. Aufgrund der verbesserten energetischen Effizienz auf der Verbraucher- und der Erzeugerseite hat die Eigenproduktion von Energie heute einen wesentlichen Anteil am Gesamtverbrauch bis hin zur zeitweiligen oder dauernden Überschussproduktion [9]. Um außerdem weitere Energiequellen (Windkraft, Fotovoltaik, Wasserkraft, Abwasserwärme etc.) einzubinden, müssen das vorhandene Modell und die Berechnungssystematik fachgerecht erweitert werden.

4.1 Erfahrungen mit den spezifischen Kennwerten der Verfahrensstufen

Aus den durchgeführten Energieanalysen sowie aus Sonderuntersuchungen an Teilanlagen und Aggregaten lässt sich in Bezug auf die bekannten energetischen Kennzahlen im Wesentlichen folgender Sachstand ableiten:

- **Kanalbetrieb**
Für den Kanalbetrieb gelten grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie an Pumpwerken auf der Kläranlage. Aus energetischer Sicht ist zu unterscheiden zwischen sporadisch und im Dauerbetrieb laufenden Aggregaten. Dauernd betriebene Pumpen sollten auf die tatsächlich auftretende Menge und Förderhöhe ausgelegt sein. Erhöhte Aufmerksamkeit verdienen die Nebenaggregate zur Beheizung, Belüftung und Entfeuchtung, deren Verbrauch zuweilen größer ist als der Verbrauch der Pumpen [10].
- **Zulaufhebewerk**
Bei Hebewerken im Zulauf geht der störungsfreie Betrieb vor der energetischen Effizienz. Hier können allerdings durch eine auf die Häufigkeitsverteilung der Durchflusswerte abgestimmte Abstufung der Pumpen oft Einsparungen erzielt werden. Für die Bewertung sollte der einwohnerspezifische Verbrauchswert nur nachrangig herangezogen werden. Maßgebend ist der auf die Fördermenge und die Förderhöhe bezogene Verbrauch; gute Werte liegen bei 3 - 5 Wh/(m³ m).
- **Rechen, Sandfang, Vorklärung**
Der Verbrauch der mechanischen Stufe ist erfahrungsgemäß anteilig klein bezogen auf den Gesamtverbrauch. Energieeinsparungen an den Aggregaten (Pumpen, Räumer, Rechengutpresse, Sandwäsche) gehen oft zu Lasten der Robustheit und sind dann kontraproduktiv. Einsparmöglichkeiten ergeben sich oft an ganz anderen Stellen, u. a. bei der Wärmeversorgung (Elektroheizungen, Fahrbahnheizungen) oder beim Standbyverbrauch der Steuerungen, der durchaus in der Größenordnung der Nutzenergie liegen kann. Die Werte im Handbuch sind ansonsten realistisch. Aufmerksamkeit ist beim Sandfanggebläse geboten. Der Neukauf eines auf den tatsächlichen Bedarf angepassten Aggregates ist in der Regel wirtschaftlicher als eine Umrüstung, z. B. durch Drehzahlreduzierung bei einem zu großen Gebläse.
- **Vorklärung**
Die Vorklärung spielt für die Primärschlammmentnahme und damit für die Gasproduktion eine entscheidende Rolle. Durch einen automatisierten und quasikontinuierlichen Schlammabzug kann eine nachfolgende statische Eindickung entfallen und stattdessen der Faulbehälter direkt beschickt werden.
- **Biologische Stufe**
Auf die biologische Stufe entfällt etwa die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs. Insofern stehen hier die Einsparmöglichkeiten und die Verbesserung der Effizienz im

Vordergrund. Die im Handbuch angegebenen spezifischen Werte sind überholt. Auf die energetische Bewertung und Optimierungsmöglichkeiten im Bereich der Belüftung und Umwälzung wird später noch näher eingegangen.

- **Nachklärung**
Der Energieverbrauch für die Räumlichkeiten ist üblicherweise nicht relevant. Auffällig sind zuweilen die Schwimmschlammumpen, wenn sie länger andauernd betrieben werden.
- **Schlammbehandlung**
Die Schlammbehandlung wird nach der Gliederung der Modellanlage eingeteilt in Voreindickung, Stabilisierung und Nacheindickung. Der Energieverbrauch wird dabei im Wesentlichen von den Umwälzaggregate und Pumpen bestimmt. Der größte Anteil entfällt üblicherweise auf den Faulbehälter. Die einwohnerspezifischen Werte können hier nur ein Anhaltspunkt sein. Für die energetische Bewertung müssen die einzelnen Pump- und Umwälzvorgänge betrachtet werden.
- **Maschinelle Schlammwässerung**
Der Energieverbrauch der maschinellen Schlammwässerung ist durchaus relevant und bietet Ansätze zur Optimierung. Der Energieverbrauch muss jedoch im Zusammenhang mit den gesamten Schlammwässerkosten gesehen werden, die durchaus in der gleichen Größenordnung liegen wie die gesamten Energiekosten. Der Anteil der Energiekosten an den Entsorgungskosten liegt im 1stelligen Prozentbereich. Es wäre daher unklug, diesen Anteil zu Lasten des TR-Gehaltes des entwässerten Schlammes zu reduzieren.
- **Infrastruktur**
Durch die energetische Optimierung der Hauptverbraucher fällt die Infrastruktur daher heute umso stärker ins Gewicht. Die Vergleichswerte aus dem Handbuch sind daher nur ein grober Anhaltswert. Hier führt nur eine Einzelbetrachtung weiter.
- **Prozesswärme und Klärgasnutzung**
In der Modellanlage sind die Einrichtungen zur Wärmeerzeugung und zur Klärgasnutzung nicht explizit dargestellt, sondern sie wurden im Sinne der verfahrenstechnischen Betrachtung als Nebenprozesse angesehen. In diesem Bereich haben sich in den vergangenen Jahren allerdings die größten Veränderungen ergeben. Das betrifft die technischen Möglichkeiten einerseits und die energierechtlichen Fragen andererseits. Die „Erzeugerseite“, wie sie neuerdings auch oft bezeichnet wird, spielt aus energetischer Sicht heute eine gleichbedeutend wichtige Rolle wie die Verbraucherseite.

4.2 Bewertung von Gebläsen und Verdichtern zur Druckluftzeugung

Auf die Druckluftzeugung entfällt meist der größte Anteil des Stromverbrauchs. Der spezifische Wert nach dem Handbuch Energie liegt bei 13,75 kWh/(E a). Demgegenüber liegen optimierte Werte in der Praxis bei 7 - 11 kWh/(E a). Diese Diskrepanz ist bisher nicht vollständig aufgeklärt. Es gibt allerdings Hinweise darauf, dass die für die Gebläse angenommenen Wirkungsgrade deutlich zu niedrig angesetzt werden, was wiederum zur Überdimensionierung führt mit der Folge, dass die Gebläse im uneffizienten Teillastbereich betrieben werden müssen.

Die Unklarheiten bezüglich des Wirkungsgrades sind möglicherweise durch uneinheitliche Systemgrenzen für die Wirkungsgradbestimmung (Gebläsestufe mit/ohne Luftfilter, Schalldämpfer, Antriebsmotor, Rückschlagklappe) und die hartnäckige Verwendung alter Werte für den Wirkungsgrad verursacht.

Aus einer übergeordneten Sicht handelt es sich demnach um einen klassischen Fehler bei der Festlegung und der Anwendung von Kennzahlen durch unzureichende Beschreibung der Zielgröße.

Vom Autor wurde bereits mehrfach als Kenngröße zur Bewertung der spezifische Leistungsbedarf vorgeschlagen: $p_{\text{spez.}} = P / (Q p)$ in $W/(Nm^3 \text{ bar})$, mit der elektrischen Leistungsaufnahme P , der Luftmenge Q und der Druckerhöhung p . Der Wertebereich liegt hier etwa zwischen 25 (sehr gut) und 70 (schlecht).

In einer neueren Veröffentlichung [11] wird dagegen eine dimensionslose Kennzahl vorgeschlagen, die im Bereich 1,0 - 1,5 variiert. Tatsächlich handelt es sich hier um den reziproken Wert des Wirkungsgrades; insofern ist das keine neue Kennzahl.

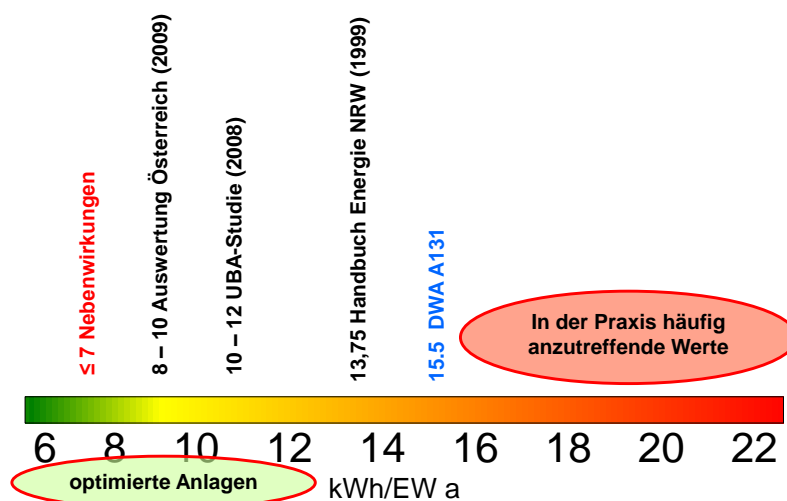


Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch der Belüftung

4.3 Bewertung von Rührwerken zur Umwälzung von Belebungsbecken

Die Auslegung von Umwälzaggregate wurde lange Zeit alleine nach dem Energieeintrag vorgenommen. Im Arbeitsblatt A 131 wurde noch Anfang der 90er Jahre ein Wert von 3 - 8 W/m³ vorgegeben. Später wurde dieser Wert im Zuge der Novellierung des Arbeitsblatts auf 1,5 - 3 W/m³ reduziert. An dieser Angabe orientiert sich die Auslegung bis heute. Nach dem neuen Arbeitsblatt DWA-A 216 ergibt sich erstaunlicherweise wieder ein minimaler Verbrauch von 1,5 W/m³, der bei Volumina unter 2.000 m³ bis auf 4 W/m³ ansteigt (Abbildung 5).

Diese ungewöhnliche Entwicklung erklärt sich aus der fehlerhaften Anwendung von Kennzahlen; insbesondere werden hier die Ergebnisse statistischer Auswertungen mit Kennzahlen verwechselt, die einen Ursache-Wirkungszusammenhang beschreiben.

Der Leistungsbedarf von Umwälzaggregate kann aus wenigen Parametern (TS-Gehalt, Schlammindex, erforderliche Bodengeschwindigkeit, Schub des Rührwerks) berechnet werden [12]. Einen wesentlichen Einfluss haben darüber hinaus die Anordnung und die Beckengeometrie, was in den Auslegungsprogrammen berücksichtigt wird. Demnach lassen sich bei großen Becken durchaus Werte um 0,5 W/m³ erreichen. Bei kleineren Becken können durch einen getakteten Betrieb ebenfalls Werte um 1 W/m³ erreicht werden.

Die in dem Arbeitsblatt DWA-A 216 hinterlegten Kennzahlen für die Ermittlung eines anlagenspezifischen Vergleichswertes basieren nicht auf physikalischen Gleichungen und Ursache-Wirkungsbeziehungen, sondern sie sind aus statistischen Erhebungen in Baden-Württemberg abgeleitet. Man muss sich darüber klar werden, dass ein solches Kennzahlensystem den technischen Fortschritt hemmt, weil die zur Optimierung notwendige Betrachtung der physikalischen Zusammenhänge umgangen wird. Der in Regelwerken minimal angegebene Verbrauchswert wird in vielen Fällen als scheinbare Auslegungsgröße verwendet. Das hat wenig mit der tatsächlichen Umwälzleistung bzw. dem Schub zu tun; allenfalls lässt sich auf den Planer, der nach dieser Methode arbeitet oder den Betreiber, der auf der Einhaltung dieser Vorgaben besteht, schließen.

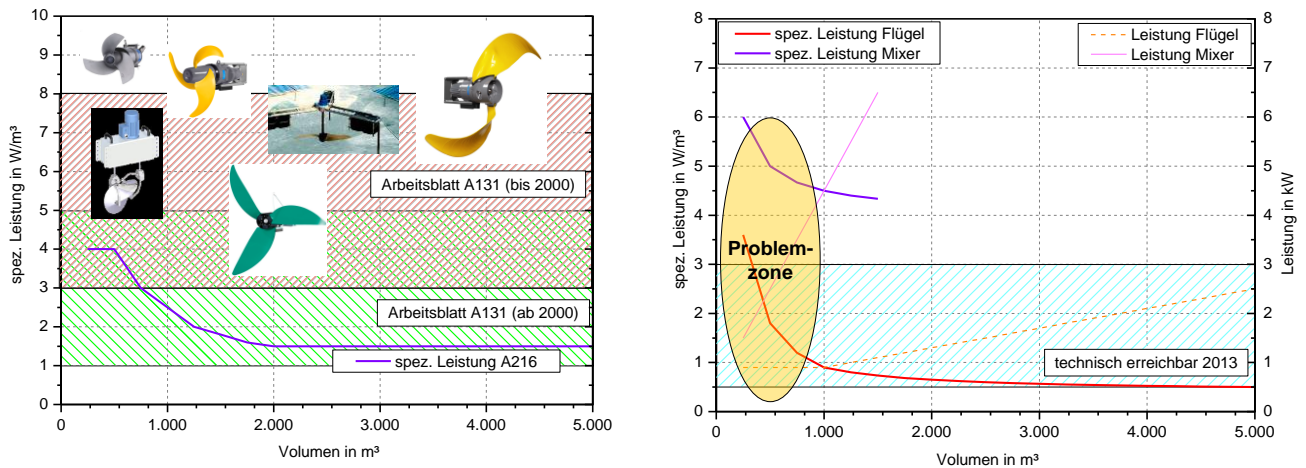


Abbildung 5: Entwicklung der Umwälzleistung mit typischen Rührwerken

5 Ausblick und Empfehlung für ein neues Bilanzmodell

Die im Handbuch Energie in Kläranlage NRW beschriebene Systematik und das zugrunde liegende Kennzahlensystem hat sich in der Praxis bewährt. Die technische Entwicklung bei der Effizienz von Aggregaten und die großen Fortschritte im Bereich der Eigenproduktion von Energie erfordern eine Anpassung und Erweiterung. In diesem Zuge können auch bekannte Unzulänglichkeiten beseitigt werden. Ein wichtiger Aspekt für die Zukunftsfähigkeit des Kennzahlensystems ist die notwendige Abstimmung der verwendeten Begriffe und Berechnungsmethoden auf das sonstige technische Regelwerk im Energiebereich. Das Basismodell ist in Abbildung 6 dargestellt.

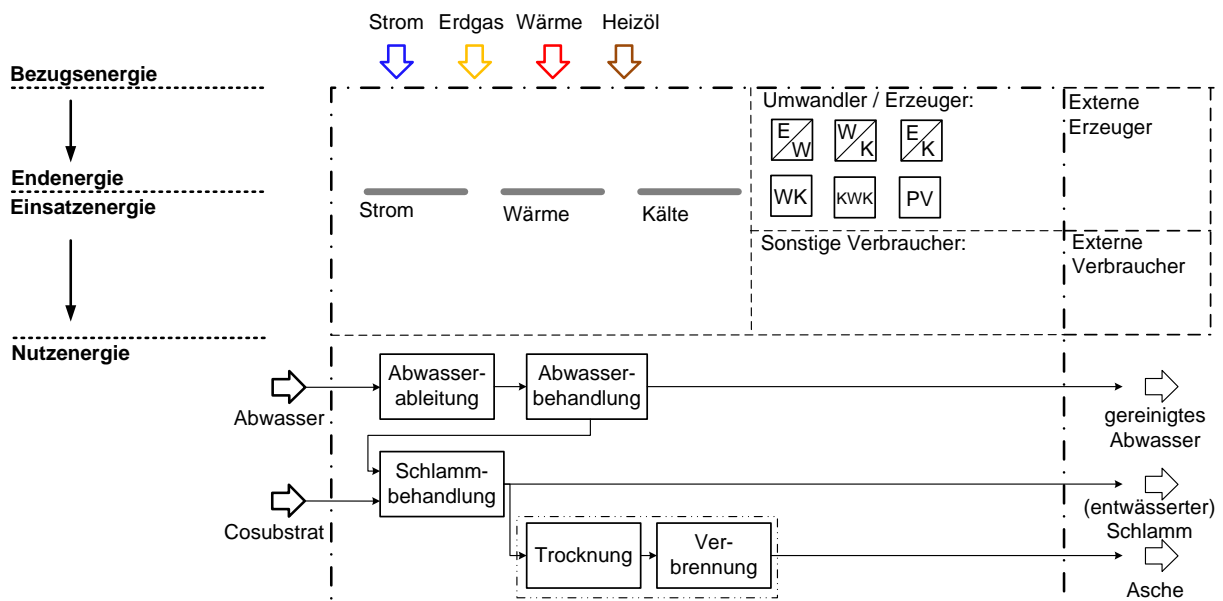


Abbildung 6: Erweitertes Bilanzmodell

Gegenüber dem bisherigen verfahrenstechnisch orientierten Modell wurde es zunächst um die Energieerzeugungsanlagen erweitert, die wahlweise am Standort selbst oder außerhalb des Geländes platziert sein können, was vor allem aus energierechtlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht wichtig ist. Weiterhin sind die Energien farblich und mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet, um die Art der Energie (Primärenergie, Sekundärenergie) und die Herkunft (regenerativ, fossil) kenntlich zu machen und um eine Zuordnung zu den Umwandlungsstufen (Bezugsenergie, Endenergie, Nutzenergie etc.) zu ermöglichen. Es wurden „Sammelschienen“ bzw. Verteiler für die verwendeten Endenergieformen (Strom, Wärme, Kälte) eingeführt, auf denen alle bezogenen und selbst erzeugten Energien gesammelt werden. Von hier aus werden dann die zur Erzeugung der Nutzenergien eingesetzten Aggregate gespeist. Lager und Umwandlungsverluste werden durch die Unterscheidung zwischen Endenergie und Einsatzenergie berücksichtigt. Erste Anwendungen mit dieser Systematik zeigen, dass eine Bilanzierung dadurch wesentlich vereinfacht wird.

6 Literatur

- [1] DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 216, Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, April 2013 (Entwurf)
- [2] Müller, E. A., Kobel, B., Pinnekamp, J., Seibert-Erling, G., Schaab, R., Böcker, K.: Handbuch Energie in Kläranlagen NRW, Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1999
- [3] Haberkern, B., Maier, W., Schneider, U.: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Forschungsbericht, Hrsg.: Umweltbundesamt, März 2008
- [4] Layer, G., Matula, F., Saller, A., Rahn, R.: Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Ermittlung von Energiekennzahlen für Anlagen, Herstellungsverfahren und Erzeugnisse - Zielsetzung, Durchführung, Methodik, Kennzahlen, München, April 1999
- [5] Löffler, T.: Energiekennzahlen für Betriebsvergleiche, Abschlussbericht TU Chemnitz, Januar 2011
- [6] Seibert-Erling, G., Etges, T.: Praktische Umsetzung von Energiemaßnahmen, Beitrag zum 11. Kölner Kanal- und Kläranlagenkolloquium am 30.09.2012, Köln
- [7] Seibert-Erling, G.: Weiterentwicklung der energetischen Kennzahlen am Beispiel der Belüftung und der Schlammbehandlung, Beitrag zur 23. Norddeutschen Tagung für Abwasserwirtschaft und Gewässerentwicklung am 11.05.2011, Lübeck
- [8] Kolisch, G., Schirmer, G.: Energiesituation der kommunalen Kläranlagen in Rheinland-Pfalz, Datenauswertung 2011, Mainz, Dezember 2012
- [9] Lindtner, S.: Energieautarke Kläranlage – Wunschtraum oder Wirklichkeit? Erfahrungen aus der österreichischen Praxis, erschienen in KA Betriebsinfo 40 (2) Hennef 2010
- [10] Seibert-Erling, G.: Energieverbrauch und Energiekosten beim Kanalbetrieb, ersch. in ÖWAV (Hrsg.): Kanal- und Kläranlagennachbarschaften 18 (2010), S. 85 - 95, Wien 2010
- [11] Frey, W.: Messwerte und Kennzahlen der maschinellen Ausrüstung auf Kläranlagen, Wiener Mitteilungen (2011), Band 224
- [12] Frauendorf, G.: Tauchmotor-Rührwerke zur wirtschaftlichen Strömungsbildung in Belebungsanlagen, Korrespondenz Abwasser, 47 (11), S. 1634 - 1636, 2000