

**A E C**

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

---

## **Energieoptimierung von Kläranlagen Pilotprojekt**

### **Detailuntersuchung von 21 Anlagen Endbericht Teil A**

**erstellt von**

**Dipl.-Ing. Hermann Agis**

**im Auftrag von und für**

**Bundesministerium für  
für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft**

**und**

**Kommunalkredit Austria AG**

Wien, im November 2001

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ENERGIE IN KLÄRANLAGEN</b> .....	<b>5</b>
2.1	Energie, Energiekosten .....	5
2.2	Überblick, Verfahren, Energieverbrauch, Energiebezug .....	6
2.3	Bezugswerte für die Energiebewertung (Anlagenbelastung, EW-CSB, EW-bio).....	11
2.4	Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen.....	14
2.5	Energie aus Faulgas .....	15
<b>3</b>	<b>ENERGIEOPTIMIERUNG BEI KLÄRANLAGEN</b> .....	<b>18</b>
3.1	Grundsätzliches .....	18
3.2	Grobanalyse .....	19
3.3	Detailanalyse .....	20
<b>4</b>	<b>GROBANALYSE AN 172 ANLAGEN</b> .....	<b>23</b>
4.1	Zusammenfassung der Projektziele und Ergebnisse .....	23
4.2	Auswahl der Anlagen und Vorgangsweise .....	23
4.2.1	Vorarbeiten .....	23
4.3	Statistische Auswertung der Teilnahme .....	24
4.4	Prüfung der Daten auf Plausibilität.....	25
4.4.1	Zulauftracht.....	25
4.4.2	Energiebezug.....	26
4.5	Bezugsgröße EW-bio.....	30
4.6	Größen-Gruppen und Qualitätskategorien .....	30
4.7	Ausbaugröße in EW-nom (EW-Ausbau) .....	30
<b>5</b>	<b>ALLE ANLAGEN DER GROBANALYSE IM ÜBERBLICK</b> .....	<b>32</b>
5.1	Energiebezug, alle Anlagen der Grobanalyse.....	32
5.2	Energieverbrauch, alle Anlagen der Grobanalyse.....	34
<b>6</b>	<b>AUSWAHL FÜR DIE DETAILANALYSEN</b> .....	<b>36</b>
6.1	Energiebezug, Vorauswahl und Detailanalysen .....	37
6.2	Energieverbrauch, Vorauswahl und Detailanalysen .....	38
<b>7</b>	<b>DIE 21 ANLAGEN FÜR DIE DETAILANALYSE IM ÜBERBLICK</b> .....	<b>40</b>
7.1	Energieeffiziente Anlagen .....	42
7.1.1	Anlagen ohne Faulung.....	42
7.1.2	Anlagen mit Faulung.....	43
7.2	Energiemäßig schlechtere Anlagen“ .....	44
7.2.1	Anlagen ohne Faulung.....	44
7.2.2	Anlagen mit Faulung.....	45
<b>8</b>	<b>DIE 21 ANLAGEN EINZELN GRAFISCH DARGESTELLT</b> .....	<b>46</b>
8.1	Energieverbrauch IST / OPTIMIERT .....	46
8.1.1	Anlagen ohne Faulung, Vergleich GUTE / SCHLECHTE .....	46
8.1.2	Anlagen mit Faulung, Vergleich GUTE / SCHLECHTE.....	48
8.2	Energiebezug IST / OPTIMIERT .....	50
8.2.1	Anlagen ohne Faulung.....	50
8.2.2	Anlagen mit Faulung.....	51
8.3	Energiekosten der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT .....	53
8.3.1	Anlagen ohne Faulung.....	53
8.3.2	Anlagen mit Faulung.....	54
8.4	Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen .....	55
8.4.1	Anlagen ohne Faulung.....	55
8.4.2	Anlagen mit Faulung.....	56

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

---

<b>9</b>	<b>ERGEBNIS IN DEN 4 KATEGORIEN OF, MF, jeweils GUT/SCHLECHT .....</b>	<b>57</b>
<b>9.1</b>	<b>Energieverbrauch IST / OPTIMIERT .....</b>	<b>57</b>
9.1.1	Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6 Stk).....	57
9.1.2	Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk) .....	57
9.1.3	Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk).....	58
9.1.4	Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk).....	58
<b>9.2</b>	<b>Energiebezug der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT .....</b>	<b>59</b>
9.2.1	Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6 Stk).....	59
9.2.2	Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk) .....	59
9.2.3	Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk).....	60
9.2.4	Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten ( 5 Stk).....	60
<b>9.3</b>	<b>Energiekosten der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT .....</b>	<b>61</b>
9.3.1	Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6Stk).....	61
9.3.2	Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5Stk) .....	61
9.3.3	Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk).....	62
9.3.4	Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5Stk).....	62
<b>9.4</b>	<b>Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen .....</b>	<b>63</b>
9.4.1	Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6Stk).....	63
9.4.2	Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk) .....	63
9.4.3	Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk).....	64
9.4.4	Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk).....	64
<b>10</b>	<b>SOLLWERTE FÜR DEN ENERGIEVERBRAUCH.....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>WESENTLICHE URSACHEN FÜR SCHLECHTE ENERGIEEFFIZIENZ .....</b>	<b>66</b>
<b>12</b>	<b>LITERATUR, ABKÜRZUNGEN, BESONDERE GRÖSSEN .....</b>	<b>69</b>

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft (vormals Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie) und der Kommunalkredit Austria AG in Auftrag gegeben und im Zeitraum 1999 – 2001 von Dipl.-Ing. Hermann Agis, AEC Wien in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien ausgeführt.

Es wurden 172 Kläranlagen (105 ohne Faulung, 67 mit Faulung) und einer Ausbaugröße größer ca. 3.000 EW hinsichtlich ihrer Energieeffizienz grob analysiert. Diese Anlagen repräsentieren ca. 6.500.000 EW-nom und ca. 35 % der Anzahl aller kommunalen Kläranlagen Österreichs > 3.000 EW-nom und beziehen ca. 88.000.000 kWh an elektrischer Energie im Jahr. Der weite Streubereich der auf die Anlagenbelastung bezogenen Energiewerte lässt ein großes Einsparungspotential, im Mittel ca. 1/3 und zum Teil 50 % und mehr, erkennen.

An 21 Anlagen mit Belebtschlammverfahren (11 Anlagen mit guter Energieeffizienz, davon 6 ohne Faulung und 5 mit Faulung; 10 mit schlechter Energieeffizienz, davon 5 OF und 5 MF) wurden energetische Detailanalysen durchgeführt und der jeweilige ausführliche Bericht an den zuständigen Anlagenbetreiber übergeben.

Die aufgrund der Detailanalysen vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen reduzieren in Summe bei den energiemäßig schlechten 5 Anlagen ohne Faulung (OF) den Verbrauch und den Bezug an elektrischer Energie um 24 % und bei den schlechten 5 Anlagen mit Faulung (MF) den Verbrauch an elektro+mechanischer Energie um 33 % sowie den Bezug an elektrischer Energie um 54 %.

Trotz dieser Verbesserungen bleiben aber viele dieser Anlagen noch weit von den energetischen Sollwerten entfernt, weil aufgrund der gegebenen Verhältnisse bei den bestehenden Anlagen weitergehende Verbesserungsmaßnahmen im Nachhinein oft nicht wirtschaftlich sind. Dies ist aber meist nicht auf besonders ungünstige naturgegebene Verhältnisse, sondern auf die Konzeption, technische Ausstattung oder auf eine geringe Auslastung (mittlere Belastung bezogen auf die Ausbaugröße) der Anlage zurückzuführen.

Selbst bei den energetisch guten Anlagen waren noch Einsparungen im elektrischen Energiebezug um 16 % (OF) und 24 % (MF) möglich.

Die bei den einzelnen 21 Anlagen vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen sind alle wirtschaftlich sinnvoll und amortisieren sich je nach Anlage innerhalb von 1 bis 8 Jahren.

Es ist auch noch anzumerken, dass die sogenannten „schlechten“ Anlagen, die für die Detailanalyse ausgewählt wurden, sicher nicht die schlechtesten waren. Sie wurden vielmehr unter anderem deshalb ausgewählt, weil sie, abgesehen davon, dass sie energetisch schlechter als die Besten waren, eine gute Datenqualität hinsichtlich Energie- und Frachtermittlung aufwiesen und die Betreiber an aktiver Mitwirkung an der Detailuntersuchung interessiert waren und sich auch bereits für die Grobanalyse gemeldet hatten.

## **Zusätzliche wichtige Ergebnisse:**

- Kennwerte, richtig angewandt, ermöglichen Vergleiche und ein Lernen von den Besten. Ein „Benchmarking“ ist auch bei der Energieeffizienz von Kläranlagen möglich.
- Gute und schlechte Energieeffizienz findet sich gleichermaßen bei Anlagen mit guter und schlechter Reinigungsleistung und bei neuen und alten Anlagen.
- Die Planung (Auslastung der Anlage, Verfahrenskonzept, Anpassbarkeit u. Ausstattung) hat neben einer Optimierung im Betrieb, einen sehr großen Einfluss auf die Energieeffizienz. Die wichtigsten Verfahrensabschnitte dabei sind, die Belüftung und Umwälzung der Belebung inkl. Denitrifikationsbecken mit Rezirkulation und Selektorbecken, die Sandfangbelüftung und das Rücklaufschlammumpwerk sowie die Klärgasnutzung (Blockheizkraftwerk) und Optimierung der Faulung. Energetisch besonders bedeutsam sind, bei allen Anlagen die Belebung und bei Anlagen mit Faulung auch die Klärgasnutzung.
- Ausgehend von den Werten der 8 energiemäßig guten Anlagen wurden Sollwerte für den Energieverbrauch der ARA und der einzelnen Verfahrensabschnitte ermittelt.

Insgesamt wurden durch das Projekt ein einigermaßen repräsentativer Überblick über die Energiesituation österreichischer Kläranlagen der Größenklasse > 5.000 EW-nom, sowie wertvolle Erkenntnisse für Energieoptimierung und Energie-Benchmarking gewonnen. Bei den im Detail untersuchten Anlagen konnten auch unmittelbar Verbesserungsmaßnahmen zur Umsetzung angeregt werden.

## 2 ENERGIE IN KLÄRANLAGEN

Kläranlagen sind oft die größten Verbraucher von elektrischer Energie unter den gemeindeeigenen Einrichtungen. Zahlreiche Untersuchungen an bestehenden Kläranlagen zeigen große Energiesparpotentiale, in Einzelfällen sogar Kosteneinsparungen von mehr als 50 % auf.

Energie ist aber nicht nur ein Kostenfaktor, sondern auch ein wertvoller Rohstoff. Energiesparen bedeutet damit nicht nur Geld sparen, sondern auch Rohstoff sparen und CO<sub>2</sub>-Emission verringern.

### 2.1 Energie, Energiekosten

1 kWh elektrischer oder mechanischer Energie kostet ca. 1,50 ÖS und 1 kWh Wärmeenergie, gewonnen aus fossilen Brennstoffen, ca. 0,40 ÖS.

Obwohl die Energiebezugspreise in der Praxis von vielen Faktoren abhängen und damit die genannten Preise nur grobe Richtwerte sein können, zeigen sie doch eindeutig, dass die elektrische Energie mit dem Richtwert ÖS 1,50 (Strompreise in Österreich je nach Industrie-Abnehmergruppe und Lieferant zwischen ca. ÖS 1,00 und ÖS 2,00) bei weitem die teuerste Energieart ist. Deshalb sollte man elektrische Energie auch möglichst nicht, bzw. nur dort wo wirklich sinnvoll, zum Heizen verwenden.

Der Vorteil der elektrischen Energie ist, dass sie vielseitig verwendbar ist und am Verwendungsort sauber und gut regelbar, mit hohem Wirkungsgrad in die Nutzenergie, z.B. in mechanische Energie, umwandelbar ist.

Zur groben Kostenabschätzung kann man davon ausgehen, dass die Gewinnung von 1 kWh mechanischer Nutzenergie, abhängig von verwendeter Rohenergieart, Abnehmergruppe und Lieferant, zwischen ÖS 1,00 bis 2,00 (Richtwert ca. ÖS 1,50), also in etwa gleich viel wie die elektrische Energie, kostet.

Bewertet man das Arbeitsvermögen von 1 kWh an einigen Beispielen

- betreibt eine 100 W-Glühbirne 10 Stunden lang,
- treibt ein Auto ca. 1,5 km weit,
- erwärmt 10 l Wasser um 86 Grad,
- hebt 1 m<sup>3</sup> Wasser im praktischen Betrieb ca. 200 m hoch, (Theoretisch, ohne Verluste 1.000 kg 367 m hoch),

so ist vor allem der letztgenannte Vergleich sehr erstaunlich.

Man stelle sich vor, mit Muskelarbeit 1000 kg, also in für einen Menschen gut tragbaren 50 Stück zu je 20 kg, 200 m hoch zu heben. Welch anstrengende Arbeit und das für ca. ÖS 1,50 zuzügl. USt.! Ist dies teuer?

Angesichts dieser Betrachtung kann man wirklich nicht sagen, dass Energie teuer ist. Hohe Energiekosten entstehen nur zufolge der großen Energiemengen, die wir im heutigen täglichen Leben gedankenlos verwenden und verschwenden. Und was für den Einzelnen vielleicht noch nicht viel ausmacht, das wird durch die große Zahl der Menschen zu einem bedeutenden Kostenfaktor und ökologischen Problem.

#### **Strompreise:**

Der Strompreis setzt sich üblicherweise zusammen aus:

1. Arbeitspreis (Preis für die bezogene „Wirk“-Energie in kWh). Oft als 4-fach Tarif abhängig vom Bezugszeitraum (Sommertarif-Tag u. -Nacht, Wintertarif-Tag u. Nacht).
- 1a. Energieabgabe (0,2064 ÖS je kWh).
2. Leistungsgebühr (Preis für 15 Minuten-Leistungsspitzen).
3. Preis für Blindarbeit (Zahlung für zu hohe Strombelastung des Netzes).
4. Zählergebühr.
5. Umsatzsteuer (Mehrwertsteuer auf obige Summe).
6. Stranded Costs u. Zuschlag zum Systemnutzungstarif (ca. 0,001 ÖS je kWh)

Dabei sind bei Kläranlagen die Komponenten 1, 1a und 2 wesentliche Kostenbestandteile, 3, 4 u. 6

meist vernachlässigbar, 5 wegen der Vorsteuerabzugsmöglichkeit meist nicht kostenwirksam. Unter bestimmten Voraussetzungen ist es auch möglich, einen Teil der Energieabgabe (Pkt. 1a) einzusparen.

Zur Kostenreduktion ist damit neben dem eigentlichen Energie-Einsparen auch eine Preisreduktion durch Preisverhandlung aber auch durch Minimierung der 15-Min.-Leistungsspitzen (Pkt.2) geeignet. Dies bewirkt zwar keine Einsparung an Energie oder CO<sub>2</sub>-Emission, ist aber doch ein wesentlicher Kostenbestandteil der bei einer Kläranlage typischerweise 20 - 40 % der Stromkosten ausmachen kann.

Eine weitere Kostensenkung ist neben einer eventuell erzielbaren Tarifsenkung und Abgabensenkung vor allem durch „echtes Energiesparen“, nämlich durch Einsparen von kWh möglich. Dieses echte Energiesparen wirkt sich über die Kostenteile 1, 1a und ev. 2 auf die Energiekosten aus und hat als einzige Energiekostensenkungsmaßnahme auch einen positiven Umwelteffekt.

## 2.2 Überblick, Verfahren, Energieverbrauch, Energiebezug

Im Folgenden werden die beiden Kläranlagen-Haupttypen nach dem Belebtschlammverfahren mit ihren wesentlichen Verfahrensstufen und hinsichtlich der Energie im Überblick beschrieben.

### Kläranlage mit Faulung (MF)

Eine Kläranlage mit Faulung gliedert sich in folgende Abschnitte. Siehe dazu auch das folgende Bild.

#### **Mechanische Vorreinigung**

Diese besteht aus Rechen und Sand- u. Fettfang, in denen mittels mechanischer Methoden (Sieben, Absetzen und Floatieren) größere im Abwasser treibende Stücke, Sande und Fette aus dem Abwasser entfernt werden, um von diesen ausgehende nachteilige Effekte in den nachfolgenden Einrichtungen möglichst fernzuhalten. Diese Vorreinigung hat nahezu keine Reinigungswirkung hinsichtlich CSB, BSB<sub>5</sub>, Stickstoff oder Phosphor.

Der Energieverbrauch der mechanischen Vorreinigung ist, selbst wenn die Zusatzeinrichtungen, wie Rechengutpresse, Sandklassierer und Sandwäsche, vorhanden sind, gemessen an der Gesamtanlage gering. Ein nennenswerter Energieverbrauch ist nur durch die Sandfangbelüftung, sofern vorhanden und vor allem wenn zu intensiv eingestellt, gegeben.

#### **Vorklärung**

Diese zählt auch zur mechanischen Reinigung, da sich hier bei einer mittleren Verweildauer des Abwassers im Vorklärbecken von ca. 0,5 bis ca. 4 Stunden die meisten absetzbare Stoffe des Abwassers zufolge der Schwerkraft absetzen. Der dabei anfallende Schlamm ist sehr geruchsintensiv und infektiös und wird als sogenannter Primärschlamm aus der Vorklärung abgezogen.

Je nach dem Anteil von absetzbaren Stoffen im Abwasser und nach der mittleren Verweildauer in der Vorklärung wird hier ca. 15 – 40 % der CSB- bzw. BSB<sub>5</sub>-Fracht entfernt. Die Reinigungswirkung hinsichtlich der Stickstoff- u. Phosphorverbindungen ist sehr gering.

Energie wird bei der Vorklärung nur durch die Schlammräumung und eventuell durch eine Beheizung der Räumerbahn gegen Vereisung verbraucht. Sie ist gemessen an der Gesamtanlage sehr gering.

#### **Biologische Abwasserreinigung (Belebung, Nachklärung, Belebtschlammverfahren)**

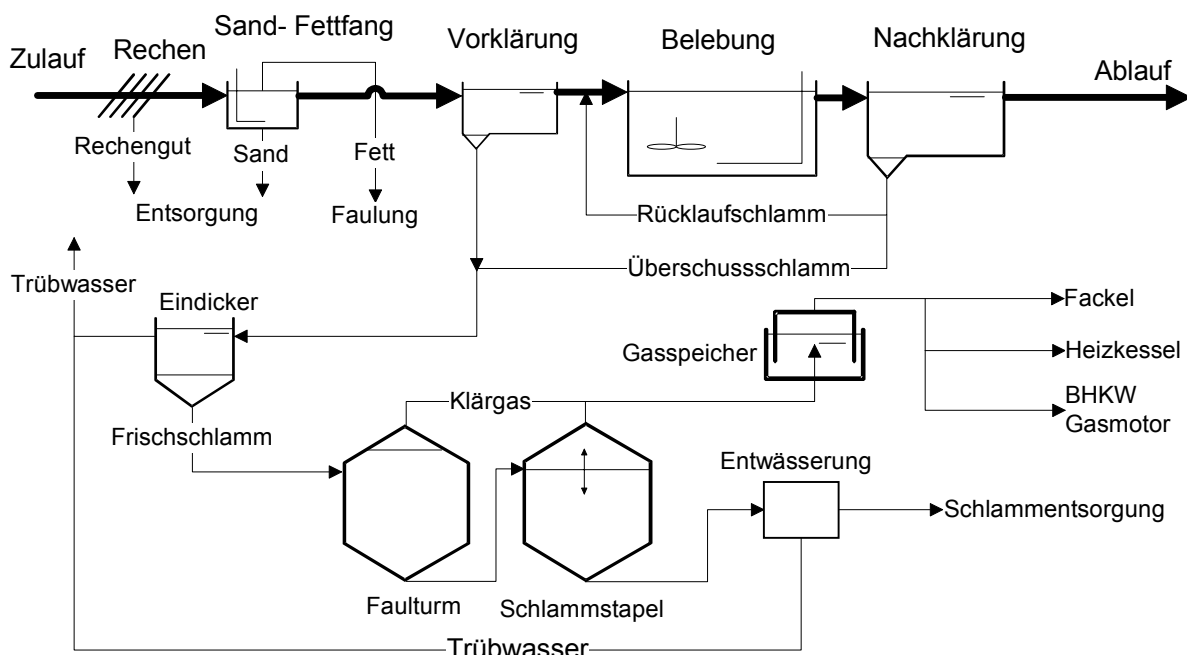
Hier wird der wesentliche Reinigungseffekt erzielt. Die biologische Abwasserreinigung entfernt den Hauptteil der Schmutzfrachten hinsichtlich Kohlenstoff, Stickstoff- u. Phosphorverbindungen aus dem Abwasser und nur sie ist in der Lage, wenn man von der Fällung mit Chemikalien absieht, auch gelöste Stoffe aus dem Abwasser zu entfernen.

Die Biologie besteht immer aus dem Belebungsbecken in dem die Mikroorganismen im Wesentlichen aktiv sind und der Nachklärung in der der Belebtschlamm vom gereinigten Abwasser durch Absetzen getrennt wird. Der überwiegende Teil des Schlammes aus dem Nachklärbecken wird als Rücklaufschlamm wieder in den Zulauf des Belebungsbeckens zurückgeführt. Bei einem üblichen Rücklaufverhältnis von ca. 1 entspricht dies mengenmäßig in etwa der Zulauf-Abwassermenge. Da in der Belebung durch Vermehrung der Mikroorganismen ständig neue Biomasse gebildet wird, muss die Differenz zwischen Zuwachs und Absterben aus dem System Biologie entnommen werden. Diese Schlammmenge macht größenordnungsmäßig 1 % vom Rücklaufschlamm aus und wird als sogenannter Überschussschlamm nach Eindickung in den Faulbehälter gefördert.

Je nach konstruktiver Ausgestaltung kann das Belebungsbecken aus einem oder mehreren Becken bestehen und durch zusätzliche Becken mit speziellen Aufgabenstellungen wie Selektor oder Denitrifikation ergänzt werden. Es können aber auch alle Vorgänge einer dem Stand der Technik entsprechenden biologischen Abwasserreinigung, wie Kohlenstoffabbau, Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorentfernung, in einem Belebungsbecken stattfinden, wenn durch eine entsprechende Größe und durch räumliche oder zeitliche Aufteilung in belüftete und unbelüftete Bereiche die richtigen Lebensbedingungen für die Mikroorganismen geschaffen werden, so dass sie alle in ausreichender Zahl vorhanden und fähig sind die entsprechende Schmutzfracht aufzunehmen und zu verstoffwechseln.

Die Biologie verbraucht den größten Teil der elektro+mechanischen Energie einer Kläranlage, wobei davon wiederum vor allem die Belüftung der Belebungsbecken und in weiterer Folge die Umwälzung und die Rücklaufschlamm-pumpen die Hauptverbraucher darstellen. Die Nachklärung ist hinsichtlich des Energieverbrauches unbedeutend.

## Verfahrensschema einer Kläranlage mit Faulung:



### Faulung

Der Primärschlamm und der Überschussschlamm gelangen nach Eindickung und Erwärmung in den Faulturm, wo der Schlamm ausfault. Dies geschieht unter strikt anaeroben Bedingungen bei einer Temperatur von ca. 35 °C und einer mittleren Verweildauer von mindestens 20 Tagen. Dabei werden ca. 50 % des über den Frischschlamm eingebrachten oTS bzw. CSB abgebaut, der Schlamm dadurch stabilisiert und Klärgas (0,5 m<sup>3</sup> Methan je kg abgebauten oTS, 12-24 l Klärgas je EW-bio u. Tag) gebildet. Durch die Reduktion der oTS verringert sich die Schlamm Trockensubstanz (TS) um 1/3, sodass sich die Schlammmenge nach Abzug des freiwerdenden Trübwassers auch auf ca. 2/3 der eingebrachten Menge verringert.

Die Eindickung und Faulung des Schlammes benötigt nur wenig elektro+mechanische Energie. Allerdings benötigt die Faulung relativ viel Wärmeenergie, wovon der Großteil für die Erwärmung des Schlammes von Abwassertemperatur auf Faulraumtemperatur und nur ein geringer Teil für die Warmhaltung des Faulraum Inhaltes benötigt wird. Eine gute Eindickung des Frischschlammes wirkt sich deshalb sehr positiv aus, da dadurch weniger Schlammmenge in den Faulturm eingebracht und damit erwärmt werden muss und auch die längere mittlere Verweildauer eine bessere Ausfaulung erwarten lässt.

### Schlamm entwässerung

In der Schlamm entwässerung wird der Faulschlamm durch Schlammpressen soweit entwässert, dass er besser lagerfähig und transportfähig wird. Der Energieverbrauch der Schlammpressen ist relativ gering.

## Kläranlage ohne Faulung (OF)

Im Unterschied zur Kläranlage mit Faulung hat die Anlage ohne Faulung keine Vorklärung und keine Faulung. Siehe dazu auch folgendes Bild.

Durch das Fehlen der Vorklärung kommt die Zulauf-CSB-Fracht unvermindert in das Belebungsbecken, sodass dort mehr CSB abgebaut werden muss.

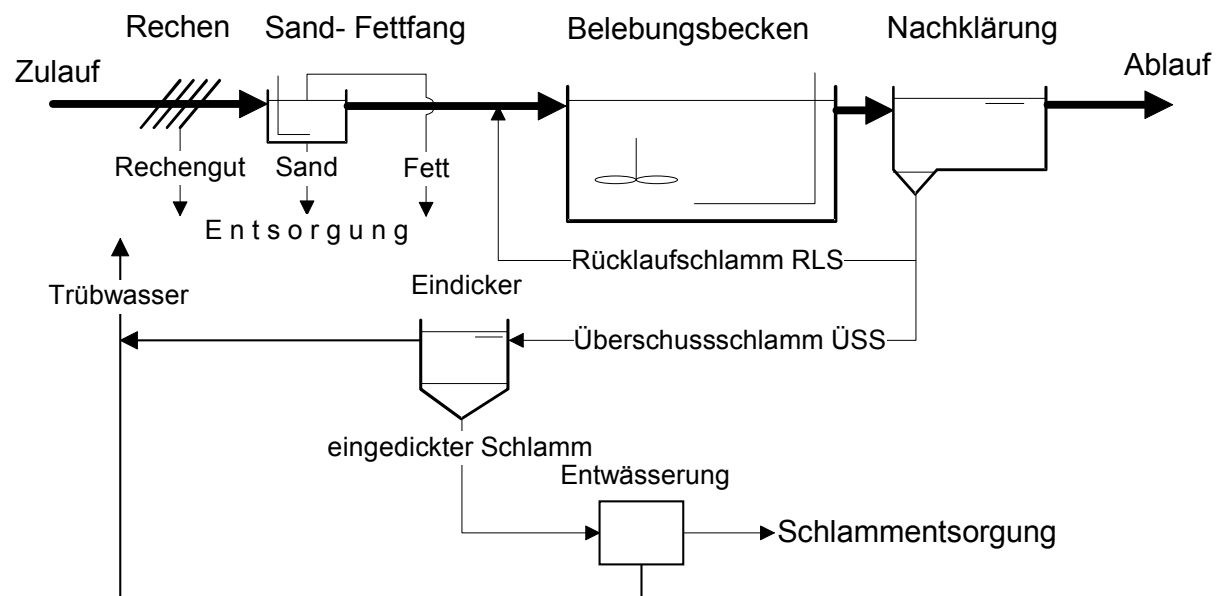
Wegen des Fehlens der Faulung muss der Überschussschlamm anderweitig stabilisiert werden. Dies geschieht meist im Belebungsbecken selbst durch simultane aerobe Stabilisierung.

Beide Punkte führen dazu, dass die Belebung bei der Anlage ohne Faulung größer sein muss als bei der Anlage mit Faulung und es muss mehr Sauerstoff in die Belebung eingetragen werden, was sich negativ auf den Energieverbrauch der Belüftung und der Abwasserreinigung insgesamt auswirkt. Außerdem entsteht in der Anlage kein Biogas, sodass keine Energieeigenerzeugung möglich ist und der gesamte Energiebedarf von extern bezogen werden muss, was wiederum zu einem deutlich höheren Energiebezug im Vergleich zu einer Anlage mit Faulung führt.

Ein weiterer Nachteil der fehlenden Faulung ist der größere Schlammanfall, verbunden mit höheren Entsorgungskosten.

Der Vorteil der Anlage ohne Faulung liegt darin, dass sie einfacher im Bau und Betrieb ist, was im Wesentlichen auf das Fehlen des Faulturms, der dafür notwendigen Heizanlage, des Gasspeichers und der Geräte zur hochwertigen Klärgasnutzung (BHKW, Gasmotor) zurückzuführen ist.

### **Verfahrensschema einer Kläranlage ohne Faulung:**



## Energieströme, Energiebezug, Energieverbrauch

Die folgenden Bilder zeigen den Energiefluss in einer Kläranlage ohne Faulung und in einer Anlage mit Faulung. Es sind energieeffiziente Anlagen gleicher Größe (ca. 35.000 EW-CSB Belastung und ca. 70.000 EW-Ausbau) und mit weitgehender Stickstoffentfernung zugrundegelegt.

Die Ströme stellen durch ihre Breite die Energiemengen je EW-CSB und Jahr dar und sind im Verhältnis zueinander maßstabsrichtig dargestellt. Auf der linken Seite der Bilder ist der Energiebezug, im mittleren Bereich der Energieverbrauch der Anlage sowie der ARA und rechts die Nutzenergie dargestellt.

Bevor die beiden Verfahrenstypen im Vergleich zueinander behandelt werden, werden noch einige wichtige Unterscheidungen zum Energiebegriff erläutert.



## **Energiebezug:**

Der Energiebezug ist die Energie, die von der Gesamtanlage (inklusive etwaiger Sonderverbraucher) von extern bezogen (zugekauft) wird. Die Energieform entspricht noch den **Energieträgern** (Elektrische Energie, Treib- u. Brennstoffe: Erdgas, Flüssiggas, Heizöl, etc.) und wird mit dem Heizwert in die Energiemenge umgerechnet. Bei der elektrischen Energie und bei Erdgas ist die direkte Erfassung der Menge für jede beliebige Periode direkt über die installierten Verrechnungszähler möglich, da bei diesen Energieträgern zu jedem Zeitpunkt nur bezogen wird, was auch verbraucht wird. Bei Heizöl und Flüssiggas ist aufgrund der Lagerung dieser Energieträger auf der Anlage in Tanks, der Verbrauch zeitlich weitgehend vom Bezug entkoppelt. In diesem Fall ist nur die Menge des Energieträgers als „Bezug“ zu werten, die in der betrachteten Zeitperiode auch tatsächlich verbraucht wurde.

## **Bereitstellung bzw. Verbrauch von elektro+mechanischer Energie und Wärmeenergie:**

Auf der Anlage wird die in den bezogenen Energieträgern enthaltene Energie teilweise in andere Energieformen umgewandelt, die in den Gruppen elektro+mechanische Energie und Wärmeenergie zusammengefasst werden können.

So kann die zugekaufte elektrische Energie für die vielfältigsten Aufgaben, wie zum Beispiel Beleuchtung, Steuerung und Regelung, Betrieb von Computern, Analysegeräten, Elektromotoren aber auch für Heizung und Warmwasserbereitung genutzt werden.

Der Energieverbrauch der ersten Gruppe wird hier zusammengefasst der „Verbrauch an elektro-mechanischer Energie“ genannt. Die elektrische Energie, die für Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt wird, wird hier dem „Verbrauch an Wärmeenergie“ zugerechnet.

Erdgas, Heizöl und Flüssiggas werden meist in einem Heizkessel verfeuert und damit zur Wärmebereitung verwendet. Sie können aber auch in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Erzeugung von Strom und Wärme oder in einem Verbrennungskraftmotor zur Erzeugung mechanischer Energie und Wärme verwendet werden.

Somit gibt es auf der Anlage im wesentlichen 2 Endenergieformen, die elektro+mechanische Energie und die Wärmeenergie. Der Wärmeenergieverbrauch wird an der Stelle, wo die Energie dem Heizsystem zur Verfügung steht, also nach der Energieumwandlung im Heizkessel bzw. nach der Auskopplung der Wärme im Gasmotor, gezählt, das heißt, die jeweiligen Umwandlungsverluste (im Heizkessel oder Gasmotor) sind hierbei bereits abgezogen.

Bei der elektro+mechanischen Energie ist eine kleine Inkonzsequenz gegeben, als bei Gasmotor-direktantrieben die Energie an der Motorwelle und bei elektrischen Motoren, aufgrund der einfacheren Messmöglichkeit auf der elektrischen Seite (also vor Abzug der Motorverluste) und nicht an der Motorwelle erfasst wird.

Die elektro+mechanische Energie und Wärmeenergie, die der Anlage zur Verfügung stehen, werden von der Anlage auch verbraucht. Somit kann man diese Energiemengen sowohl als Energiebereitstellung als auch als Energieverbräuche bezeichnen und demzufolge diese sowohl von der Seite der Energiebereitstellung her (Bezug + Eigenerzeugung unter Berücksichtigung der Energieumwandlung und der Umwandlungsverluste) als auch von der Verbraucherseite her durch Aufsummieren der einzelnen Energieverbräuche ermitteln. Beide Methoden müssen, sofern keine Fehler vorliegen, zum selben Ergebnis führen, weshalb man diese Methode zur Kontrolle der Richtigkeit bzw. Genauigkeit der Energieermittlung in Anlehnung an die kaufmännische Buchführung auch als Energiebilanz bezeichnet.

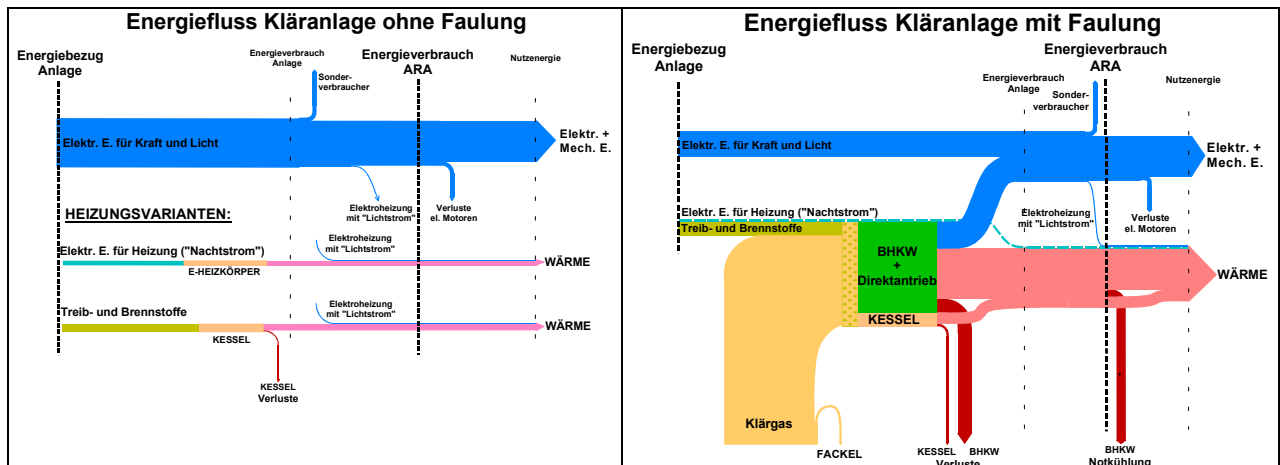
## **Unterscheidung zwischen Anlage und Standardkläranlage (ARA):**

Der Energieverbrauch der Anlage und der Standardkläranlage, hier oft kurz ARA genannt, unterscheidet sich um den Energieverbrauch etwaiger **Sonderverbraucher**. Darunter sind hier Verbraucher zu verstehen, die von der Anlage energiemäßig mitversorgt werden, aber nicht zur Standardkläranlage (ARA) gehören. Beispiele dazu sind Abwasserhebwerke im Kanalnetz oder auf der Anlage, die notwendig sind, um das Abwasser durch die Anlage zu fördern oder Abwasserfilteranlagen (3. Reinigungsstufe) oder Abluftförder- bzw. Filteranlagen (Biofilter) oder Schlamm-trocknungsanlagen oder Kompostieranlagen. Rücklaufschlammhebwerke, interne Schlamm-pumpwerke, Rezirkulationspumpwerke sind keine Sonderanlagen in diesem Sinne, sofern sie über keine größeren Höhenunterschiede als für eine Anlage der Größe normal fördern müssen. Ein Schlamm-pumpwerk, das den Überschussschlamm zur nächsten Kläranlage pumpt, um ihn dort mitbehandeln zu lassen, wäre aber wiederum ein Sonderverbraucher.

## Nutzenergie:

Als Nutzenergie ist hier die Energiemenge zu verstehen, die an die Maschinen, die für den Prozess notwendig sind, abgegeben werden. Im Falle eines Motors, gleichgültig ob Elektromotor oder Verbrennungskraftmotor ist dies die von der Motorwelle auf die Maschine (Pumpe, Belüftungsgebläse, Rührwerk, etc.) übertragene Energie zu verstehen. Im Falle der Heizung wäre dies die dem Heizkörper oder Heißwasserbereiter zugeführte Energie.

Nutzenergie in diesem Sinne sagt nicht aus, dass die Energie tatsächlich nützlich oder sparsam verwendet wird. Sowohl beim Motor als auch bei der Heizung kann die Nutzenergie auch verschwendet werden. Man denke nur zum Beispiel bei Rührwerken an zu intensives Rühren oder bei der Heizung an zu hohe Raumtemperatur oder Heizen bei offenem Fenster.



## Vergleich der beiden Verfahrenstypen hinsichtlich Energie:

Bei der **Anlage ohne Faulung** beträgt der Verbrauch an elektro+mechanischer Energie der Anlage ohne Sonderverbraucher (ARA) ca. 22 kWh/EW-CSB und Jahr und der Verbrauch an Wärmeenergie bei der Variante Elektroheizung ca. 2 kWh/EW-CSB und Jahr bzw. ca. 3 kWh/EW-CSB und Jahr bei Heizung mittels Gas oder Heizöl.

Man sieht, dass bei der Anlage ohne Faulung der Energieverbrauch bis auf die Verluste mit dem Bezug übereinstimmt. Deshalb ist es bei diesem Anlagentyp nahezu gleichgültig, ob man vom Energieverbrauch oder Energiebezug spricht. Da der Energiebezug verrechnet wird, wird er auch sehr genau gemessen und protokolliert und es ist damit sehr einfach den Energieverbrauch der Gesamtanlage zu bestimmen.

Um Kennwerte für einen Grob-Energievergleich zu gewinnen, muss man nur den Energieverbrauch etwaiger Sonderverbraucher (wie Abwasserhebewerke, Biofilter, etc.) ermitteln und damit aus den Anlagenwerten die Energiewerte der eigentlichen Kläranlage ohne Sonderverbraucher (Standard-ARA) berechnen. Durch Bezug auf die „Nutzleistung der Anlage“, nämlich die zu reinigende Schmutzfracht (EW-CSB), werden die bezogenen Größen zu Kennwerten, die einen sinnvollen direkten Vergleich von verschiedenen Anlagen zulassen. Anlagen gleicher Größenordnung und gleichen Verfahrens sollten bei gleicher Effizienz dieselben Werte liefern, bei Anlagen verschiedener Verfahren oder sehr stark unterschiedlicher Größe muss man dies beim Vergleich der Kennwerte berücksichtigen.

Bei der **Anlage mit Faulung** sind die Verhältnisse wesentlich komplexer. Die Energie aus dem Klärgas und aus den zugekauften Treib- u. Brennstoffen wird, soweit im BHKW (oder Gasmotordirektantrieb) eingesetzt, in Wärme und elektrische Energie (mechanische Energie) umgewandelt und deckt damit einen großen Teil des Energieverbrauchs ab. Dadurch müssen bei dieser Anlage, bei der beispielsweise der Verbrauch an elektro+mechanischer Energie 20 kWh/EW-CSB u. Jahr ausmacht, nur 8 kWh zuzüglich eventueller Sonderverbraucher an Strom zugekauft werden.

Man sieht auch, dass die Anlage mit Faulung einen wesentlich höheren Wärmeverbrauch als die Anlage ohne Faulung hat, was vor allem auf das Aufheizen des Schlammes für die Faulung zurückzuführen ist. Bei der Wärmeenergie ist noch zu beachten, dass hier die Jahresenergie dargestellt wird. Dadurch ist sowohl bei der Notkühlung für das BHKW (oder Gasmotor) als auch beim

Heizkessel eine Jahresmenge vorhanden, im zeitlichen Ablauf gesehen ist die Notkühlung jedoch im Sommer, der Heizkessel im Winter zeitweise aktiv.

**Bei Kläranlagen ohne Faulung** ist der Energiebezug identisch mit dem Energieverbrauch und damit gelten alle Betrachtungen des vorigen Abschnittes unverändert auch für den Energiebezug.

**Bei Kläranlagen mit Faulung** ist die Sache komplizierter, weil in der Anlage eigene Energie in Form von Klärgas anfällt und diese in Wärmeenergie und meist auch in elektro+mechanische Energie umgewandelt wird. Zusätzlich werden zugekaufte Treib- u. Brennstoffe bei Anlagen mit Faulung häufig auch in einem BHKW oder Gasmotor zusätzlich zum Klärgas eingesetzt, sodass eine teilweise Energieumwandlung von Treib- u. Brennstoff-Energie in Wärme und elektro-mechanische Energie erfolgt.

Die Eigenerzeugung an Energie bewirkt, dass der Energiebezug bei einer Kläranlage mit Faulung deutlich kleiner als der Energieverbrauch ist. So hat zum Beispiel eine energetisch gute Anlage mit Faulung typischerweise einen Verbrauch an elektro-mechanischer Energie von ca. 20 kWh/EW-CSB u. Jahr, obwohl nur ca. 5 kWh von extern bezogen werden. Dies hat zur Folge, dass bei einer Energieeinsparung um 10 % im Verbrauch sich dies im Bezug mit 40 % auswirkt. Entsprechendes gilt natürlich auch bei einer Steigerung der Eigenproduktion von elektro-mechanischer Energie um z. B. 10 %, was bei der Beispielanlage absolut ca. 1,5 kWh ausmacht und sich mit einer Reduktion im Strombezug um -30 % auswirkt.

Diese „Hebelwirkung“ auf die prozentuellen Einsparungseffekte im Energiebezug werden umso stärker, je energieeffizienter die Anlage im Verbrauch bereits ist.

## 2.3 Bezugswerte für die Energiebewertung (Anlagenbelastung, EW-CSB, EW-bio)

Sinnvolle Bezugsgrößen haben den Vorteil, dass die damit gewonnenen bezogenen Größen die direkte Abhängigkeit von der Bezugsgröße verlieren und damit quasi zu Kenngrößen werden, die einen direkten Vergleich mit anderen gleichen Prozessen erlauben.

Als einfaches Beispiel sei hier der Treibstoffverbrauch eines PKW,s genannt.

Die Angabe, „das Kraftfahrzeug hat 8.000 Liter Treibstoff verbraucht“ sagt nicht viel über die Treibstoffeffizienz des KFZ aus.

Hat man noch die Information, dass diese Treibstoffmenge in 1 Jahr verbraucht worden ist, dann kann man zwar die Menge auf die Zeit beziehen und erhält damit 8.000 l pro Jahr oder 21,9 l pro Tag, aber auch dies sagt nicht viel über die Treibstoffeffizienz aus. Offensichtlich ist in diesem Falle die Zeit ein ungeeigneter Bezugswert zur Beurteilung der Treibstoffeffizienz.

Bezieht man die 8.000 l aber auf die wesentliche Einflussgröße, nämlich die mit dieser Treibstoffmenge gefahrene Wegstrecke von z.B. 10.000 km, dann erhält man als bezogene Größe 8 Liter pro 100 km. Das ist nun, weil der Verbrauch auf die wesentliche Einflussgröße, nämlich die damit zurückgelegten km, bezogen wurde, ein vernünftiger Kennwert, den man mit anderen PKW's vergleichen kann.

Außerdem kann man die gefahrenen km auch als „Nutzgröße“ des PKW's ansehen und damit hat man den Treibstoffaufwand mit dem „Nutzen“ in Beziehung gesetzt.

Für den Kraftstoffverbrauch unterschiedlicher PKW's ist die einfache Angabe Liter je 100 km schon ein brauchbarer Kennwert, man kann seine Aussagekraft aber noch verbessern, wenn man nun noch andere Einflussgrößen auf die Treibstoffeffizienz, wie z.B. Treibstoffart, Größe des PKW's, Fahrweise dazu angibt.

An dem Beispiel zeigt sich auch, dass es zur Ermittlung dieser Treibstoffeffizienz notwendig ist, sowohl den Kraftstoffverbrauch als auch die zugehörigen km möglichst genau zu erfassen.

Die Frage nach dem Nutzeffekt einer Kläranlage ist einfach zu beantworten, nämlich „die Reinigung des Abwassers“. Um auf die für den Bezug notwendige quantifizierbare Größe zu kommen, ist es sinnvoll sich die in der Kläranlagenpraxis gemessenen Größen vor Augen zu führen.

Die folgende Tabelle zeigt die Daten des Standardabwassers im Zulauf zur Anlage (Rohabwasser) für die Belastung mit 1 EW und die Ablaufdaten im Jahresmittel für eine typische, dem Stand der Technik

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

entsprechende Kläranlage. In der rechten Spalte sind auszugsweise einige Grenzwerte der 1. AEV, 1996 für die Größenklasse III (5.000 bis 50.000 EW-Ausbau) zur groben Orientierung angegeben.

In diesem Bericht wird die Ausbaugröße einer Anlage mit EW-nom (nominelle Größe) und die **Belastung der Anlage meist in EW** für die jeweilige Zulaufschmutzfracht im Jahresmittel angegeben. Dabei entspricht:

- 1 EW-hyd ..... einer Zulauf-Abwassermenge von 200 Liter pro Tag (200 l/d)
- 1 EW-BSB5 ..... einer Zulauf-BSB5-Fracht von 60 g pro Tag (60 g/d).
- 1 EW-CSB ..... einer Zulauf-CSB-Fracht von 110 g pro Tag (110 g/d)
- 1 EW-N ..... einer Zulauf-N<sub>ges</sub>-Fracht von 11 g pro Tag (11g/d)
- 1 EW-P ..... einer Zulauf-P<sub>ges</sub>-Fracht von 1,7g pro Tag (1,7 g/d)

## Mengen und Konzentrationen bei Standardabwasser und einer Belastung von 1 EW.

	Standardabwasser		Bei typischer Reinigungsleistung			1.AEV, 1996 Gr.KI III	
	Zulauf bei 1 EW		Ablauf Typisch		Aus Abwasser entfernt		Wirkungs- grad d. Entf.
Menge	200 Liter/Tag		195 – 200 Liter/Tag		g/Tag	%	
	g/Tag	mg/l	g/Tag	mg/l			
BSB5	60	300	1,2	6	58,8	98 %	> 95 %
CSB	110	550	7	35	103	94 %	> 85 %
N <sub>ges</sub>	11	55	2	10	9	82 %	> 70 %
NH <sub>4</sub> -N	ca. 7,5	ca. 38	0,2	1	7,3	87 %	< 5 mg/l
NO <sub>x</sub> -N			1,8	9			
P <sub>ges</sub>	1,7	8,7	0,16	0,8	1,54	91 %	< 1 mg/l

Obwohl die Ablaufdaten nur grobe Richtwerte für eine Kläranlage nach dem Stand der Technik darstellen, und von Anlage zu Anlage unterschiedlich sind, kann man aus obiger Tabelle doch ersehen, dass beim CSB (wie im noch stärkeren Maße beim BSB5) nahezu die gesamte Zulauffracht aus dem Abwasser entfernt wird. Deshalb kann man bei CSB und BSB5 davon ausgehen, dass die Zulauffracht die aus dem Abwasser entfernte Fracht sehr genau widerspiegelt und im Rahmen der im praktischen Betrieb gegebenen Erfassungsgenauigkeit sogar gleichwertig ist.

Für die Bewertung der Energieeffizienz einer biologischen Kläranlage bietet sich vorrangig die „Nutzgröße der Kläranlage“, nämlich die aus dem Abwasser entfernte Schmutzfracht, an. Diese Schmutzfracht bestimmt im Wesentlichen den notwendigen Energiebedarf für die Verfahrensstufen der biologischen Abwasserreinigung (Belebung, Belüftung) und auch die anfallende Schlammmenge (oTS-Fracht). Über den Einfluss auf die Schlammmenge ist damit die entfernte Schmutzfracht auch die wesentliche Einflussgröße für den elektro+mechanischen Energieverbrauch der Schlammstabilisierung und Schlammbehandlung.

Für den Energieverbrauch der Abwasserpumpwerke ist nicht die Schmutzfracht, sondern die Fördermenge (Abwassermenge) die entscheidende Einflussgröße. Bei diesen ist der Energieverbrauch nämlich im Wesentlichen nur von der geförderten Menge und der Hebehöhe, nicht aber von der Schmutzstoffkonzentration abhängig und es gibt auch keinen Einfluss von der Zulauffracht auf die zu fördernde Abwassermenge. Dies unterscheidet das Abwasserpumpwerk von den Schlammumpwerken, deren Fördermenge ja, wie bereits erwähnt, von der Menge des gebildeten Schlammes und damit von der Zulaufschmutzfracht abhängt. Abwasserhebwerke und andere Sonderverbraucher werden aber, wie in Abschnitt 2.2 erläutert, aus der Energiebewertung der eigentlichen Kläranlage (ARA) herausrechnet und getrennt von der ARA untersucht. Damit ist auch deren Einfluss der Abwassermenge auf den Energieverbrauch in der ARA nicht vorhanden.

Aufgrund der vorangegangenen Bemerkungen ist erklärlich, dass, entgegen der vielfach verbreiteten Meinung, die Abwassermenge, wenn überhaupt, dann nur einen geringen Einfluss auf den Energieverbrauch der Standardkläranlage (ARA) hat.

Die in der Kläranlage entfernte Schmutzfracht, die bei einer dem technischen Stand entsprechenden Kläranlage, sich nur um wenige Prozent von der zulaufenden Schmutzfracht unterscheidet, ist die Haupteinflussgröße für den Energiebedarf der ARA (Kläranlage ohne Sonderverbraucher). Durch den Bezug der Größen auf den Bezugswert Schmutzfracht werden die bezogenen Größen weitgehend unabhängig von der Schmutzfracht und damit zu „Kennwerten“, die einen direkten

Vergleich auch bei unterschiedlichen Anlagengrößen und Anlagenbelastungen ermöglichen.

Die Schmutzfracht wird üblicherweise durch folgende wesentliche Komponenten bestimmt

- Kohlenstoffverbindungen (ermittelt über den zur Oxidation dieser Kohlenstoffverbindungen benötigten Sauerstoff, bestimmt als BSB<sub>5</sub> oder CSB)
- Stickstoffverbindungen
- Phosphorverbindungen

Die Entfernung der Phosphorverbindungen hat keinen Einfluss auf den Energieverbrauch der ARA.

Zur Oxidation der Kohlenstoffverbindungen und Stickstoffverbindungen durch geeignete Mikroorganismen ist es notwendig diese mit Sauerstoff zu versorgen, der über das Belüftungssystem ins Belebungsbecken eingetragen werden muss. Dafür ist ein relativ großer Energieaufwand notwendig, sodass die Belüftung der bei weitem größte Energieverbraucher auf Kläranlagen ist und damit den elektro-mechanischen Energieverbrauch der Abwasserreinigung im Wesentlichen bestimmt.

Auf die Berechnung des Sauerstoffbedarfs in Abhängigkeit von der CSB-Entfernung, Nitrifikation und Denitrifikation und die dafür nötige Energie wird hier nicht näher eingegangen, sondern auf die Literatur verwiesen. Es sei hier nur soviel angemerkt, dass selbstverständlich nicht nur der CSB, sondern auch die Stickstoffoxidation u. -entfernung den Sauerstoffbedarf der Belebung beeinflusst und dies für eine genauere Bewertung des Belüftungssystems auch wichtig ist.

Für Anlagen, die dem heutigen technischen Stand der Reinigungsleistung entsprechen und bei denen das Abwasser hinsichtlich des Stickstoff/CSB-Verhältnisses einigermaßen dem Standard-Kommunalabwasser entspricht, kann man die CSB-Fracht jedoch als Leitparameter für den Energieverbrauch der Abwasserreinigung betrachten.

Die CSB-Fracht bestimmt auch im Wesentlichen die in der Belebung gebildete Schlammmenge (CSB oder oTS). Damit ist auch die Energie, die im optimalen Fall für die Stabilisierung und Behandlung dieses Schlammes notwendig ist, von der CSB-Fracht abhängig. Durch die Einschränkung „im optimalen Fall“ soll hier zum Ausdruck kommen, dass, obwohl auch der TS-Gehalt des Schlammes ganz entscheidend die Schlammmenge in m<sup>3</sup> und damit den elektro-mechanischen Energieaufwand für Pumpen, Umwälzen, Speichern und im Falle der Faulung und ATS auch die Energie für die Erwärmung beeinflusst, bei Zugrundelegung eines bestimmten (optimalen) TS-Gehaltes die CSB-Fracht als wesentliche bestimmende Größe bestehen bleibt.

Aufgrund dieser Überlegungen kann man die CSB-Zulauf Fracht mit ausreichender Genauigkeit unter den genannten Voraussetzungen als sinnvolle Bezugsgröße für die Energiebewertung der ARA heranziehen.

Diese Zulauf Fracht kann aus Gründen der Anschaulichkeit, wie in der Abwassertechnik üblich, in Einwohnergleichwerten ausgedrückt werden. In diesem Bericht wird unter 1 EW-CSB eine Schmutzfracht je Tag mit einem chemischen Sauerstoffbedarf von 110 g verstanden.

Die Ermittlung der CSB-Zulauf Fracht ist aber aus verschiedenen Gründen in der Kläranlagenpraxis fehleranfällig. Dies gilt übrigens in ähnlicher Weise, da systembedingt, auch für die anderen Frachtgrößen und Schlammparameter.

Aus der Gesamtbeurteilung aller vorliegenden, belastungsrelevanten Informationen lässt sich die tatsächliche CSB –Belastung der Anlage genauer einschätzen als durch Anwendung der aus der Eigenüberwachung der Anlage stammenden CSB-Zulaufwerte alleine.

Um diese korrigierte CSB-Belastung besser von der aus der Eigenüberwachung stammenden abzugrenzen, wird diese korrigierte CSB-Belastung (EW-CSB<sub>korrigiert</sub>) deshalb in diesem Bericht meist **EW-bio** genannt und diese Belastungsgröße als Bezugsgröße für die Energie eingeführt.

Der Bezugswert EW-bio soll die tatsächliche Zulaufbelastung der Anlage möglichst genau (unter Ausnutzung aller vorliegenden Informationen) wiedergeben. EW-bio stellt somit eigentlich einen aufgrund von Zusatzinformationen korrigierten CSB-Wert dar.

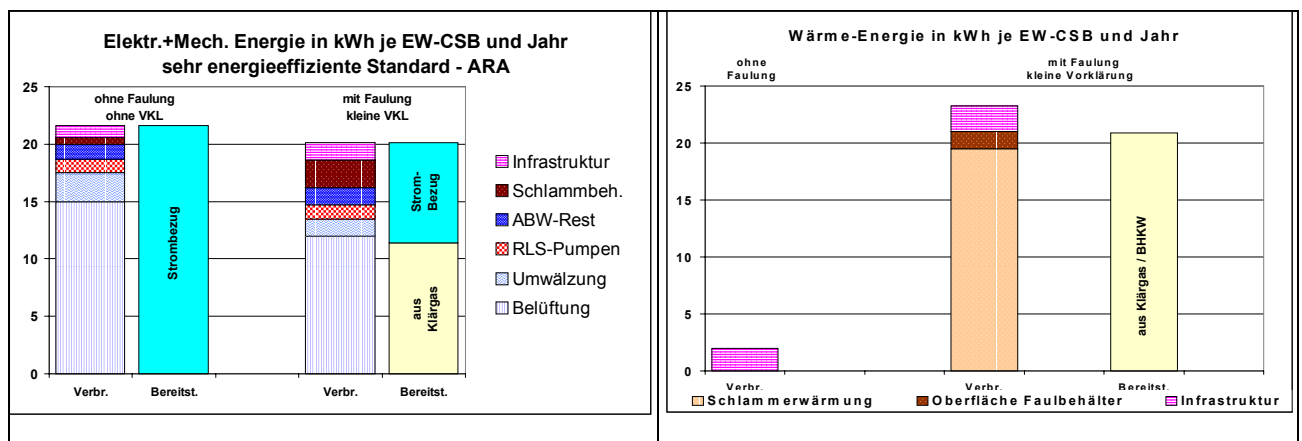
EW-bio orientiert sich vorrangig an der gemessenen CSB-Fracht und damit dem EW-CSB (1 EW-CSB entspricht einer Fracht von 110 g CSB je Tag) kann aber, wenn die anderen Daten der Anlage (angeschlossene EW, BSB<sub>5</sub>, Schlamm-oTS u. -TS ) eine Korrektur erfordern, auch davon abweichen.

## 2.4 Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen

Kläranlagen verbrauchen elektro-mechanische Energie und Wärmeenergie. Da von den Kosten her die erstere gegenüber der Wärmeenergie deutlich überwiegt, steht bei der Energiebetrachtung meist der elektro-mechanische Energieverbrauch im Vordergrund.

Zur groben Orientierung, wo in der Kläranlage, von Sonderfällen und auch den Sonderverbrauchern abgesehen, die Hauptverbraucher üblicherweise zu suchen sind, sollen die folgenden 2 Bilder dienen. Die Energiewerte sind auf die tatsächliche mittlere Jahresbelastung (1EW-CSB entspricht einer Zulaufschmutzfracht von 110 g CSB/Tag) bezogen und gelten für energieeffiziente Kläranlagen. Im linken Teil der Bilder ist jeweils die Kläranlage ohne Faulung, rechts eine Anlage mit Faulung dargestellt. Nicht zur Standardkläranlage gehörige Verbraucher, wie z.B. externe Pumpwerke und Abwasserhebwerke sind darin nicht enthalten. Es handelt sich um dieselben Beispielanlagen wie bei den Energieströmen im Abschnitt 2.2 zugrunde gelegt.

Bei der Anlage ohne Faulung (links in den beiden Bildern) liegt der Gesamtverbrauch an elektro-mechanischer Energie bei ca. 22 kWh/EW-CSB und Jahr, wobei für Belüftung des Belebungsbeckens ca. 15 kWh/EW-CSB u. Jahr verbraucht werden. An Wärmeenergie werden ca. 2 kWh/EW-CSB u. Jahr benötigt.



Bei der Anlage mit Faulung und kleiner Vorklärung liegt der Gesamtverbrauch an elektro+mechanischer Energie bei 20 kWh/EW u. Jahr, wobei für Belüftung des Belebungsbeckens ca. 12 kWh/EW-CSB u. Jahr, für die Umwälzung des Belebungsbeckens ca. 1,5 - 2 und für die Rücklaufschlamm-pumpen ca. 1,2 kWh/EW-CSB u. Jahr verbraucht werden. Die Schlammbehandlung (Eindickung, Faulung, Entwässerung) verbraucht ca. 2,5 kWh/EW-CSB an elektro-mechanischer Energie und ca. 21 kWh/EW-CSB an Wärmeenergie, wobei letztere von der Schlammaufwärmung dominiert wird und damit von der Schlammmenge abhängt.

Bei dieser Anlage mit Faulung (mit kleiner Vorklärung) fallen ca. 16-17 Liter/EW-CSB Klärgas an, welches zur Gänze in einem BHKW eingesetzt wird, sodass ca. 12 kWh/EW-CSB u. Jahr elektrischer Energie und ca. 22 kWh/EW-CSB an Wärme selbst erzeugt werden und nur ca. 8 kWh/EW-CSB u. Jahr an Strom und ca. 6 kWh/EW-CSB u. Jahr an fossilen Brennstoffen von extern bezogen werden müssen.

Bei der Energieoptimierung stehen naturgemäß zuerst die großen Verbraucher, Belüftung, Umwälzung, Rücklaufschlamm-pumpen, Sandfanggebläse und Umwälzen des Faulraumes im Vordergrund. Die anderen Verfahrensstufen haben zwar üblicherweise nur geringere Bedeutung im Energieverbrauch, müssen aber ebenfalls überprüft werden, da vielfach auch dort nennenswerte Einsparpotentiale zu finden sind.

## 2.5 Energie aus Faulgas

Bei kommunalen Kläranlagen mit Belebungsverfahren und Faulung lassen sich je EW-CSB (= 110 g CSB pro Tag) effektiver Kläranlagenbelastung ca. 12 bis 24 l Klärgas im Tag gewinnen, wobei die Menge, neben der Faulung selbst, wesentlich von der Wirkung der Vorklärung bestimmt wird. Durch die Faulung wird die Menge der organischen Trockensubstanz des in die Faulung eingebrachten Frischschlammes um ca. 50 %, die Schlamm Trockensubstanz um ca. 33 % reduziert, der Schlamm wird stabilisiert und Krankheitserreger werden weitgehend abgetötet. Ein negativer Effekt ist, dass der in der abgebauten Biomasse ursprünglich organisch gebundene Stickstoff als Ammonium  $\text{NH}_4^+$  wieder freigesetzt wird und die Kläranlage belastet.

Methan ist der Energiestoff im Klärgas (wie auch im Erdgas) und hat einen Energieinhalt (unterer Heizwert) von 10 kWh / Norm- $\text{m}^3$ . Dadurch ist der Energieinhalt des Klärgases direkt vom Methangehalt abhängig und beträgt bei 65 % Methangehalt 6,5 kWh / Norm- $\text{m}^3$ .

Bei einem Klärgasanfall von 18 Norm-Liter Klärgas je EW-CSB und Tag und einem Methangehalt von 65 % entspricht dies einer Energie von ca. 43 kWh je EW-CSB und Jahr.

Die anfallende Methanmenge ist abhängig vom Abbau an organischer Trockensubstanz (oTS) bzw. CSB im Faulraum (0,35  $\text{m}^3$  Methan je kg CSB bzw. 0,5  $\text{m}^3$  Methan je kg oTS). Mit diesen Werten kann, sofern die entsprechenden Messwerte ausreichend genau vorliegen, eine Bilanzierung von Klärgas, oTS und CSB des Faulprozesses durchgeführt werden.

Bei vielen Kläranlagen wird aber die in den Faulraum eingebrachte und abgezogene oTS-Fracht und die Klärgasmenge nicht ausreichend genau erfasst, sodass eine Bilanzierung basierend auf gemessenen Werten oft nicht zufriedenstellend möglich ist. Zusätzlich hängt der in der Faulung erreichbare Abbaugrad an oTS bzw. CSB selbst bei ausreichender Durchmischung und keine Hemmung der Faulung vorausgesetzt, nicht nur von der Faulraumtemperatur und Aufenthaltszeit des Schlammes, sondern auch von der Art und „Vorgeschichte“ des eingebrachten Schlammes ab.

Für mesophile Faulung wird eine Temperatur im Bereich von 30 – 37 °C und eine Aufenthaltszeit von mindestens 15 Tagen bei großen Anlagen mit Temperatur um 35 °C und guter Durchmischung des Faulraumes bzw. 30 Tage für kleinere Anlagen empfohlen.

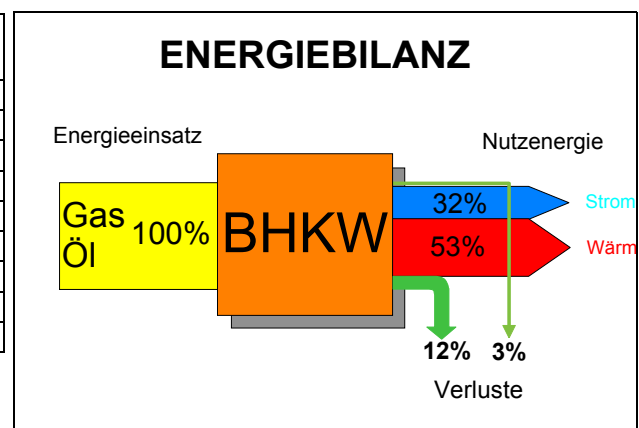
Grundsätzlich läuft die Faulung umso rascher ab, je höher die Temperatur im Faulraum ist, was sich auch in einem höheren Gasertrag auswirken kann, insbesondere, wenn das Faulraumvolumen bezogen auf den Schlammumsatz klein ist.

Fraglich ist, inwieweit bei Anlagen mit einem gering ausgelasteten Faulraum bzw. einer mittleren Aufenthaltszeit von > 40 Tagen die Gasausbeute (Norm- $\text{m}^3$  Methan) durch Temperaturerhöhung von 30 auf 37 °C tatsächlich steigerbar bzw. sinnvoll ist. Immerhin benötigt das Aufwärmen von 1  $\text{m}^3$  Schlamm um 5 °C ca. 4,3 kWh Wärmeenergie. Aus energetischer Sicht sollte man deshalb die obere Temperaturgrenze für mesophile Faulung von 37 °C nur dann anstreben, wenn die Aufenthaltszeit dies erfordert oder genügend Klärgas zur Verfügung steht. Bei Anlagen mit gering ausgelastetem Faulraum muss dafür unter Umständen mehr Energie aufgewendet werden als durch den Energiezugewinn durch den Mehrertrag an Klärgas anfällt.

Die typische Zusammensetzung des Klärgases, gewonnen aus der Faulung von kommunalem Klärschlamm zeigt folgende Tabelle.

	Bereich	Typisch	Grenzwert für Motor
Methan $\text{CH}_4$	60 - 70 %	65 %	
$\text{CO}_2$	40 - 30 %	33 %	
Wasser gasf.	ca. 2 %		< 80% rel.F.
$\text{H}_2\text{S}$	Bis 1 %	1)	< 250 $\text{mg}/\text{m}^3$
Chlor, Fluor	Spuren		< 13 $\text{mg}/\text{m}^3$
Siloxane	Spuren		< 6 $\text{mg}/\text{m}^3$
$\text{H}_2$ , CO	Spuren		
$\text{N}_2$	bis 4 %		
$\text{O}_2$	bis 1 %		

1) Wenn P-Fällung mit Fe-Salzen sehr gering  
Generell ist die Klärgasverwendbarkeit vom Motorhersteller freizugeben und das Klärgas periodisch zu analysieren.



## Energetisch hochwertige Nutzung von Klärgas

Auf einer Kläranlage kann die Energie des Klärgases sinnvoll sowohl in Wärme (hauptsächlich verwendet zum Erwärmen des Frischschlammes auf Faulraumtemperatur) als auch in mechanische Energie (zum Direktantrieb der Belüftungsgebläse) oder elektrische Energie (zum Betrieb von Elektromotoren und anderen elektrischen Einrichtungen) umgewandelt werden. Da elektrische oder mechanische Energie pro kWh viel teurer als Wärmeenergie ist, sollte möglichst alles anfallende Klärgas zur Produktion von elektro-mechanischer Energie verwendet werden.

Erdgas oder Biogas kann in einem Verbrennungskraftmotor in mechanische Energie umgeformt werden. Im Falle von Biogas bzw. Klärgas muss der Motor ohne Katalysator, speziell ausgeführt sein und häufiger gewartet werden. Bei Kläranlagen wird der Motor verwendet, um direkt ein Gebläse für die Belüftung des Belebungsbeckens anzutreiben (Gasmotor für Gebläse-Direktantrieb) oder, um über einen angetriebenen Generator elektrische Energie zu erzeugen (Blockheizkraftwerk, BHKW). Die Motoren funktionieren analog den KFZ-Motoren, sind aber entsprechend den geänderten Bedingungen modifiziert und auf lange Lebensdauer und geringe Wartung optimiert. Dass dies wichtig ist, wird klar, wenn man bedenkt, dass 1 Jahr Dauerbetrieb umgelegt in die PKW-Welt bei einer Geschwindigkeit von 115 km/h einer Strecke von 1 Mio km entsprechen würde.

Um auch die anfallende Wärmeenergie (Energie-Umwandlungsverluste) weitgehend zu nutzen, wird bei diesen Motoren nicht nur die Wärme des Kühlwassers, sondern zum Teil auch die Wärme der Abgase und die Strahlungswärme soweit möglich in den Kühlkreislauf übergeführt und von dort in das Warmwasserheizsystem der Kläranlage eingespeist. Gegenüber einem Heizkessel ist hierbei vor allem die etwas geringere Temperatur (Rücklauf max. 70 °C) zu beachten und auch, dass die Kühlung für den Betrieb des Motors zwingend notwendig ist. Das bedeutet, dass die anfallende Wärme über eine Notkühlung ungenutzt weggekühlt werden muss, wenn die anfallende Wärme den momentanen Bedarf überschreitet.

Bei einem BHKW treibt der Gasmotor einen Generator an und erzeugt elektrische Energie. Da diese Einheiten bis zu etlichen 100 kW Leistung als weitgehend standardisiert gefertigt und in einem „Block“ geliefert werden, werden sie Blockheizkraftwerke genannt.

Typischerweise werden bei einem BHKW mit ca. 100 kW el. Leistung aus 100 % zugeführter Energie ca. 32 % elektrische Energie und ca. 53 % Nutzwärme gewonnen. Bei Teillastbetrieb oder bei kleinerer Typenleistung reduzieren sich die mechanischen und elektrischen Wirkungsgrade etwas.

## Vergleich Gasmotor-Direktantrieb / BHKW

Da die Generatoren, entsprechende Planung und Fertigung vorausgesetzt, problemlos und weitgehend wartungsfrei sind, sind die Eigenschaften, vor allem Geräusche, Wartung, Lebensdauer, Wirkungsgrad, Wärmenutzung vom Gasmotor geprägt und es besteht diesbezüglich kein wesentlicher Unterschied zwischen Gasmotordirektantrieb und BHKW.

Vergleicht man Direktantrieb und BHKW auf gleicher Basis (gleiche Leistung, Jahresnutzungsdauer), so erkennt man im direkten Vergleich folgende Vorteile des Direktantriebes:

- Der Direktantrieb hat einen um ca. 10 % besseren mechanischen Wirkungsgrad. Dies ergibt sich aus dem Wegfall des Generators (ca. 5 % Verluste) und dem Wegfall des Elektromotors für den Gebläseantrieb (ca. 5 % Verluste).
- Der Direktantrieb ist in der Anschaffung billiger, da man sich den Generator und den Elektromotor für das Gebläse erspart.

Ein BHKW hat aber auch Vorteile, die meist die oben genannten Nachteile bei weitem übertreffen.

- Der Direktantrieb ist fix mit einem Gebläse für die Belüftung des Belebungsbeckens verbunden. Die Belastung ist durch das Gebläse bestimmt (beim Drehkolbengebläse bestimmt der Druck das Drehmoment, die Luftmenge erfordert die Drehzahl). Beides muss bei einem bestimmten Gebläse stimmen, damit der Motor im Nennpunkt (optimaler Wirkungsgrad) betrieben wird. Wird die Luftmenge gerade nicht zu 100 % benötigt (Schwachlastzeit), dann muss die Motordrehzahl reduziert werden, was nur in relativ engen Grenzen möglich ist und den Wirkungsgrad verschlechtert, oder das Belebungsbecken wird überbelüftet.



# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

---

- Das BHKW läuft immer mit Nenndrehzahl, ist über das elektrische System von der Belüftung entkoppelt und kann eigentlich immer, wenn genügend Gas zur Verfügung steht im optimalen Punkt betrieben werden. Damit können Belüftung und BHKW unabhängig voneinander, jedes für sich optimal, betrieben werden.
- Die vom BHKW erzeugte elektrische Energie findet praktisch jederzeit ihre Abnehmer.
- Das BHKW kann zusätzlich eingesetzt werden
  - als Notstromgenerator
  - zur Reduktion von Leistungsspitzen
  - zur Reduktion des Elektrizitätsbezuges in Hochtarifzeit
  - bei entsprechenden Vorkehrungen auch zur Verstromung von zugekauftem Gas in Perioden in denen das Faulgas nicht ausreicht.

Grundsätzlich kann man sagen, dass bei kleinen Anlagen mit Faulung ein BHKW dem Direktantrieb vorzuziehen ist. Nur, bei sehr großen Anlagen bei denen mehrere BHKW's notwendig sind, kann man auch überlegen, sofern die Belüftungsregelung dies zulässt, 1 BHKW als Gasmotordirektantrieb auszuführen, das dann die Belüftungsgrundlast abdeckt. Dabei sollte der Direktantrieb aber wirklich nur auf die minimale Luftmenge, die auch in Zukunft nie unterschritten werden wird, ausgelegt sein.

## **3 ENERGIEOPTIMIERUNG BEI KLÄRANLAGEN**

### **3.1 Grundsätzliches**

Optimierung muss immer im innigen Zusammenhang mit dem Prozess und dessen Einflussfaktoren und Randbedingungen betrieben werden. Bei der Energieoptimierung von Kläranlagen sind deshalb Abwassertechnik und Energietechnik gleichermaßen bedeutsam, was im Folgenden näher erläutert wird.

#### **Abwassertechnik**

Beim Bemühen die Energiekosten zu senken, muss auf die eigentliche Grundaufgabe der Kläranlage, nämlich die Reinigung des Abwassers, Bedacht genommen werden. Diese hat auch bei der Energieoptimierung den höchsten Stellenwert und darf durch das Sparen nicht geschmälert werden. Schon deshalb ist das Wissen um die Abwassertechnik und das Verständnis um die Prozesse wichtig für die Durchführung einer Energieoptimierung.

Die Bewertung der Energieeffizienz setzt die möglichst genaue Kenntnis der Nutzleistungsmengen der Anlage (Zulauffrachten, Ablauffrachten), des Reinigungsgrades und der relevanten internen Stoffströme (Klärgasanfall und -nutzung) voraus.

Es liegt in der Natur der Sache, dass insbesondere die Zulauffrachten oftmals nicht mit der gewünschten Genauigkeit vorliegen, bzw. deren Genauigkeit anzuzweifeln ist. Dies gilt in ähnlicher Weise für den Klärgasanfall und die Klärgasverwendung und andere interne Stoffströme.

Es ist dabei zu bedenken, dass sich ein Fehler von z.B. 10 % in der jährlichen Zulauffracht mit 10 % Fehler im entsprechenden spezifischen Energiekennwert auswirkt, auch wenn die Energie selbst sehr genau ermittelt wurde.

Um diese Unsicherheiten und Fehlermöglichkeiten zu erkennen und möglichst einzugrenzen, ist somit eine eingehende Überprüfung der abwassertechnischen Bezugsgrößen mittels Kennwerten und Bilanzierungen notwendig. Dennoch ist davon auszugehen, dass selbst unter optimalen Voraussetzungen von Seiten der Anlage und bei gewissenhafter Analyse, viele Frachten und frachtbezogenen Werte in der Praxis mit einer Unsicherheit von +/- 10 % behaftet sind.

#### **Energietechnik**

Der energietechnische Teil der Analyse dient zur Ermittlung der relevanten Mengen im Energiebezug, Energiebereitstellung und Energieverbrauch. Er umfasst auch eine Analyse der Bezugskosten und die Findung und Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen.

Um alle Kläranlagen auf eine besser vergleichbare Basis (Standardkläranlage oder ARA) zu stellen, werden Sonderverbraucher (z.B. Abwasserhebwerke, Hochwasserpumpwerke, Kanalpumpwerke) aus den Energiemengen herausgerechnet und getrennt von der ARA bewertet..

Bei der Grobanalyse erfolgt die Energieermittlung und Bewertung im Wesentlichen nur basierend auf den Daten zum Energiebezug und der Energie-Eigenerzeugung.

Bei der Detailanalyse wird zusätzlich der Energieverbrauch jedes einzelnen Verbrauchers ermittelt und bewertet. Damit ist eine wesentlich genauere Aussage zur Gesamtanlage aber auch zu den einzelnen Verfahrensstufen und Maschinen möglich.

Durch eine standardisierte Zuordnung und Darstellung lassen sich sowohl spezifische Energiekennwerte für die Gesamtanlage und für wichtige Bereiche ableiten, aber auch wertvolle direkte Vergleiche zwischen verschiedenen Kläranlagen auf Anlagen-, Verfahrensstufen- und Einzelverbraucherebene durchführen.

Durch Bezug der Energiewerte auf geeignete Bezugsgrößen erhält man Energiekennwerte, die relativ unabhängig von der Größe der Anlage sind und damit auch einen sinnvollen Vergleich mit anderen Anlagen und eine Grobbeurteilung ermöglichen.

Als Bezugsgröße wird in diesem Projekt EW-bio, ein aufgrund der Gesamtinformation eventuell gegenüber dem gemessenen EW-CSB korrigierter CSB-Frachtwert, verwendet (1 EW-bio entspricht dabei ebenso wie 1 EW-CSB einer Zulauffracht von 110 g CSB / Tag).

## 3.2 Grobanalyse

Die Grobanalyse umfasst im Wesentlichen:

### Datenerhebung:

- Anlagenbeschreibung mit den einzelnen Verfahrensstufen und eventuellen Besonderheiten.
- Erfassung der Sonderverbraucher mit den für eine Energieverbrauchsabschätzung wesentlichen Daten.
- Die baulichen Hauptdaten der Anlage (Volumina) und Information über Belüftungsart (technische Ausrüstung dazu).
- Angeschlossene Einwohner (ständig wohnend, Anteil Wochenpendler, Touristen) und andere Einleiter (Industrie, Gewerbe nach Art und Bewertung).
- Zulauf- und Ablaufdaten (Abwassermenge, Konzentrationen und Frachten BSB5, CSB, Nges, NH4-N, NO3-N, P auf Jahresbasis). Häufigkeit, Ort und Art der Probenahme. Wenn vorhanden, die Ablaufwerte aus der Vorklärung (Zulauf zur Belebung).
- Schlammengen und TS und oTS von Primärschlamm, Überschussschlamm, stabilisierter Schlamm, zu entsorgender Schlamm auf Jahresbasis.
- Energiebezug von extern nach Energieart, Energiemenge, Kosten, bei elektrischer Energie am besten eine Kopie der detaillierten Stromrechnung.
- Bei Anlagen mit Faulung: Klärgasanfall, CO2-Anteil, Klärgasverwendung (Heizkessel, Direktantrieb, BHKW, Fackel). Daten der verwendeten Gasmotoren und BHKW.
- Anlageninterne Energieverbräuche von Anlagenteilen soweit gemessen mit Art der Messung und Angabe welche Maschinen von der Messung tatsächlich erfasst werden (z.B. Mechanische Vorreinigung, Biologie, Schlammmentwässerung, u.s.w.)

Die Datenerhebung geschieht in der Erstphase mittels Fragebogen. Nach einer Vorauswertung dieser Daten ist dann eine telefonische Durchsprache der Daten oder ein Anlagenbesuch notwendig.

### Analyse und Berechnung:

- Abschätzung des Energieverbrauches der Sonderverbraucher und damit Berechnung der Energiedaten der ARA.
- Zusammenstellung der Daten über Zulauf, Ablauf, Schlämme, Klärgasanfall und Prüfung auf Plausibilität.
- Ermittlung der realistischen Belastung EW-bio, Bewertung des Stickstoffanteiles hinsichtlich Abweichung von normaler kommunaler Abwasserzusammensetzung.
- Ermittlung und Analyse des Energiebezuges.
- Bei Anlagen mit Faulung: Prüfung des Klärgasanfalles auf Plausibilität, Bewertung der Klärgasenergie und Verwendung.
- Ermittlung der Energiebereitstellung unter Berücksichtigung der in Heizkessel, Gasmotor, BHKW eingesetzten Energie und des jeweiligen geschätzten Umwandlungswirkungsgrades.
- Ermittlung folgender Kenngrößen in Absolutwerten und auf EW-bio bezogenen Werten.
  - Energiebezug (Gesamt, elektrische Energie, Treib u. Brennstoffe) hinsichtlich Menge, Preis und Verbrauchsbesonderheit soweit aus Unterlagen entnehmbar
  - Energieverbrauch der ARA: Elektro-mechanische Energie, Wärmeenergie
  - Energieverbrauch separat erfasster Anlagenteile
  - Bei Anlagen mit Faulung: Klärgasanfall, Klärgasverwendung, Eigenversorgungsgrad
- Bewertung der Kenngrößen und Abschätzung des Verbesserungspotentials der Standardkläranlage und soweit bereits erkennbar auch einzelner Verfahrensstufen.

Die Ermittlung der Energiebereitstellung erfolgt dabei nach folgendem Schema:

Ausgehend von den eingesetzten Primärenergiemengen

- Fremdbezogene Energie (zugekauft)
  - elektrische Energie
  - Brennstoffe/Treibstoffe
  - Fernwärme, etc.
- selbsterzeugte Energie
  - aus Klärgas
  - aus anderen prozesseigenen Energiequellen (z.B. Abwasserturbine)
- rückgelieferte Energie (z.B. Stromrückspeisung oder Wärmeverkauf)

werden unter Berücksichtigung der Energieinhalte (Heizwert) und Energieumformwirkungsgrade die resultierenden Energiemengen in Form von

- Wärmeenergie
- Elektrisch + mechanische Energie

errechnet.

### Ergebnisse:

- Bewertung der Energieeffizienz der Gesamt-Anlage und soweit aufgrund der verfügbaren Daten möglich auch einzelner Verfahrensteile (z.B. Biologie).
- Einsparungspotential an Energie und Energiekosten im Vergleich zu einer optimalen Anlage und Abschätzung der bei dieser Anlage voraussichtlich möglichen Verbesserung.
- Aussage, ob eine Detailanalyse sinnvoll oder nicht mit Angabe der Kosten und des voraussichtlichen Nutzens.

## 3.3 Detailanalyse

Die Detailanalyse baut auf den Daten der Grobanalyse auf, verbessert die Bewertung aber wesentlich hinsichtlich Genauigkeit und Aussagekraft und liefert als Resultat konkrete Verbesserungsmaßnahmen mit den dadurch erzielbaren Einsparungen hinsichtlich Energie und Energiekosten und einer wirtschaftlichen Bewertung der Maßnahmen.

Die gegenüber der Grobanalyse **zusätzliche Datenerhebung** umfasst schwerpunktmäßig:

- Erhebung des Anlagenschemas mit den wesentlichen verfahrenstechnischen Einrichtungen und relevanten Messstellen.
- Ausdehnung des Analysezeitraumes auf mindestens 2 Jahre.  
Damit kann sich die Analyse auf den Daten von 2 Jahren (1998 und 1999) abstützen und es wird die Datenqualität erhöht, da Fehler und Einmaleffekte eher erkannt werden können.
- Erfassung und Auswertung der Tagesdaten der Anlage, soweit von der Anlage erhältlich.  
Damit werden etwaige Rechenfehler und Interpretationsfehler gegenüber einer rein summarischen Datenmeldung eher erkannt, etwaige saisonale Einflüsse offensichtlich und die Daten wesentlich transparenter.
- Ermittlung der „Energie-Verbrauchermatrix“.  
Der Energieverbrauch der einzelnen elektrischen Verbraucher wird im Detail rekonstruiert und mit dem vom EVU verrechneten Energiebezug abgeglichen. Dies wird mindestens für 1 Jahr (1998 oder 1999) durchgeführt, wo sinnvoll und mit vertretbarem Aufwand möglich, auch für beide Jahre.  
Zur Rekonstruktion des Energieverbrauchs der elektrischen Einzelverbraucher werden die technischen Daten der Einzelverbraucher erfasst und alle Informationen des Betriebes, wie z.B. Betriebsstunden, Betriebsströme, bereichsweise Energieerfassung, sowie die Ergebnisse eigener Leistungsmessungen verwertet.

Der energietechnische Teil der Detailanalyse mit dem Schwerpunkt „Ermittlung der Energiematrix“ dient zur möglichst genauen Ermittlung der relevanten Energiemengen und deren Zuordnung auf die einzelnen Verbraucher und Verfahrensstufen.

Durch eine standardisierte Zuordnung und Darstellung lassen sich sowohl spezifische Energiekennwerte für die Gesamtanlage und für wichtige Bereiche ableiten, aber auch wertvolle direkte Vergleiche zwischen verschiedenen Kläranlagen auf Anlagen-, Verfahrensstufen- und Einzelverbraucherebene durchführen.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit der Energieverbräuche zu erreichen und um auch die Kläranlagentypen mit interner Energieerzeugung (Faulgasverwertung in Heizung, Gasmotordirektantrieb, Blockheizkraftwerk, auch in Kombination mit Gas- und Ölbezug von extern.) richtig zu bewerten, wird die Ermittlung des Energieverbrauches im Sinne einer Bilanz sowohl von Seite der Energiebereitstellung (wie bei der Grobanalyse, quasi als Top-Down-Methode) als auch über die Summierung der einzelnen Verbraucher (Bottom-Up-Methode) betrieben.

## **Erhebung der Verbraucher und Energieverbrauchsermittlung (Bottom-Up-Methode)**

Die einzelnen elektrischen Verbraucher werden erhoben und entsprechend der Verfahrensschritte strukturiert mit dem jeweiligen Energiebedarf aufgelistet. Für die Erstellung dieser sogenannten Energie-Verbrauchermatrix wird der jeweilige Energieverbrauch der einzelnen Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen geschätzt, berechnet oder, sofern vorliegend, der gemessene Energiewert berücksichtigt. Durch Aufsummieren der einzelnen Energiemengen erhält man den Verbrauch an elektrischer Energie der einzelnen Verfahrensstufen, der gesamten ARA (ohne Sonderverbraucher) und der Gesamtanlage (mit Sonderverbraucher)

Sollten bei der Anlage auch Gasmotoren zum Direktantrieb von Belüftungsgebläsen verwendet werden, so werden diese mit deren Output an mechanischer Energie ermittelt und ebenfalls in die Energiematrix aufgenommen.

Der so berechnete Gesamt-Energieverbrauch wird der Energiebereitstellung gegenübergestellt und entsprechend abgeglichen.

Damit ist eine relativ genaue Ermittlung des Energieverbrauches der einzelnen Verbraucher und Verbrauchergruppen (z.B. Belüftung Biologie, Umwälzung Biologie) und Verfahrensstufen (z.B. Vorklärung, Belebung, Nachklärung) möglich. Dies ist die Grundvoraussetzung für einen sinnvollen Energievergleich und Energie-Benchmarking und für das Aufspüren und Bewerten von Verbesserungsmöglichkeiten.

## **Maßnahmen und die daraus resultierenden Einsparung an Energie und Energiekosten**

Aus den identifizierten Einzelverbraucher mit ihrem Energieverbrauch aus der oben genannten Energieverbraucher-Matrix werden durch Vergleich mit aus der Theorie berechneten Energiewerten und vor allem aber durch den Vergleich mit anderen im Detail analysierten Anlagen das Einsparungspotential und die dafür notwendigen Maßnahmen ermittelt.

Dabei werden die Maßnahmen sowohl dem einzelnen Verbraucher und der Verfahrensstufe zugeordnet. Im Sinne einer Prioritätenzuordnung zur Realisierung der Maßnahmen werden diese auch in die Kategorien

- S Sofort zu realisierende Maßnahme
- K Kurzfristig zu realisierende Maßnahme
- A Abhängige Maßnahme

eingeteilt.

## **Wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen**

Die Verbesserungsmaßnahmen werden dann hinsichtlich eingesparter Energiekosten, und den geschätzten Kosten für die Umsetzung der Maßnahme (Investitionskosten) bewertet. Dabei kann bei den Investitionskosten auch berücksichtigt werden, dass nur ein Teil dieser der eigentlichen Energieverbesserung zuzuordnen ist, weil die Maßnahme auch aus anderen Gründen, z.B. Ersatz aus Altersgründen oder Anpassung an den Stand der Technik notwendig gewesen wäre. Ebenso kann eine Änderung in den Unterhaltskosten (Instandhaltung, Bedienung, etc.) in der wirtschaftlichen Bewertung berücksichtigt werden.

Diese Daten werden für jede einzelne Maßnahme und für die gesamte Anlage unter Berücksichtigung einer angenommenen Preissteigerungsrate für Energie, Investitionszinssatz und wirtschaftlichen Nutzungsdauer in Jahreskosten und Jahresnutzen umgerechnet und gegenübergestellt.

Ausgangsbasis für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit war meist das Jahr 1999. Dies bezieht sich insbesondere auf Energiebezug, Energieverbrauch, Energiekosten und Zulaufbelastung der Anlage.

Der jährliche Nutzen wird aus den Energiekosteneinsparungen und sonstigen betrieblichen Einsparungen ermittelt.

Die jährlichen Kosten setzen sich aus den Kapitalkosten (Zinssatz 7 %, Nutzungsdauer 15 Jahre), den zusätzlich notwendigen Energieinvestitionen und den zusätzlichen Unterhaltskosten (diverse Reparaturarbeiten) zusammen.

Sind die gesamten Kosten geringer als die Einsparungen, resultiert daraus Kosten/Nutzen-Faktor (K/N) von kleiner als 1 und ein betriebswirtschaftlicher Gewinn (Differenz zwischen Jahresnutzen und Jahreskosten entspricht dem Jahresgewinn). Die Umsetzung der Maßnahme ist in diesem Fall wirtschaftlich sinnvoll.

### **Energiepreis:**

Zur Ermittlung der Energiekosteneinsparung wurde die Kostenreduktion aufgrund einer Energieeinsparung getrennt von der Kostenreduktion von einer bewusst durchgeführten Energiespitzenreduktion ermittelt.

Das bedeutet, dass richtigerweise bei einer Energieeinsparung (kWh) nur die Kosten für den reinen Wirkleistungsbezug (inklusive Energieabgabe), jedoch ohne Kosten für Verrechnungsleistung, Zählergebühr, etc. berücksichtigt wurden (differentieller Energiepreis in Abhängigkeit von der Energiemenge).

Als Preissteigerung bei den Energiekosten wurde gemäß ÖNORM M7140, Beiblatt 5 eine jährliche Preissteigerung bei el. Energie, Erdgas, Heizöl, Fernwärme und Flüssiggas von 3 % angesetzt. Eine größere jährliche Preissteigerung würde sich positiv auf den Jahresnutzen auswirken.

### **Sensitivitätsanalyse:**

Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wurde in den Einzelberichten auch eine Variante mit reduzierten Preisen für die elektrische Energie durchgerechnet, um den Einfluss einer Energiepreissenkung (zufolge z.B. der Liberalisierung) darzustellen.

## **4 GROBANALYSE AN 172 ANLAGEN**

### **4.1 Zusammenfassung der Projektziele und Ergebnisse**

Die Ziele dieses Teilprojektes waren im Wesentlichen, einen Überblick über die Energiesituation der Kläranlagen Österreichs der Ausbaugröße größer 3.000 EW zu erhalten und die Auswahl an Anlagen für die Detailuntersuchung zu treffen.

Es wurden die Daten von 178 Kläranlagen erfasst, wovon aber 6 Stk nicht in die Untersuchung aufgenommen wurden, da wesentliche Angaben dafür (z.B. Energiebezug) nicht eruierbar waren.

172 Kläranlagen, davon 105 Anlagen ohne Faulung und 67 Anlagen mit Faulung im Größenbereich ca. 3.000 bis ca. 800.000 EW-Ausbau wurden im Rahmen der Grobanalyse auf Basis der Jahresdaten von 1998 untersucht.

Diese Anlagen repräsentieren ca. 6.500.000 EW-Ausbau (1.300.000 EW-Ausbau ohne Faulung, 5.200.000 EW-Ausbau mit Faulung) und eine Zulaufbelastung von ca. 4.000.000 EW-CSB (730.000 EW-CSB ohne Faulung, 3.300.000 EW-CSB mit Faulung).

An elektrischer Energie werden ca. 88.000.000 kWh bezogen (32.000.000 kWh für Anlagen ohne Faulung, 56.000.000 kWh für Anlagen mit Faulung).

Die Unterschiede in der Energieeffizienz der einzelnen Anlagen sind erheblich und lassen bei vielen Anlagen ein großes Energiekosteneinsparungspotential, zum Teil von bis zu 50 % und mehr und damit den dringenden Bedarf nach Optimierung erkennen.

Der Mittelwert der 24 energetisch besten Anlagen liegt beim Energiebezug um ca. 1/3 unter dem Mittelwert aller untersuchten 172 Anlagen. Vermutlich ist aber selbst bei den 24 energetisch besten Anlagen noch eine Verbesserung möglich.

Daraus ist ableitbar, dass das theoretische Energieeinsparungspotential im Durchschnitt über die untersuchten Anlagen vermutlich größer als 1/3 des derzeitigen Energiebezuges ist. Der Reinigungsgrad der Anlagen mit niedrigem Energieverbrauch ist im Mittel gleich gut wie bei den anderen Anlagen.

Im den folgenden Abschnitten wird das Projekt „Grobanalyse von 172 Kläranlagen“ überblicksweise dargestellt.

### **4.2 Auswahl der Anlagen und Vorgangsweise**

#### **4.2.1 Vorarbeiten**

In Abstimmung mit dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien wurden österreichweit 457 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von größer ca. 3.000 EW zur Energiedatenerhebung eingeladen.

Es wurde dabei keine regionale Auswahl oder Bevorzugung getroffen und nahezu alle von den Kläranlagen-Nachbarschaften bekannten Kläranlagen Österreichs angeschrieben. Lediglich einige Anlagen, die aufgrund ihrer Größe (z.B. Wien) oder anderer Besonderheiten (Technologie oder zu kurze Betriebserfahrung) für das Projekt nicht geeignet erschienen, wurden nicht berücksichtigt.

Es wurde großes Augenmerk darauf gelegt, die für die Energiebewertung notwendigen technischen Daten der Anlage sowie die Energiedaten, Abwasserfrachten und die Reinigungsleistung, möglichst genau für zu erfassen. Die Grobbewertung wurde anhand der Jahresdaten von 1998 durchgeführt.

## 4.3 Statistische Auswertung der Teilnahme

Insgesamt sind von den 457 zur Teilnahme eingeladenen Kläranlagen (100 %) 178 ausgefüllte Fragebögen (39 %) eingetroffen und davon 172 Stk für das Projekt brauchbar. Im Erhebungsbogen wurden neben den Fragen zu den technischen Daten der Anlage auch folgende Fragen an den Anlagenbetreiber hinsichtlich Interesse und zur Investitionsbereitschaft gestellt:

- Sind Sie an einer Abschätzung des Energieeinsparpotentials interessiert und bereit an einer Energieanalyse Ihrer Anlage mitzuwirken?
- Im Falle, dass sich ein nennenswertes Energieeinsparpotential zeigt, wären Sie grundsätzlich bereit, die zur Umsetzung notwendigen Maßnahmen durchzuführen,
  - wenn sie sich innerhalb von 3 Jahren amortisieren?
  - wenn sie sich innerhalb von 5 Jahren amortisieren?
  - wenn sie sich innerhalb von 10 Jahren amortisieren?

### Nach Bundesländern

Bundesland	B	NÖ	OÖ	ST	K	S	T	V	Summe bzw. Mittelw.
<b>Einladung</b>	<b>39</b>	<b>139</b>	<b>88</b>	<b>91</b>	<b>11</b>	<b>33</b>	<b>44</b>	<b>12</b>	<b>457</b>
<b>Fragebogen zurück</b> In % der Einladung	11 28 %	44 32 %	37 46 %	44 48 %	6 55 %	15 45 %	15 34 %	6 50 %	178 39 %
<b>Interesse am Projekt</b> In % der Rücksend.	8 72%	22 50%	21 57%	23 52%	4 67%	9 60%	9 60%	4 67%	100 56%
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 3 Jahre In % der Rücksend.	3 27%	16 36%	11 30%	10 23%	2 33%	3 20%	4 27%	2 33%	51 29%
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 5 Jahre In % der Rücksend.	4 36%	8 18%	7 19%	13 30%	2 33%	4 27%	4 27%	3 50%	45 25%
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 10 Jahre In % der Rücksend.	1 9%	2 5%	1 3%	1 2%	- -	- -	1 7%	1 17%	7 4%

In Wien wurde wegen der besonderen Größe der Zentralkläranlage Wien keine Anlage in das Projekt aufgenommen.

### Anlagen ohne Faulung

Größen-Gruppe		OF I	OF II	OF III	OF IV	
<b>Ausbaugröße in EW-nom (EW-Ausbau)</b>		ca. 3.000 - 5.000	5.001 - 10.000	10.001 - 50.000	>50.001	alle Größen
<b>Einladung</b>	Stk	112	121	91	4	328
<b>Fragebogen zurück</b> In % der Einladung	Stk	38 34 %	34 28 %	34 37 %	2 50 %	108 33 %
<b>Interesse am Projekt</b> in % der Rücksendung	Stk %	16 42 %	16 47 %	23 68 %	2 100 %	57 53 %
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 3 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	7 18 %	7 21 %	11 32 %	2 100 %	27 25 %
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 5 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	5 31 %	5 31 %	12 35 %	- -	22 20 %
<b>Invest.-Bereitschaft</b> Wenn Zeit < 10 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	2 6 %	- -	2 6 %	- -	4 4 %



# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

## Anlagen mit Faulung

Größen-Gruppe		MF I	MF II	MF III	MF IV	
Ausbaugröße in EW-nom (EW-Ausbau)		ca. 3.000 - - 5.000	5.001 - - 10.000	10.001- - 50.000	>50.001	alle Größen
Einladung	Stk	-	5	79	39	123
Fragebogen zurück In % der Einladung	Stk	-	-	45 57 %	24 62 %	69 56 %
Interesse am Projekt in % der Rücksendung	Stk %	- -	- -	28 57 %	12 50 %	40 58 %
Invest.-Bereitschaft wenn Zeit < 3 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	- -	- -	15 33 %	9 38 %	24 35 %
Invest.-Bereitschaft wenn Zeit < 5 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	- -	- -	15 33 %	8 33 %	23 33 %
Invest.-Bereitschaft wenn Zeit < 10 Jahre in % der Rücksendung	Stk %	- -	- -	2 4 %	1 4 %	3 4 %

## 4.4 Prüfung der Daten auf Plausibilität

Es wurde großes Augenmerk darauf gelegt, vor allem die für die Energiebewertung wichtigen Daten auf Plausibilität zu prüfen und soweit mit vertretbarem Aufwand möglich, durch Rückfragen, in einigen Fällen auch durch Anlagenbesuche, zu verbessern.

### 4.4.1 Zulaufrecht

Wie in Abschnitt 2.2 dargelegt, ist die möglichst genaue Kenntnis der Zulaufrecht und die daraus ermittelte Größe EW-bio als Bezugswert für die Energiebewertung sehr wichtig.

Die Zulaufrecht wird bekanntermaßen bei Kläranlagen nicht direkt, sondern rechnerisch aufgrund der gemessenen Größen, Konzentration der Inhaltsstoffe und Abwassermenge, ermittelt.

Damit haben sowohl die Mengenmessung als auch die Konzentration einen Einfluss auf die Genauigkeit (Qualität) der Frachtdaten.

Eine genaue Frachtbestimmung setzt sowohl eine genaue Mengenmessung, fehlerfreie Probenahme und fehlerfreie Probenauswertung voraus.

Bei den meisten Kläranlagen wird die Konzentration nicht täglich aus einer ideal gewichteten Tagesmischprobe (zuflussproportionale Probenahme), sondern nur an einigen Tagen in der Woche oder im Monat bestimmt.

Bei vielen Fracht- und Konzentrationsangaben sind aufgrund der Daten folgende Fehler offensichtlich:

Rechnerische Fehler (in EDV-Auswertung oder händischer Rechnung):

- Es wird die Summe der Frachten der Messtage als Jahresfracht angegeben und dabei nicht berücksichtigt, dass nicht an jedem Tag des Jahres gemessen wurde
- Im Vergleich mit den sonstigen Ungenauigkeiten fast vernachlässigbar, aber sehr verbreitet ist, dass die mittlere Jahreskonzentration einfach als arithmetisches Mittel der Messtageskonzentrationen errechnet wird und nicht als Summe der Messtagesfrachten dividiert durch die Summe der Messtages-Abwassermenge.

Folgende Fehler sind nicht aus den gemeldeten Zahlen selbst direkt erkennbar, treten aber sicherlich auf und sind wesentliche Fehlerquellen.

- Probenehmer entnimmt die Probe von der Sohle des Gerinnes mit niedriger Fließgeschwindigkeit (und damit immer eine zu hohe Konzentration der Schmutzfracht) was dann multipliziert mit der Wassermenge zu zu großen Zulauffrachten führt.
- Probenehmer misst nur an Tagen mit geringem Abwasserzufluss (Trockenwettertage), die daraus ermittelte Konzentration wird aber mit der Ganzjahreswassermenge (Trocken- und Regenwetterwassermenge) multipliziert und ergibt eine zu große Fracht.
- Die Frachtermittlung basiert nur auf einigen Tagen in der Woche, was bei einem ausgeprägten Wochengang der Zulaufkonzentration zu großen Fehlern führen kann.
- Die Frachtermittlung basiert nicht auf Tagesmischproben (die immerhin den Tagesgang der Konzentrationen egalisieren), sondern auf Stichproben (besonders wenn diese immer zur Tageszeit mit der höchsten Zulaufkonzentration entnommen werden).

Es wurde deshalb, zusätzlich zu den bereits im Erhebungsbogen erhaltenen Daten, durch eine zusätzliche Abfrage mittels Fax auch noch versucht, Angaben über die Art und Weise der Probenahme und Anzahl der Auswertungen der Zulaufprobe und den Vergleich mit den Daten der Fremdüberwachung zu erhalten.

Für die Beurteilung der Qualität der angegebenen Daten für die Zulauffracht wurden folgende Kriterien herangezogen:

- 1) CSB- Fracht, sofern angegeben und nicht zu stark abweichend von dem aus der Konzentration ermittelten Wert. Wenn obiger Wert nicht vorliegt oder nicht zutrifft, dann wurde die CSB- Fracht aus dem Wert der mittleren Konzentration x Abwassermenge errechnet.
- 2) BSB<sub>5</sub>- Fracht wie oben
- 3) Angaben über die Zahl der ständig wohnhaften angeschlossenen Einwohner und der Belastungsangaben von Fremdenverkehr, Landwirtschaft und Industrie.
- 4) Angaben zur Menge, TS und oTS von Frischschlamm, stabilisierten Schlamm, entwässerten Schlamm und zu entsorgenden Schlamm.

Aufgrund der Beurteilung nach obigen Kriterien wurde, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien, eine Bewertung für die Datenqualität der Zulauffracht entsprechend den Zahlen von 0,1,2,3,4,5 gegeben.

Datenqualität ... Bedeutung

- 0..... Daten sind sehr unsicher.
- 1..... Daten sind unsicher aber für statistische Zwecke verwendbar
- 2..... Daten sind plausibel und der Wert für EW-bio stimmt vermutlich auf +/- 30 % genau.
- 3..... Belastungsdaten sind relativ gut abgesichert und haben mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Fehlerbereich von kleiner ca. +/- 20 %
- 4..... Belastungsdaten, EW-Angaben, Schlammdaten, etc. sind konsistent die Datenqualität ist sehr gut.
- 5..... Die abwassertechnischen Daten der Anlage sind so gut abgesichert, dass an der durch EW-bio angegebenen mittleren Belastung der Anlage kein Zweifel besteht (Fehlerbereich kleiner als +/- 10 %).

## 4.4.2 Energiebezug

### 4.4.2.1 Elektrische Energie für Kraft und Licht

Die elektrische Energie wird auf Kläranlagen hauptsächlich für elektrische Antriebe, im geringeren Maß für Steuer- u. Regeleinrichtungen, Beleuchtung, Warten- u. Büroausstattung und Heizung u. Warmwasserbereitung eingesetzt.

Die von extern bezogene Menge an elektrischer Energie wird durch den Verrechnungszähler des Elektroversorgungsunternehmens (EVU) sehr genau und verlässlich gemessen.

Leider ist dies aber oft der einzige Elektroenergie-Zähler der Anlage, so dass die Energieverwendung in den einzelnen Anlagenbereichen oft im Unklaren bleibt.

So waren nur 41 % der Anlagen (38 Anlagen ohne Faulung und 33 Anlagen mit Faulung) in der Lage neben dem Energiebezug auch den Energieverbrauch der wichtigsten Verbrauchsgruppe, nämlich der Belebungs-, anzugeben.

Da der Strom keine körperliche Ware ist, deren Eingang oder Übernahme vom Verwender bestätigt wird, wird oftmals die Stromrechnung auch nicht an die Kläranlage, sondern an die für die Kläranlage zuständige Gemeinde gesandt, ohne dass der Betriebsleiter unmittelbar in den Informationsfluss über Mengen und Kosten an zugekaufter Energie eingebunden ist. Dies hat dazu geführt, dass von etlichen Anlagen im ersten Durchlauf zwar die Abwasserdaten aber keine Energiedaten geliefert wurden. In einigen Fällen hat sich erst durch genaues Hinterfragen, durch die nachträglich übersandte Stromrechnung, oder gar erst durch einen Besuch vor Ort herausgestellt, dass der angegebene Energiebezug falsch war.

Die detaillierte Stromrechnung mit ihren Angaben zur Wirkarbeit, üblicherweise gegliedert in Tag-, Nacht-, Winter-, Sommer-Bezug, Blindarbeit, Verrechnungsleistung, Energieabgabe, Messpreis, Vorschreibungen, Gutschriften, USt. usw. ist für den Stromkunden oft schwierig zu interpretieren. Aus diesem Grund, wurde zum Teil durch mehrmaliges Nachfragen stark darauf gedrängt, eine Kopie der Stromrechnung zu erhalten, um diesen für die Energiebewertung wichtigsten Wert möglichst gut bei möglichst vielen Anlagen abzusichern.

Durch die zugesandten Stromrechnungen war es möglich, bei 117 Anlagen (68 % von den für diese Projekt brauchbaren 172 Anlagen) die Daten zum Strombezug mit hoher Datensicherheit und Genauigkeit hinsichtlich Energiebezug, Energiekosten und zeitlicher Verteilung zu ermitteln.

#### **4.4.2.2 Elektrische Energie für Heizung**

Kläranlagen ohne Faulung benötigen für den Prozess „Kläranlage“ selbst keine Wärmeenergie, soweit sie, keine wärmeintensiven Verfahren zur Schlammbehandlung verwenden (z.B. Schlamm Trocknung). Üblicherweise wird bei Anlagen ohne Faulung Wärmeenergie nur in relativ geringem Umfang für das Heizen des Betriebsgebäudes während der kalten Jahreszeit und zur Warmwasserbereitung benötigt. Manchmal wird das Rechengebäude im Winter etwas geheizt, um ein Einfrieren des Rechens und Rechengutes zu verhindern und in einigen wenigen Fällen werden die Räumerbahnen (eventuell von Sandfang und Nachklärbecken) im Freien zur Eis-Schnee-Freihaltung an wenigen Tagen im Jahr beheizt.

Sofern das Betriebsgebäude elektrisch geheizt wird, wird vom EVU üblicherweise ein spezieller Tarif (z.B. „Raumheizung u. Warmwasserbereitung“ oder „Abschaltbare Leistung“) angeboten und der Verbrauch dafür mit einem eigenen Zähler erfasst.

In diesem Fall kann man davon ausgehen, dass die elektrische Energie für die Heizung, die im Fragebogen getrennt von der elektrischen Energie für „Kraft und Licht“ abgefragt wurde, im Erhebungsbogen auch tatsächlich gemeldet wurde.

In den Fällen, in denen kein Stromverbrauch für Heizzwecke gemeldet wurde und auch keine Brennstoffe zugekauft wurden und das Heizen nicht durch Klärgas erfolgte, ist anzunehmen, dass die Raumheizung meist elektrisch erfolgt und im Bezug der elektrischen Energie enthalten ist.

Bei Anlagen ohne Faulung und nur bei diesen kommt eine elektrische Raumheizung, sofern energiesparend ausgeführt, überhaupt einigermaßen sinnvoll in Betracht, macht die Heizenergie üblicherweise nicht mehr als 5 % der elektrischen Energie für Kraft und Licht aus. Es wurde deshalb darauf verzichtet bei den Anlagen, bei denen keine Energie für die Raumheizung angegeben wurde, die elektrische Energie eigenmächtig in den Anteil „Kraft und Licht“ und elektrische Energie für Raumheizung aufzutrennen.

#### **4.4.2.3 Brennstoffe und Treibstoffe**

Fossile Brennstoffe (Erdöl, Ergas, Flüssiggas etc.) finden in der Kläranlage als Brennstoff im Heizkessel (für Heizzwecke) und eventuell als Treibstoff für den Gasmotor im Blockheizkraftwerk (BHKW) oder im Gasmotor für den Antrieb von Gebläsen (Direktantrieb) Verwendung.

Bei den beiden Letztgenannten kann neben der hochwertigen Energie – elektrische Energie im Falle des BHKW's und mechanische Energie im Falle des Gasmotors – auch noch ein Großteil der anfallenden Wärme genutzt werden.

Bei den Brenn- u. Treibstoffen wurde auf die Zusendung der Rechnungskopien kein besonderer

Nachdruck gelegt, da sie viel einfacher strukturiert sind als die Stromrechnungen und deshalb vom Kunden selbst sicher interpretiert werden können.

Eine gewisse Schwierigkeit bei den Brenn- und Treibstoffen besteht darin, dass sie, mit Ausnahme von Erdgas, nicht verbrauchs-synchron zufließen, sondern auf Lager zugekauft werden. Deshalb wurden im Fragebogen Zukaufmenge, Zukaufpreis und verbrauchte Menge getrennt abgefragt und daraus der Energiebezug und die Energiekosten verbrauchs-konform ermittelt.

#### 4.4.2.4 Klärgas

##### Klärgasanfall

Ist nur bei Anlagen mit Faulung von Bedeutung.

- 1) Die Klärgasmessung wurde im Rahmen dieser Grobanalyse aus folgenden Gründen bewusst nicht für die Beurteilung der Datenqualität der Zulaufkraft verwendet.
- 2) Die Mengemessung des Klärgasanfalls ist oft sehr ungenau und ihr wird vom Anlagenpersonal offensichtlich oft auch keine besondere Beachtung geschenkt. Die produzierte Klärgasmenge (genauer Methanmenge) steht in einem festen Zusammenhang mit der im Faulraum abgebauten oTS. Eine Überprüfung damit scheitert aber daran, dass die oTS-Eintragsmenge und oTS-Austragsmenge meist nicht ausreichend genau zur Verfügung stehen.
- 3) Eine Überprüfung der Klärgasanfallmenge ist verbraucherseitig oft nicht möglich, vor allem wenn das Klärgas nicht zur Stromerzeugung mittels eines BHKW's genutzt oder die Eigenerzeugung nicht gemessen wird.
- 4) Damit ist die gemeldete Klärgasmenge unter Umständen unsicherer als die aus den Messungen im Zulauf ermittelte Fracht und sollte ohne eingehende Überprüfung aller Einflussfaktoren vor Ort nicht zur Beurteilung der Fracht herangezogen werden.

##### Einfluss der Klärgasanfallmenge auf die Energiebewertung

Dabei sind 2 Fälle zu unterscheiden.

###### a) Die gemessene Klärgasmenge stimmt mit dem tatsächlichen Klärgasanfall überein

In diesem Fall lässt sich, wenn die Genauigkeit auch für die Verwendung des Klärgases in den Verbrauchern (z.B. Heizkessel, BHKW, Direktantrieb) gegeben ist, über deren Wirkungsgrade auf die aus dem Klärgas produzierte Nutzenergie schließen.

Bei BHKW und Direktantrieb steht dabei die Gewinnung von elektrischer Energie bzw. mechanischer Energie im Vordergrund, meist wird aber auch die anfallende Wärme zur Heizung (Faulraum, Gebäude, Warmwasser) genutzt.

Wenn zeitweise, mangels eines entsprechenden Energiebedarfs (zum Beispiel im Sommer), diese Wärme nicht vollständig genutzt werden kann und keine entsprechende Speichermöglichkeit zur Verfügung steht, muss die überschüssige Wärme über die sogenannte Notkühlung ungenutzt abgeführt werden.

In diesem Bericht wird unter Wärmeverbrauch oder Nutzenergie Wärme immer die aus den Energiebezügen und aus dem Klärgas insgesamt über Heizkessel, BHKW bzw. Direktantrieb produzierte Wärmeenergie verstanden.

Da im Rahmen dieser Energie-Grobanalyse die einzelnen Verbräuche nicht erfasst und bewertet wurden und auch über die durch die Notkühlung ungenutzt abgeführten Wärmemengen keine Messwerte vorliegen, kann nichts darüber ausgesagt werden, wieviel der produzierten Wärmeenergie tatsächlich sinnvoll genutzt und wieviel ungenutzt abgeführt wird.

In diesem Fall, bei richtig vorliegenden Werten über den Klärgasanfall, kann aufgrund der anfallenden Klärgasmenge (genauer Methanmenge) und der in den Faulraum eingetragenen Menge an oTS auf die Qualität des Faulungsprozesses und diesbezüglicher Störungen (zu geringe Gasausbeute bezogen auf den oTS-Eintrag) geschlossen werden.

Aus dieser Erkenntnis lässt sich eventuell eine Verbesserung des Faulungsprozesses erreichen und damit mehr Klärgas erzielen. Bei entsprechender Verwertung kann dann mehr Energie aus Klärgas erzeugt und damit der Energiebezug von extern vermindert werden.

## **b) Die gemessene Klärgasmenge stimmt mit dem Anfall nicht überein**

In diesem Fall schlägt sich der Fehler in gleichem Ausmaß auch auf die aus der Klärgasmenge errechnete Energie nieder.

Es hängt dann im weiteren von der Klärgasverwendung ab, ob und in welchen Energiearten sich der Fehler in welchem Ausmaß auswirkt.

### **Klärgasverwendung**

Hier gelten analog die obigen Aussagen.

Soweit die aus den Klärgasmengen erzeugten Nutzenergiemengen angegeben wurden, wurde eine Prüfung auf Plausibilität durchgeführt. Leider war dies aber nur in wenigen Fällen, nämlich bei den BHKW's und auch hier nur, wenn die erzeugte elektrische Energie über Zähler gemessen wurde, möglich.

Wie bereits oben unter b) erwähnt wurde, wirken sich Fehler in der Klärgasmenge natürlich nur über die jeweilige Nutzung auf die Energiemenge aus.

In den Fällen in denen das Klärgas vollständig über die Fackel vernichtet wird und damit keine Nutzverwendung vorliegt, hat eine fehlerhafte Klärgasmessung natürlich keine Auswirkung auf die Menge der Nutzenergie.

In den Fällen wo das Klärgas nur im Heizkessel verwendet (und eventuell ein Teil über die Fackel vernichtet wird), wirkt sich ein Fehler in der Klärgasmenge nur in der Wärmeenergie aus.

Wenn das Klärgas aber auch in BHKW oder Direktantrieb verwendet wird, wirkt sich der Fehler entsprechend in der elektro+mechanischen Nutzenergie und in der Wärmeenergie aus.

Ein Klärgasanfall kleiner als 12 l / EW-bio u. Tag oder über 24 l / EW-bio u. Tag ist jedenfalls ein Alarmzeichen, das darauf hindeutet, dass die Erfassung fehlerhaft ist, wenn nicht andere stichhaltige Gründe für diese unrealistischen Werte vorliegen.

Aber auch selbst wenn der Klärgasanfall im Normbereich liegt, sollte man nur dann auf seine Richtigkeit vertrauen, wenn er sich durch Bilanzierung durch andere Gasmessungen, den oTS-Abbau in der Faulung oder über die erzeugte elektrische Energie im Falle eines BHKW's verifizieren lässt.

## 4.5 Bezugsgröße EW-bio

Als Bezugswert für den Energiebedarf wurde, wie im Abschnitt 2.3 erläutert, EW-bio verwendet. Die Werte für EW-bio wurden für jede einzelne Anlage in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien festgelegt.

## 4.6 Größen-Gruppen und Qualitätskategorien

Zur detaillierteren Auswertung wurden die Anlagen ohne und mit Faulung in Größen-Gruppen bezüglich der Ausbaugröße und Qualitätskategorien hinsichtlich der Anlagenbelastung eingeteilt.

Wie in Abschnitt 4.4.1 dargelegt, wurde aus dem Konsistenzgrad der verschiedenen frachtrelevanten Daten der Anlage abgeschätzt, wie sicher der Wert für EW-bio die tatsächliche Belastung der Anlage wiedergibt und dementsprechend die Datenqualität bewertet.

Zusätzlich zu den Qualitätsstufen 1 - 5 wurde auch eine Datenqualität 3+ vergeben. Diese beinhaltet alle Anlagen der abwassertechnischen Datenqualität 3 - 5, bei denen zusätzlich auch die Energie-werte (unter anderem größtenteils durch Kopie der Stromrechnungen) sehr gut abgesichert sind.

Die statistische Auswertung der Anlagen hinsichtlich der Datenqualität ergibt folgendes Ergebnis.

### Anlagen ohne Faulung

Größen-Gruppe	OF I	OF II	OF III	OF IV	OF V	
Ausbaugröße in EW-nom (EW-Ausbau)	ca.3.000- - 5.000	5.001 - - 10.000	10.001 - - 50.000	50.001 - -100.000	>100.000	alle Größen
Gemeldete Anlagen	38	35	34	2	-	109
Brauchbare Anlagen	37	33	33	2	-	105
Qualität 1-5	32	28	31	2	-	93
Qualität 2-5	24	18	30	2	-	74
Qualität 3-5	10	14	23	2	-	49
Qualität 3+	9	11	18	2	-	40
Qualität 4-5	1	4	6	2	-	13
Qualität 5	-	-	-	-	-	-
Beste 12	2	3	7	-	-	12

### Anlagen mit Faulung

Größen-Gruppe	MF I	MF II	MF III	MF IV	MF V	
<b>4.7 Ausbaugröße in EW-nom (EW-Ausbau)</b>	ca.3.000- - 5.000	5.001 - - 10.000	10.001 - - 50.000	50.001 - -100.000	>100.000	alle Größen
Gemeldete Anlagen	-	-	45	13	11	69
Brauchbare Anlagen	-	-	43	13	11	67
Qualität 1-5	-	-	41	12	11	64
Qualität 2-5	-	-	34	12	11	57
Qualität 3-5	-	-	25	8	7	40
Qualität 3+	-	-	8	4	1	13
Qualität 4-5	-	-	8	4	1	13
Qualität 5	-	-	-	-	-	-
Beste 12	-	-	5	4	3	12

Wie obigen Tabellen zu entnehmen ist, sind von den 178 gemeldeten Anlagen (109 OF, 69 MF) für die Energiestudie 172 Anlagen (105 OF, 67 MF) brauchbar.

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

---

6 Anlagen mussten von vornherein ausgeschieden werden, da keine Zulaufdaten und / oder keine Energiewerte verfügbar waren.

Datenqualität 3 - 5 erfüllen 89 Anlagen (52 % der „brauchbaren“).

Die Bewertung Datenqualität 5 wurde nicht vergeben.

In der Kategorie „Beste“ sind 12 Anlagen ohne Faulung und 12 Anlagen mit Faulung aufgenommen worden. Es sind dies Anlagen; die sowohl energiemäßig im guten Bereich liegen und zusätzlich in die Datenqualität 3-5 (mindestens Qualität 3) eingereiht wurden.

Außerdem wurde darauf geachtet, dass diese Anlagen auch wenigstens teilweise nitrifizieren. Dadurch sollte möglichst verhindert werden, dass Anlagen aufgrund einer zu hoch eingeschätzten Belastung, oder Anlagen ohne Nitrifikation, die naturgemäß einen niedrigeren Energiebedarf haben, fälschlicherweise zu gute Energiekennwerte vorgeben.

## 5 ALLE ANLAGEN DER GROBANALYSE IM ÜBERBLICK

In diesem Kapitel sind alle Anlagen der Grobanalyse, im nächsten Kapitel 6 sind nur die 78 Anlagen mit guter Datenqualität dargestellt.

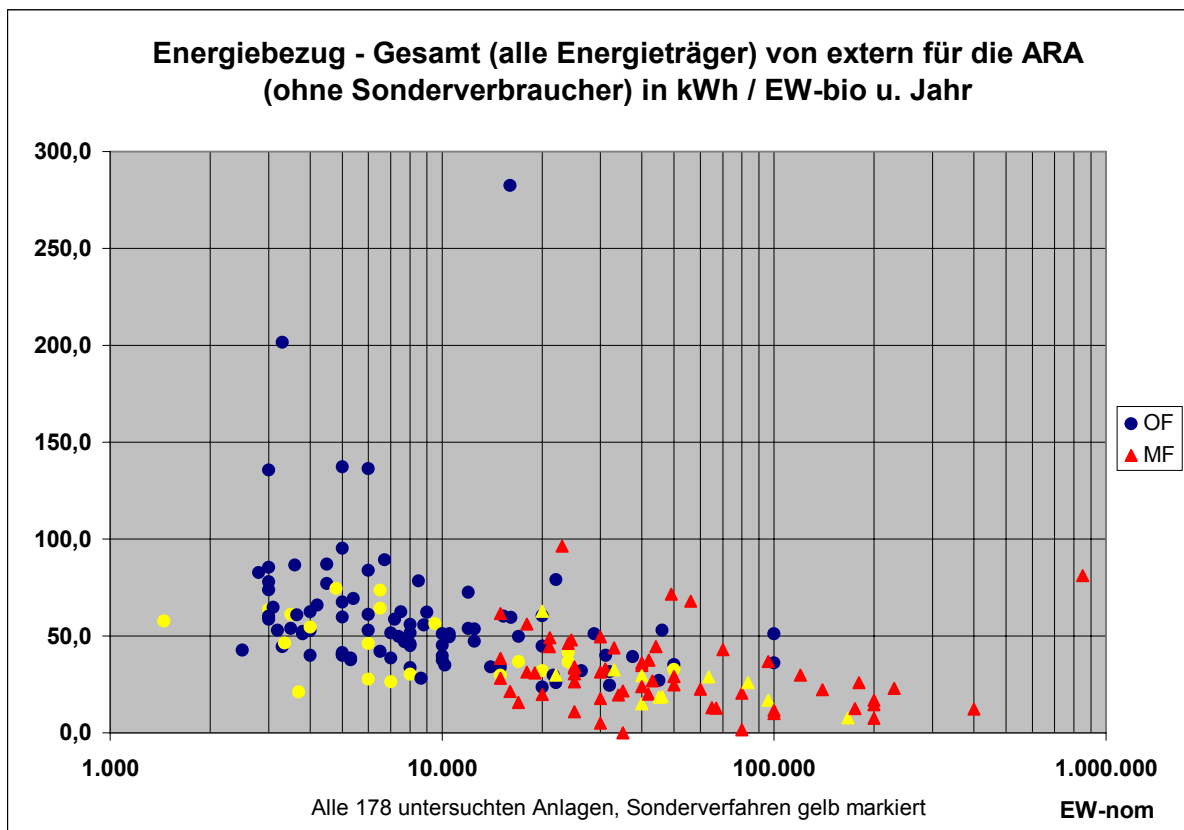
### 5.1 Energiebezug, alle Anlagen der Grobanalyse

Der Energiebezug ist, da die gelieferte Ware (elektrische Energie, Erdgas, Heizöl, Flüssiggas) sehr genau erfasst wird, einfach und relativ genau bestimmbar. Eine Unsicherheit bei den dargestellten bezogenen Daten kann eigentlich nur durch das Herausrechnen der Sonderverbraucher (da deren Energieverbrauch üblicherweise nicht gemessen, sondern nur rechnerisch ermittelt wurde) und durch den Bezug auf die Anlagenbelastung entstehen.

Der Energieverbrauch der Sonderverbraucher ist aber, wie eine gesonderte Auswertung ergab, relativ gering und macht bei den meisten Anlagen weniger als 2 kWh/EW-bio u. Jahr aus. Nur bei 13 Anlagen war der Einfluss größer und davon bei 6 Anlagen zwischen 10 u. 16 kWh/EW-bio u. Jahr. Geht man davon aus, dass der Fehler bei der Ermittlung des Energieverbrauches der Sonderverbraucher im Extremfall 30 % beträgt, so wäre der Einfluss auf den Energieverbrauch der ARA selbst bei der Anlage mit 16 kWh/EW-bio u. Jahr nur ca. 5 kWh/EW-bio u. Jahr.

Eine Ungenauigkeit in der Anlagenbelastung (EW-bio) schlägt natürlich voll auf die bezogenen Werte durch. So wird ein um z.B. 20 % zu groß ermittelter Wert für EW-bio einen um 17 % kleineren bezogenen Wert und eine um 20 % zu klein ermittelte Anlagenbelastung einen um 25 % größeren bezogenen Wert liefern.

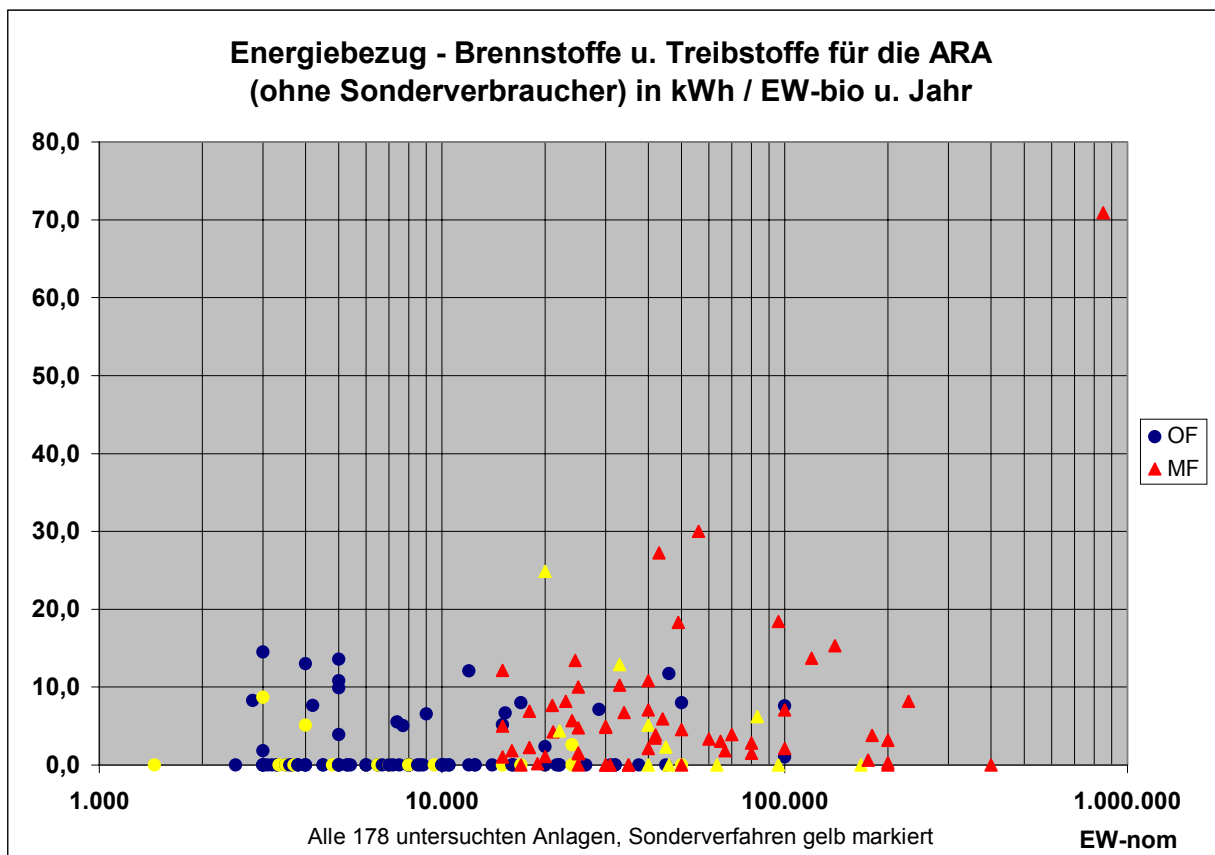
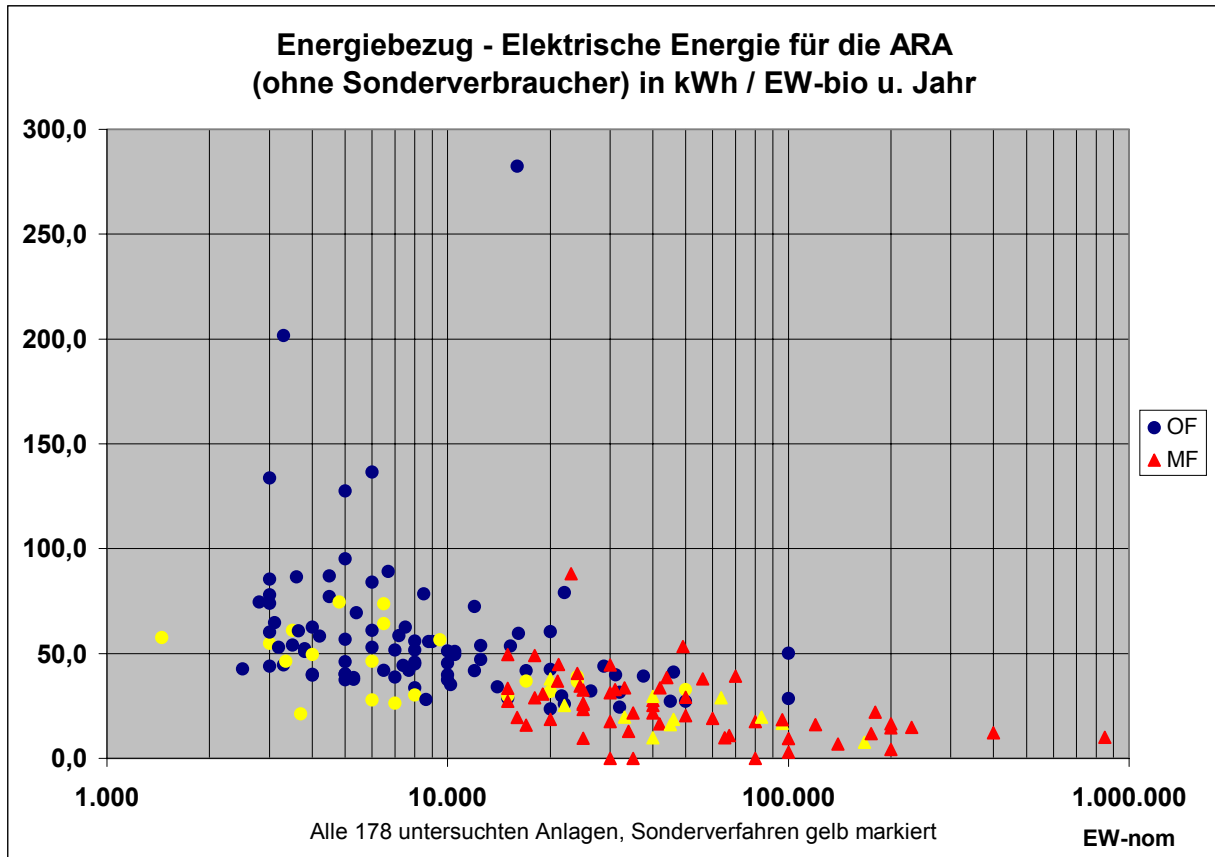
Selbst unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten ersieht man in allen Diagrammen deutlich, einen sehr weiten Streubereich. Bezieht man sich zum Beispiel auf das Diagramm „Energiebezug-Elektrische Energie für die ARA“ und da wiederum auf die Anlagen (blaue Kreisflächen) ohne Faulung und ohne Sonderverfahren, so sieht man Anlagen die abhängig von der Größe mit weniger als 40 oder 30 kWh/EW-bio u. Jahr auskommen und solche die mehr als 100 oder 60 kWh/EW-bio und Jahr an elektrischer Energie beziehen. Die Differenz kann man als theoretisches Einsparungspotential deuten. Dieses ist aufgrund der vorhandenen Gegebenheiten bei den bereits bestehenden Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen sicherlich nur mehr zum Teil umsetzbar, jedoch zeigt es eine beachtliche Größenordnung auf.





# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis



## 5.2 Energieverbrauch, alle Anlagen der Grobanalyse

Beim Energieverbrauch gilt im Prinzip das Gleiche wie beim Energiebezug.

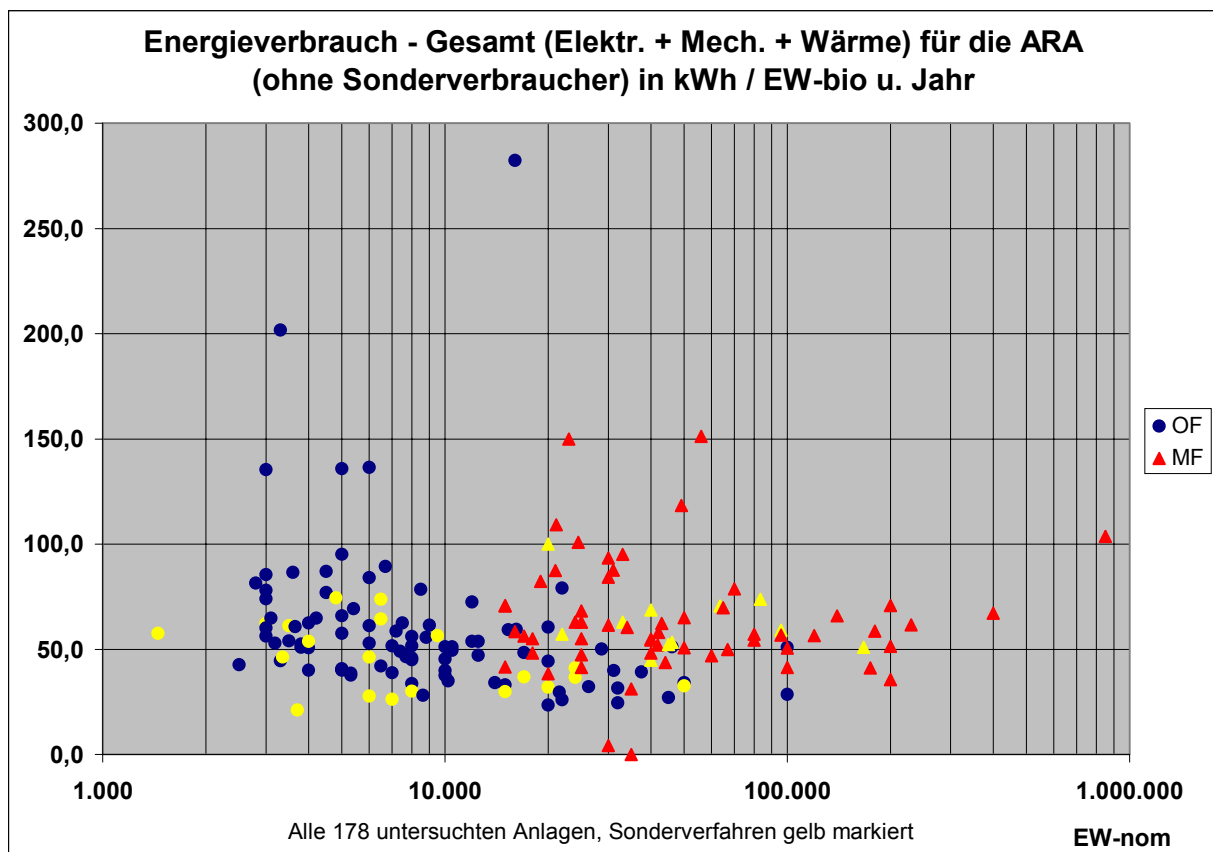
Bei den Anlagen ohne Faulung (blaue Kreise) ist der Energieverbrauch bis auf die Wärmeverluste im Heizkessel mit dem Energiebezug identisch.

Bei den Anlagen mit Faulung (rote Dreiecke) ist je nach Nutzungsart des Klärgases (Heizkessel, BHKW) immer ein starker Beitrag zur Wärmeenergie und bei vielen Anlagen auch ein Beitrag zur elektro+mechanischen Energie gegeben.

Die Klärgasmenge und deren Verwendung wird jedoch, wie sich bei der Datenerhebung herausgestellt hat, bei vielen Kläranlagen nur ungenau ermittelt, sodass insbesondere bei der Wärmeenergie, bei einigen Anlagen sehr zweifelhafte (nicht realistische) Werte ermittelt wurden.

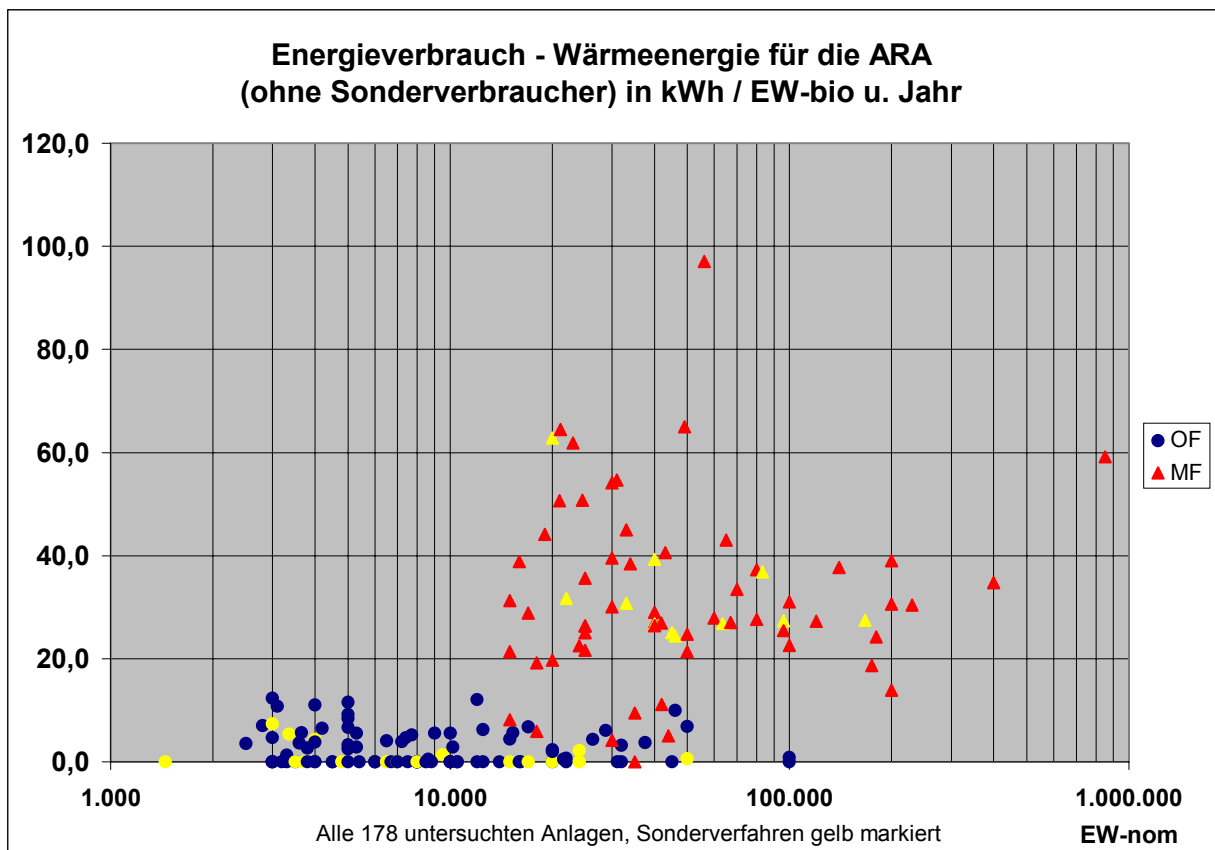
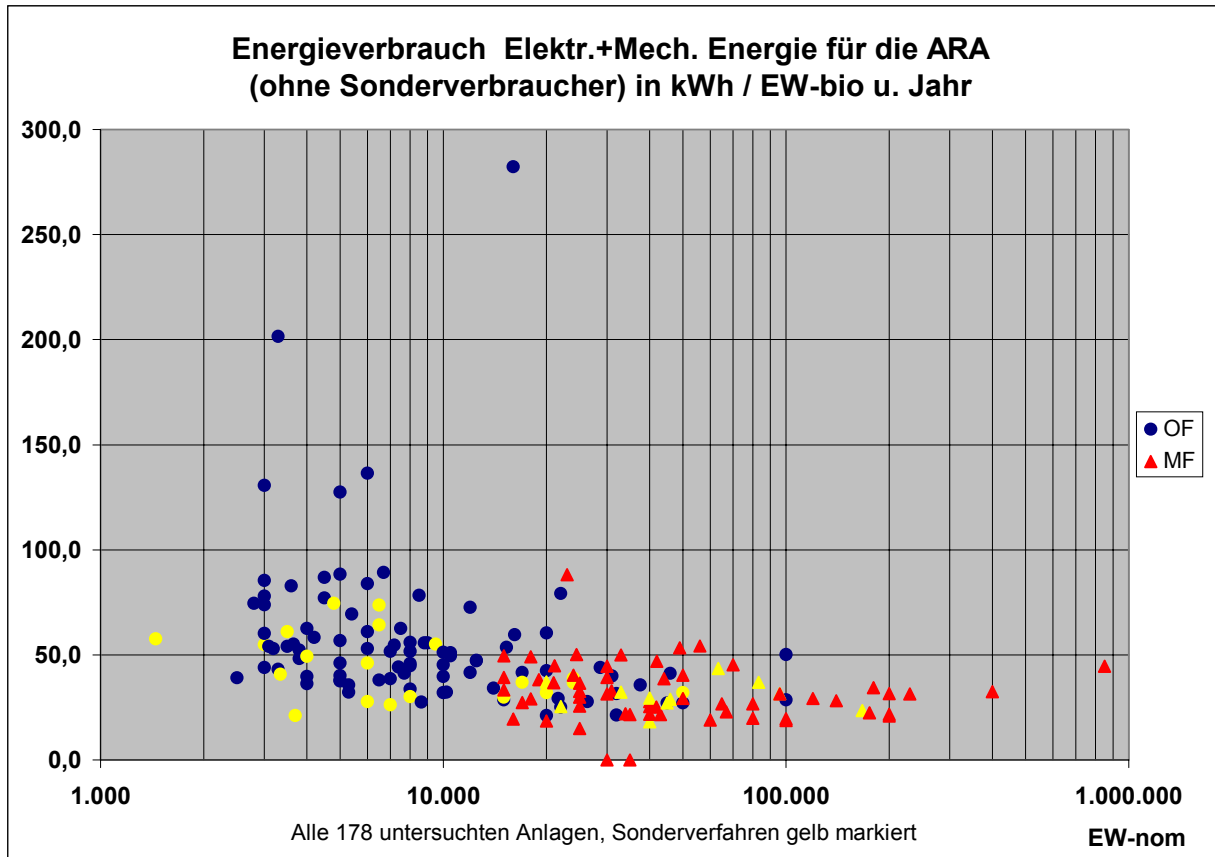
Von den folgenden Diagrammen ist hinsichtlich der Datenqualität der elektro+mechanische Energieverbrauch am verlässlichsten.

Auch beim Energieverbrauch sieht man, wie bereits beim Energiebezug, einen weiten Streubereich, der bei den Anlagen, die mehr verbrauchen als die Gruppe der Besten, ein entsprechend großes Einsparungspotential erwarten lässt.



# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis



## 6 AUSWAHL FÜR DIE DETAILANALYSEN

Von den 172 Anlagen wurden die 33 Anlagen mit Sonderverfahren (z.B. Tauch-, Tropfkörperverfahren) ausgeschieden und von dem Rest (139 Anlagen, 83 ohne Faulung und 56 mit Faulung) nur 78 Anlagen (44 OF, 34 MF) mit einer guten Datenqualität (ca. Qualität 3+) zur Auswahl für die Detailuntersuchung zugelassen.

Aus dieser Vorauswahl wurden, in Abstimmung mit dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien und dem Auftraggeber, unter Berücksichtigung einer sinnvollen Verteilung hinsichtlich Verfahren und Anlagengröße, 16 Anlagen ausgewählt.

Mit den bereits früher untersuchten 5 Anlagen wurde somit an 21 Anlagen eine Detailanalyse durchgeführt.

Deren Verteilung hinsichtlich Größe, Verfahren und Effizienz zeigt folgende Tabelle.

Größenklasse EW-Ausbau	Gute Energieeffizienz		Schlechte Energieeffizienz	
	Ohne Faulung	Mit Faulung-	Ohne Faulung	Mit Faulung
ca. 3.000 - ca. 10.000 EW	2	-	2	-
ca.10.000 - ca. 50.000 EW	4	3	3	2
> ca. 50.000 EW	-	2	-	3

Die Diagramme der folgenden Abschnitte zeigen die Energiedaten der 78 Anlagen der Vorauswahl (alle mit guter Datenqualität von ca. 3+). Davon sind 44 ohne Faulung (blau) und 34 mit Faulung (rot).

Als hellblauer Kreis sind die für die Detailanalyse ausgewählte Anlagen ohne Faulung und als hellrotes Dreieck die ausgewählten Anlagen ohne Faulung dargestellt.

Da im Zuge der Detailanalyse die Anlagen viel genauer als in der vorangegangenen Grobanalyse untersucht wurden, unterscheiden sich die Werte nach der Detailanalyse zum Teil natürlich von den Werten der Grobanalyse. Um diese Unterschiede darzustellen, wurden in den Diagramme auch die endgültigen Werte, ermittelt aus den Detailanalysen, als helle Quadrate dargestellt.

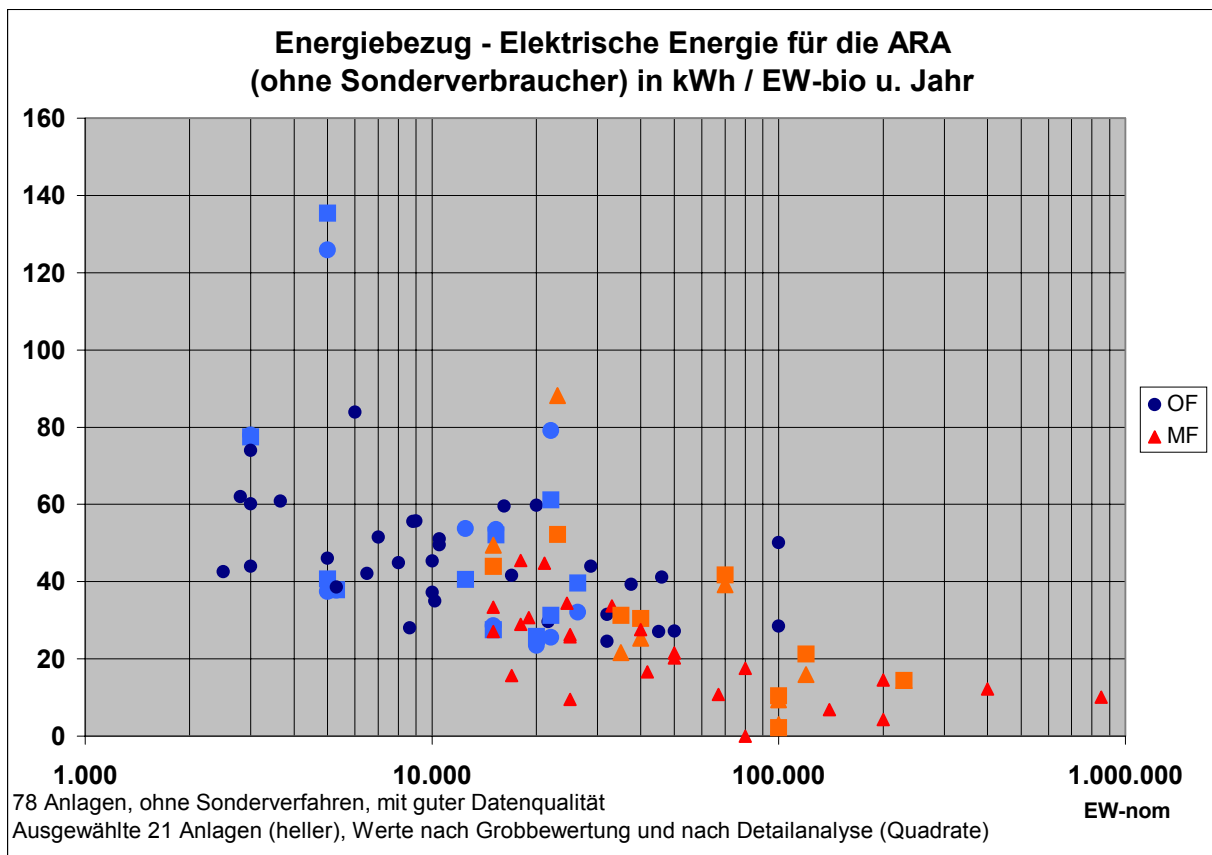
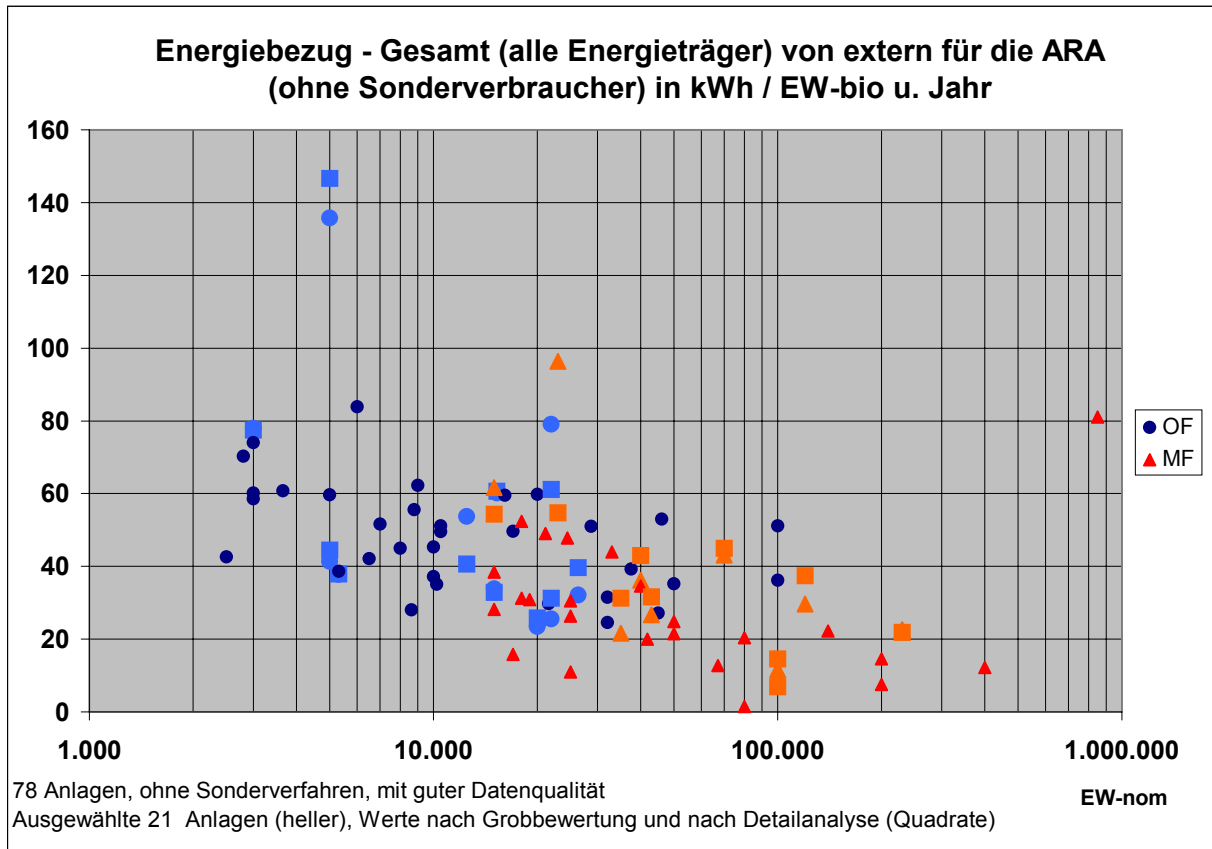
Man erkennt sowohl in den Diagrammen für den Energiebezug als auch für den Energieverbrauch, dass sich die dargestellten Kennwerte aufgrund der Detailanalyse zum Teil doch deutlich ändern, sich die Bewertung aber nicht gänzlich umdreht.

Das bedeutet, dass man mit einer richtig durchgeführten Grobanalyse tatsächlich ziemlich treffsicher feststellen kann, ob eine Anlage energetisch gut oder schlecht ist und ob es sich lohnt eine aufwendige Detailanalyse durchzuführen.

Auch der Streubereich der Energiekennzahlen bei der Gesamtheit der Anlagen hat sich nicht grundsätzlich geändert, sodass man sagen kann, dass das durch die Grobanalyse aufgezeigte theoretische Verbesserungspotential durch die Detailanalysen kaum verändert wurde.

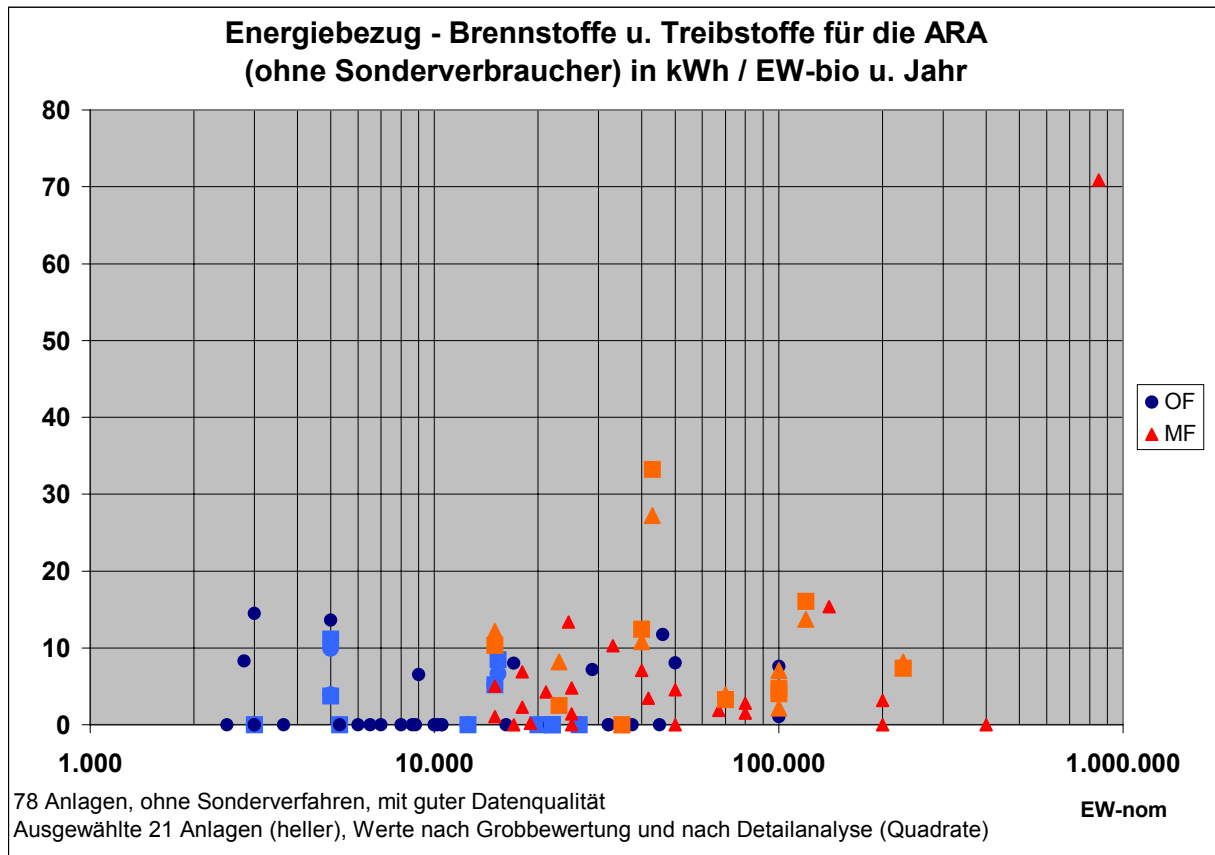
Für eine verlässliche Beurteilung der einzelnen Anlage ist aber eine Detailanalyse unerlässlich. Nur durch diese können einigermaßen verlässliche Energiekennwerte und über die konkrete Maßnahmenfindung und -bewertung auch das tatsächliche Einsparungspotential für die konkrete Anlage ermittelt werden.

## 6.1 Energiebezug, Vorauswahl und Detailanalysen

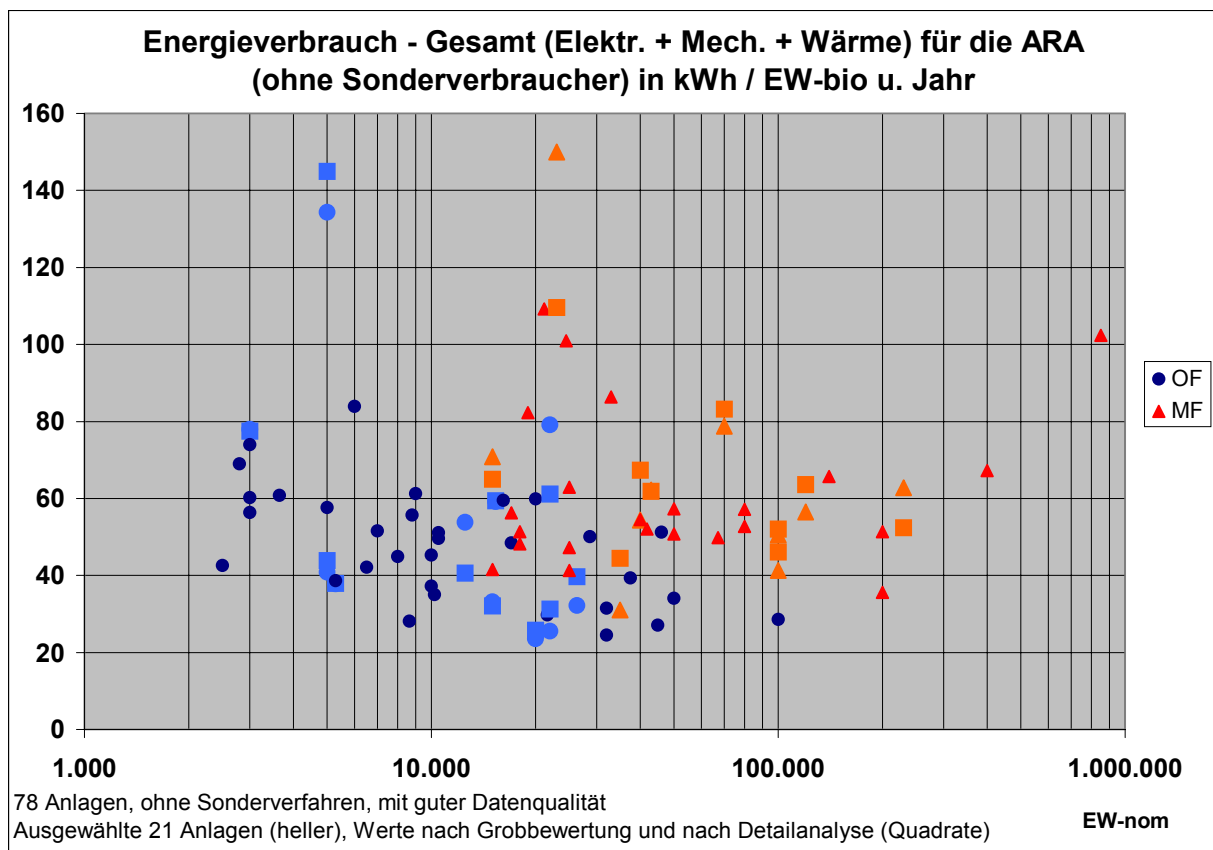


# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

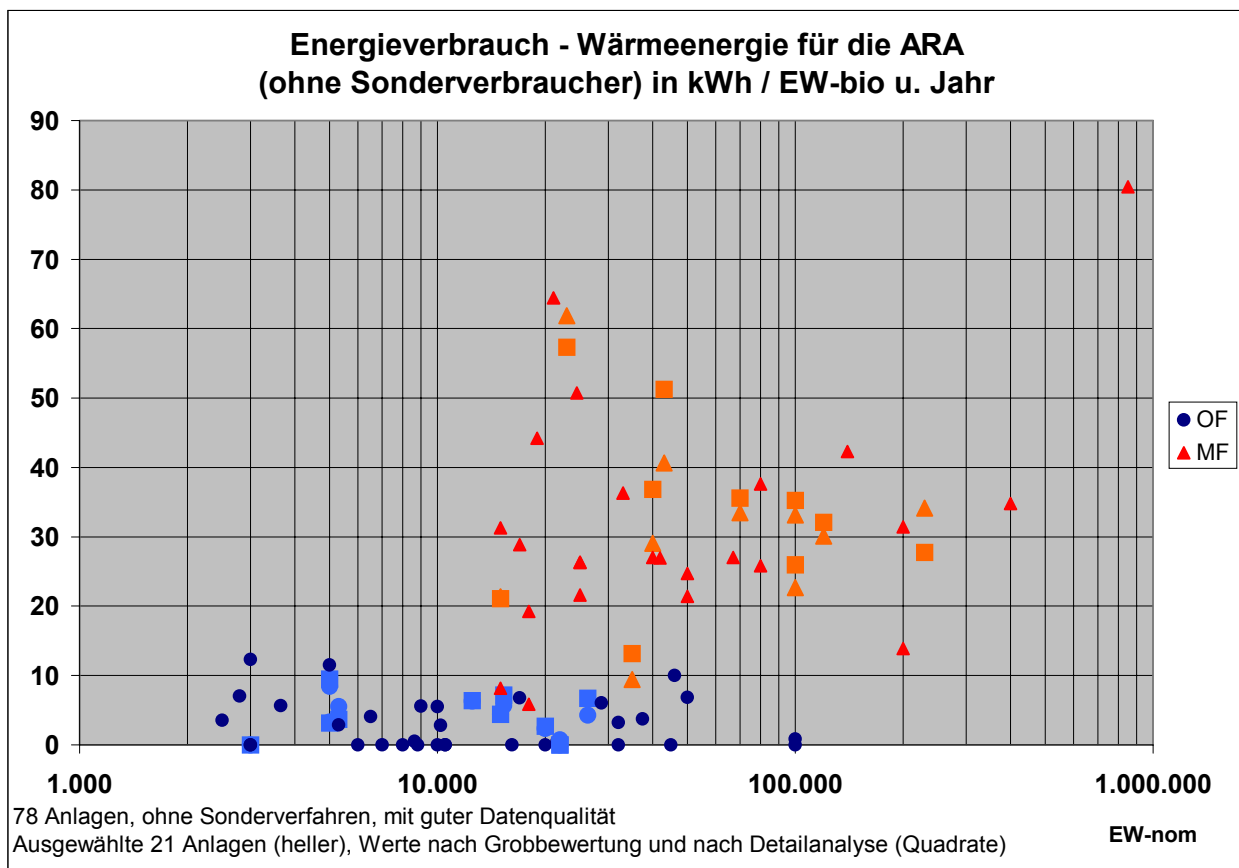
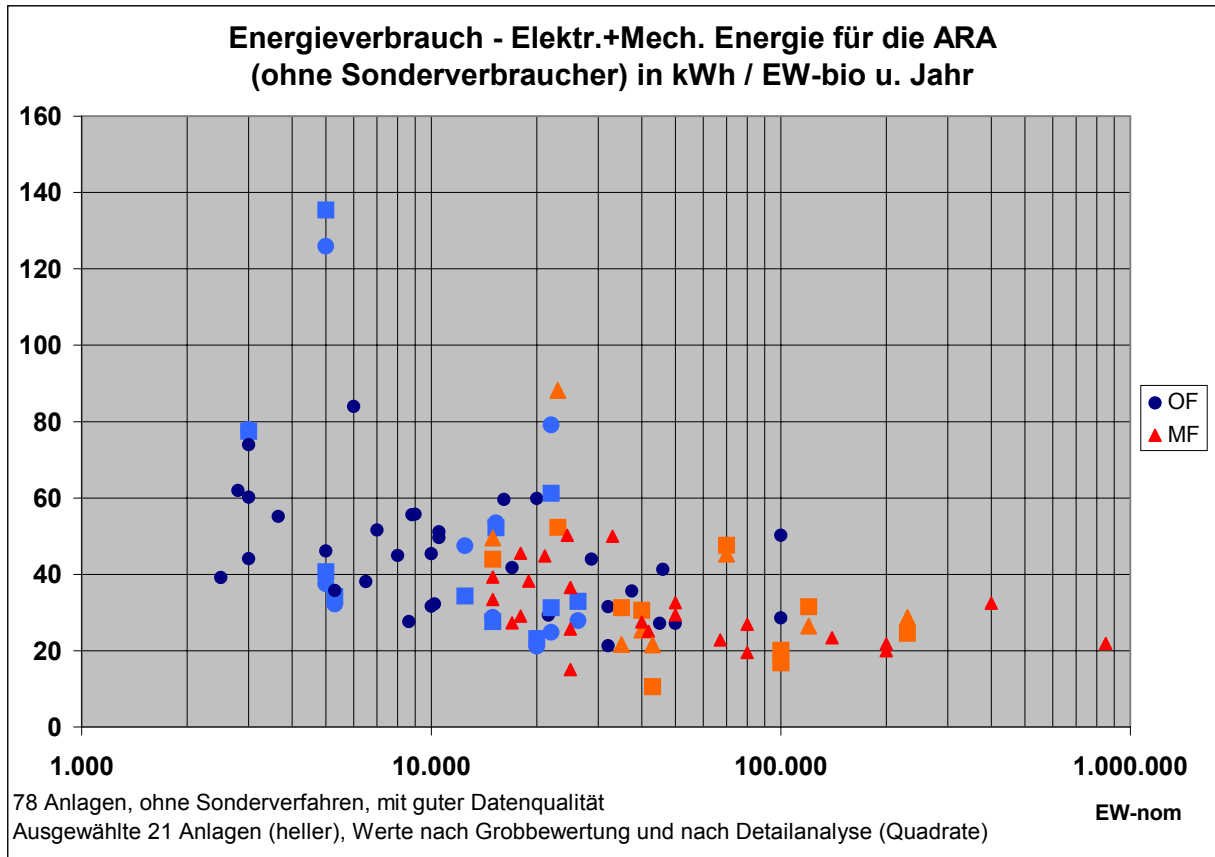


## 6.2 Energieverbrauch, Vorauswahl und Detailanalysen



# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis



## 7 DIE 21 ANLAGEN FÜR DIE DETAILANALYSE IM ÜBERBLICK

Wie in den vorigen Kapiteln erläutert, wurden aus den Anlagen der Grobanalyse 16 Anlagen ausgewählt und einer Detailanalyse unterzogen. Die bereits früher untersuchten 5 Anlagen wurden ebenfalls in diesen Bericht mit aufgenommen, sodass insgesamt 21 Anlagen im Detail untersucht wurden. Die kompletten Anlagenberichte wurden an den jeweiligen Betreiber übergeben und mit diesen besprochen.

Im Folgenden sind die Ergebnisse dieser Detailanalysen zusammengefasst. Kurzbeschreibungen der einzelnen Anlagen mit einer Zusammenfassung der Maßnahmen und Einzelergebnissen je Anlage finden sich im Berichtsteil B.

Wie bereits im Kapitel 2.3 ausgeführt, ist es für die Energiebewertung und für die darauf basierenden Schlüsse wichtig, die Anlagenbelastung, die ja als Bezugswert dient, richtig zu ermitteln. Bei der Detailuntersuchung wurde hierzu insofern ein interessanter Weg beschritten, als die Anlagenbelastung vom Berichtverfasser (EW-bio) und vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien (EW-CSB<sub>korrr</sub>) unabhängig voneinander festgelegt wurden. Die von der Anlage ermittelten Daten laut Eigenüberwachung waren die selben, unabhängig voneinander waren die zusätzlich durch Anlagenbesuche und Gespräche gewonnen Informationen und die Bewertung.

In den 2 folgenden Tabellen wurde die für die Energieanalysen als Bezugswert verwendete Belastung EW-bio für das Jahr 1999 einerseits den Belastungsdaten aufgrund der Eigenüberwachung (EW-hyd, EW-BSB<sub>5</sub>, EW-CSB, EW-N) für das Jahr 1999 und andererseits der Belastung EW-CSB<sub>korrr</sub> für das Jahr 1999 (in Klammer ist auch der Wert für 1998 angeführt) gegenübergestellt.

### Anlagen mit guter Energieeffizienz:

Anlage Nr.	Ausbau EW	Belastung laut Eigenüberw. 1999				EW-bio 1999	EW-CSB <sub>korrr</sub> 1999 (1998)
		EW-hyd	EW-BSB	EW-CSB	EW-N		
OF 38	5.000	2.040	3.520	3.770	2.230	3.000	3.400 (2.800)
OF 39	5.300	2.080	3.510	3.460	3.720	3.200	3.000 (2.400)
OF 82	15.000	8.440	12.400	9.770	7.160	9.250	8.700 (9.200)
OF 91	20.000	18.050	9.660	8.740	9.010	9.000	(Vorprojekt)
OF 94	22.000	25.600	15.230	12.150	10.350	10.000	12.070 (10.800)
OF 98	26.300	17.080	12.900	10.700	8.950	12.000	(Vorprojekt)
MF 31	35.000	23.840	19.690	19.090	15.860	19.000	19.100 (23.000)
MF 32	40.000	16.730	14.920	14.940	11.550	12.000	12.500 (12.500)
MF 39	43.000	30.160	21.750	26.280	18.790	25.000	(Vorprojekt)
MF 57	100.000	58.870	82.100	75.510	52.740	75.000	68.000 (68.000)
MF 58	100.000	62.160	41.170	40.600	32.940	41.000	40.700 (39.500)

### Anlagen mit schlechterer Energieeffizienz:

Anlage Nr.	Ausbau EW	Belastung laut Eigenüberw. 1999				EW-bio 1999	EW-CSB <sub>korrr</sub> 1999
		EW-hyd	EW-BSB	EW-CSB	EW-N		
OF 6	3.000	2.500	2.430	1.500	1.800	1.500	1.500 (1.500)
OF 32	5.000	2.390	860	1.160	1.430	1.200	1.250 (1.250)
OF 80	12.500	3.370	4.230	4.750	4.400	4.500	4.200 (3.800)
OF 84	15.300	6.950	5.910	7.100	8.250	7.100	(Vorprojekt)
OF 95	22.000	35.510	12.390	12.450	12.040	12.300	12.300 (11.300)
MF 2	15.000	10.680	10.520	9.500	n.g.	10.000	10.800 (9.000)
MF 14	23.000	15.000	15.100	14.140	9.560	13.000	15.500 (15.500)
MF 51	70.000	37.780	28.890	28.320	28.400	29.000	28.500 (29.000)
MF 59	120.000	92.970	80.680	71.480	35.310	71.000	72.000 (75.000)
MF 61	230.000	172.000	82.860	90.160	86.270	90.000	(Vorprojekt)



## Erläuterung zu den Tabellen in diesem Abschnitt:

Anlagen Nr.: OF Nr: Ohne Faulung. MF Nr: Mit Faulung.

Nr: Laufende Anlagen-Nummer vergeben mit aufsteigender Anlagengröße EW-nom),  
getrennt für OF und MF

Inbetriebnahmejahr: N: Nach Neubau im Jahr. E. Nach Erweiterung im Jahr

Belastung:

Ermittelt aus den Jahresfrachten im Anlagenzulauf laut Eigenüberwachung mit:

- Hydraulische Belastung im Jahresmittel: 1 EW-hyd = 200 Liter Abwasser / Tag
- CSB-Belastung im Jahresmittel: 1 EW-CSB = 110 g CSB /Tag
- N-Belastung im Jahresmittel: 1 EW-N = 11 g Nges / Tag

EW-bio: Die korrigierte CSB-Belastung. Bezugswert für die Energiewerte, Kosten etc.

Ablauf [mg/l]: NH<sub>4</sub>-N bzw. NO<sub>3</sub>-N. Der 2-Jahresmittelwert der Ablaufkonzentration von Ammonium und Nitrat wird in den folgenden Tabelle angegeben und soll die Stickstoffentfernung der jeweiligen Anlage charakterisieren.

Energiebezug:

Primär [kWh/E]: Energiebezug bewertet als „fossile“ Primärenergie in kWh/EW-bio u. Jahr.

Dabei wird angenommen, dass man zur Bereitstellung von 1 kWh elektrische Energie am Kundennetzanschluss ca. 3 kWh fossile Brennstoffe im Kraftwerk verfeuern muss.

Kosten [ATS/E]: Kosten in ATS/EW-bio u. Jahr für den Energiebezug der ARA (ohne dem Verbrauch der Sonderverbraucher), ohne USt. aber mit Energieabgabe. Da die Bezugstarife von dem jeweiligen Liefervertrag und dem Energielieferanten (Versorgungsgebiet) abhängen, sind diese Kosten für einen direkten Vergleich der Anlagen nicht geeignet.

Gesamt [kWh/E]: Summe aus Bezug an fossiler Energie u. elektr. Energie in kWh/EW-bio u. Jahr.

Fossile [kWh/EW]: Bezug (Zukauf) an fossiler Energie (Kohle, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas).

Elektr. [kWh/EW]: Bezug (Zukauf) an elektrischer Energie in kWh/EW-bio u. Jahr unabhängig ob für Kraft u. Licht oder andere Zwecke verwendet.

Energieverbrauch:

Gesamt [kWh/E]: Summe aus Energieverbrauch aus elektro-mechanischer Energie und Wärmeenergie in kWh/EW-bio u. Jahr.

Wärme [kWh/E]: Verbrauch an Wärmeenergie in kWh/EW-bio u. Jahr.

EI+Me [kWh/E]: Verbrauch an elektro+mechanischer Energie in kWh/EW-bio u. Jahr.

BB [kWh/E]: Energieverbrauch der Belüftung und Umwälzung für die biologische Stufe(n) der Abwasserreinigung (Belebungsbecken und sofern vorhanden Selektor u. Denitrifikation, Rezirkulation) in kWh/EW-bio u. Jahr.  
Nicht darin enthalten sind Rücklaufschlammumpfen, Überschussschlammumpfen und eine Stabilisierung des Belebtschlammes, sofern außerhalb des Belebungsbeckens.

Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen:

Invest [ATS]: Abgeschätzte Investitionskosten in ATS (ohne Planungskosten und USt.) für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen.

Ersparnis [ATS]: Jährliche Ersparnis an Betriebskosten bewirkt durch die Umsetzung der Maßnahmen in ATS ohne USt.

Amortisation [Jahre]: Amortisationsdauer in Jahren abgeschätzt durch Division der Investitionskosten durch die jährliche Ersparnis. Dieser Wert wurde ohne Verzinsung u. Preissteigerung ermittelt.

Maßnahmen: Stichwortartige Auflistung betroffenen Bereiche der Anlage die von den vorgeschlagenen Maßnahmen betroffen sind.

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

## 7.1 Energieeffiziente Anlagen

### 7.1.1 Anlagen ohne Faulung

#### Belastung

Anlage Nr.	Inbetr. nahme	Ausbau EW-nom	Belastung			Ablauf mg/l		Besonderheit
			EW-hyd	EW-N	EW-bio	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	
OF 38	1996 N	5.000	2.040	2.230	<b>3.000</b>	0,8	1,2	Wochengang
OF 39	1995 N	5.300	2.080	3.720	<b>3.200</b>	1,5	11,1	Vorg. Deni, Rezirk.
OF 82	1994 N	15.000	8.440	7.160	<b>9.250</b>	0,5	1,5	1998
OF 91	1982 N	20.000	18.050	9.010	<b>9.000</b>	1,0	1,3	1997, Mammutrotor
OF 94	1990 E	22.000	25.600	10.350	<b>10.000</b>	0,2	1,2	Wärmepumpe
OF 98	1982 N	26.300	17.080	8.950	<b>12.000</b>	0,9	1,4	1997, Mammutrotor
Summe		93.600	46.450					

#### Energie-ISTWERTE der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

ISTW Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt kWh/E	Wärme kWh/E	EI+Me kWh/E	BB kWh/E
OF 38	126	58,32	44,4	3,7	40,7	43,9	3,2	40,7	31,4
OF 39	102	60,37	34	0	34	34	3,1	30,9	23,6
OF 82	88	48,00	32,8	5,2	27,6	32	4,4	27,6	18,5
OF 91	77	42,02	25,8	0	25,8	25,8	2,7	23,1	17,8
OF 94	101	40,2	33,5	0	33,5	35,3	4,0	31,3	22,9
OF 98	119	55,57	39,7	0	39,7	39,7	6,8	32,9	27,7

#### Energie-OPTIMIERT der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

OPT Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt kWh/E	Wärme kWh/E	EI+Me kWh/E	BB kWh/E
OF 38	108	53,3	38,4	3,7	34,7	37,9	3,2	34,7	25,4
OF 39	102	60,37	34	0	34	34	3,1	30,9	23,6
OF 82	78	40,89	29,7	5,2	24,5	28,9	4,4	24,5	16,3
OF 91	71	34,47	23,6	0	23,6	23,6	2,7	20,9	16,7
OF 94	80	33,2	26,7	0	26,7	28,5	4,0	24,5	17,5
OF 98	84	38,55	28,1	0	28,1	28,1	4,3	23,8	18,6

#### Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen für Gesamtanlage

Anlage Nr.	Invest	Ersparnis	Amortisation	Maßnahmen in den Bereichen (Wirtschaftlich sinnvoll und empfohlen)
	ATS	ATS	Jahre	
OF 38	60.000	15.120	4,0	Rührwerk Selektor
OF 39	0	0	-	Keine
OF 82	150.000	65.220	2,3	Belüftg. Sandf u. BB, Umw. BB, RLS-Pump, E-Spitzen
OF 91	100.000	67.960	1,5	Sandfangpaddel, Umwälzg.BB, RLS, E-Spitzen
OF 94	70.000	69.990	1,0	Umw. BB, RLS, E-Spitzen
OF 98	200.000	204.000	1,0	Belüftg.BB, 1 BB stilllegen, E-Spitzen, Heiz.Nebengeb

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

## 7.1.2 Anlagen mit Faulung

### Belastung

Anlage Nr.	Inbetr. nahme	Ausbau EW	Belastung			Ablauf mg/l		Besonderheit
			EW-hyd	EW-N	EW-bio	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	
MF 31	1992 E	35.000	23.840	15.860	<b>19.000</b>	1,0	2,2	Kein BHKW
MF 32	1998 E	40.000	16.730	11.550	<b>12.000</b>	1,7	8,0	Kein BHKW
MF 39	1989 N	43.000	30.160	18.790	<b>25.000</b>	1,5	5,0	1997
MF 57	1985 E	100.000	58.870	52.740	<b>75.000</b>	1,9	9,5	Warmes Abwasser
MF 58	1988 N	100.000	62.160	32.940	<b>41.000</b>	2,0	6,0	

Summe 318.000 172.000

### Energie-Istwerte der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

ISTW Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt KWh/E	Wärme KWh/E	El+Me kWh/E	BB kWh/E
MF 31	93	43,15	30,9	0	30,9	46,4	15,5	30,9	19,6
MF 32	104	41,3	42,9	12,4	30,5	66,9	36,4	30,5	13,5
MF 39	29	13,24	31,7	33,3	-1,6	62,4	41,6	20,8	10,8
MF 57	32	11,69	12,4	2,5	9,9	43,8	24,6	19,2	13,3
MF 58	11	6,29	6,9	4,7	2,2	52,2	33,9	18,3	12,2

M57: der geringe Wärmebedarf ist erklärbar durch relativ warmes Abwasser.

### Energie-OPTIMIERT der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

OPT Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär KWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt kWh/E	Wärme kWh/E	El+Me kWh/E	BB kWh/E
MF 31	45	25,26	15	0	15	42,6	15,5	27,1	15,4
MF 32	85	34,21	36,5	12,4	24,1	60,6	36,4	24,1	11,2
MF 39	21	9,29	15,7	13,2	2,5	49,5	30,9	18,6	10,8
MF 57	27	10,36	10,7	2,5	8,2	42,0	24,6	17,4	12,6
MF 58	8	5,39	5,9	4,7	1,2	51,2	33,9	17,3	11,4

MF57 Energie für BB wäre weiter reduzierbar, wenn die Gasmotorgebläse durch E-Gebläse ersetzt würden.

### Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen für Gesamtanlage

Anlage Nr.	Invest	Ersparnis	Amortisation	Maßnahmen in den Bereichen (Wirtschaftlich sinnvoll und empfohlen)
	ATS	ATS	Jahre	
MF 31	1.505.000	356.330	4,3	Belüft. Sandf u. BB, Mischer FT, E-Spitzen, BHKW
MF 32	170.000	84.220	2,0	Bel. Sandf, Umwälzung BB; RLS, Umw. FT, E-Spitzen
MF 39	160.000	98.800	1,6	Räumerbahnzng, RLS, Umw.FT, Luftabs., Erdgas red.
MF 57	115.000	99.750	1,2	Bel.Sandf. Umw. BB, RLS,
MF 58	60.000	36.960	1,6	Umwälz BB, RLS

Bei MF 32 wurde kein BHKW eingerechnet, weil bei den damaligen Energiepreisen nicht wirtschaftlich. Dies ist unter neuen Verhältnissen zu prüfen.

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

## 7.2 Energiemäßig schlechtere Anlagen“

### 7.2.1 Anlagen ohne Faulung

#### Belastung

Anlage Nr.	Inbetr. nahme	Ausbau EW	Belastung.			Ablauf mg/l		Besonderheit
			EW-hyd	EW-N	EW-bio	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	
OF 6	1994 E	3.000	2.500	1.800	<b>1.500</b>	0,6	4,2	Umlaufgraben+BB
OF 32	1995 N	5.000	2.390	1.430	<b>1.200</b>	0,9	1,2	Tiefenturbobelüft.
OF 80	1995 N	12.500	3.370	4.400	<b>4.500</b>	1,7	2,6	
OF 84	1995 N	15.300	6.950	8.250	<b>7.100</b>	6,5	3,3	1 BB nicht in Betr.
OF 95	1995 E	22.000	35.510	12.040	<b>12.300</b>	3,6	7,3	ATS
Summe		57.800			26.600			

#### Energie-Istwerte der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

ISTW Nr. Anlage	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt KWh/E	Wärme KWh/E	EI+Me KWh/E	BB kWh/E
OF 6	251	131,48	83,6	0	83,6	83,6	6,7	76,9	58,4
OF 32	434	196,43	152,6	11,2	141,4	150,9	9,5	141,4	104,1
OF 80	119	59,19	44	0	39,6	44	4,4	39,6	28,6
OF 84	164	63,3	59,3	7,2	52,1	58,2	6,1	52,1	40,4
OF 95	197	78,04	65,6	0	65,6	65,6	4,4	61,2	32,7

#### Energie-OPTIMIERT der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

OPT Nr. Anlage	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt kWh/E	Wärme kWh/E	EI+Me kWh/E	BB kWh/E
OF 6	168	96,6	55,9	0	55,9	55,9	6,7	49,2	33,4
OF 32	246	118,9	89,3	11,2	78,1	87,6	9,5	78,1	48,3
OF 80	66	38,05	24,9	4,4	20,5	24,9	4,4	20,5	14,2
OF 84	111	46,26	41,8	7,2	34,6	40,7	6,1	34,6	26,3
OF 95	170	67,72	56,7	0	56,7	56,8	2,8	54	26,7

#### Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen für Gesamtanlage

Anlage Nr.	Invest	Ersparnis	Amortisation	Maßnahmen in den Bereichen (Wirtschaftlich sinnvoll und empfohlen)
	ATS	ATS	Jahre	
OF 6	85.000	52.290	1,6	Umwälz BB, Belüft. BB, RLS, Schlammkreisel
OF 32	455.000	93.040	4,9	Eindi-RW, neue Belüftg, RLS, Selektor-RW, E-Spitzen
OF 80	108.000	102.640	1,1	Sandfanggebl, RLS, (Biofilter,) Umwälz.BB; E-Spitzen
OF 84	380.000	120.960	3,1	Belüft.Sandf, Umw.+Belüft.BB, Umw.Selekt, E-Spitz.
OF 95	270.000	126.880	2,1	Schwimmschlabbz, Belüft.BB, Umw.BB, E-Spitz, Heiz

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

## 7.2.2 Anlagen mit Faulung

### Belastung

Anlage Nr.	Inbetr. nahme	Ausbau EW	Belastung			Ablauf		Besonderheit
			EW-hyd	EW-N	EW-bio	NH4-N	NO3-N	
MF 2	1993 E	15.000	10.680	n.g.	10.000	0,8	4,3	Kein BHKW
MF 14	1997 E	23.000	15.000	9.560	13.000	0,6	2,1	Kein BHKW, Deni,
MF 51	1989 E	70.000	37.780	28.400	29.000	0,7	10,0	Oberfl.-Turbobel
MF 59	1997 E	120.000	92.970	35.310	71.000	0,2	3,0	Deni+Rezirkul.
MF 61	1994 E	230.000	172.000	86.270	90.000	3,5	3,4	Direktantrieb
Summe		458.000			213.000			

### Energie-Istwerte der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

ISTW Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt KWh/E	Wärme KWh/E	EI+Me kWh/E	BB kWh/E
MF 2	142	55,72	54,3	10,3	44	61,1	21,1	44	31,6
MF 14	159	63,61	54,8	2,5	52,3	119,8	67,5	52,3	30,9
MF 51	113	40,29	39,7	3,1	36,6	76,7	34,4	42,3	26,1
MF 59	80	29,35	37,4	16,1	21,4	63,4	29,8	33,6	27,6
MF 61	51	23,42	21,9	7,4	14,5	51,3	24,4	26,9	20

MF14: Klärgasanfall ist sicherlich eine Fehlmessung (deshalb auch Wärme falsch).

### Energie-OPTIMIERT der ARA bezogen auf EW-bio und Jahr

OPT Nr.	ENERGIEBEZUG					ENERGIEVERBRAUCH			
	Primär kWh/E	Kosten ATS/E	Gesamt kWh/E	Fossile kWh/E	Elektr. kWh/E	Gesamt kWh/E	Wärme kWh/E	EI+Me kWh/E	BB kWh/E
MF 2	99	39,27	39,9	10,3	29,6	50,7	21,1	29,6	20,9
MF 14	130	52,55	45	2,5	42,5	110.000	67,5	42,5	26,4
MF 51	56	21,90	26,4	11,8	14,6	61,2	34,4	26,8	14,7
MF 59	34	14,32	18,7	11,3	7,4	53,3	30,1	23,2	18,51
MF 61	18	12,54	11	7,4	3,6	45,4	29,4	16,0	10,6

MF51 Belüftung geändert von Oberflächenkreisel auf Tiefenbelüftung.

MF61 Mit zusätzlich neuen Belüfterplatten, die aus Verschleißgründen zu erneuern sind.

### Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen für Gesamtanlage

Anlage Nr.	Invest	Ersparnis	Amortisation	Maßnahmen in den Bereichen (Wirtschaftlich sinnvoll und empfohlen)
	ATS	ATS	Jahre	
MF 2	415.000	164.529	2,5	Belüft. BB, Umw. BB, RLS, Umw. FT, E-Spitzen
MF 14	350.000	254.240	1,4	Umw. Deni u. BB, Umw. FT, E-Spitz, (Biofilter)
MF 51	3.920.000	533.250	7,4	RLS, Sandf.Bel, Umw.+Bel.BB, E-Spitz, KLGNutzg.
MF 59	1.067.900	800.000	0,8	Bel.+Umw.BB, RLS, Rezirk, E-Spitzen, KLGNutzung
MF 61	4.000.000	978.560	4,1	Belüft.+Umwälz.BB, Nutzwasser, E-Spitzen, BHKW

## 8 DIE 21 ANLAGEN EINZELN GRAFISCH DARGESTELLT

### 8.1 Energieverbrauch IST / OPTIMIERT

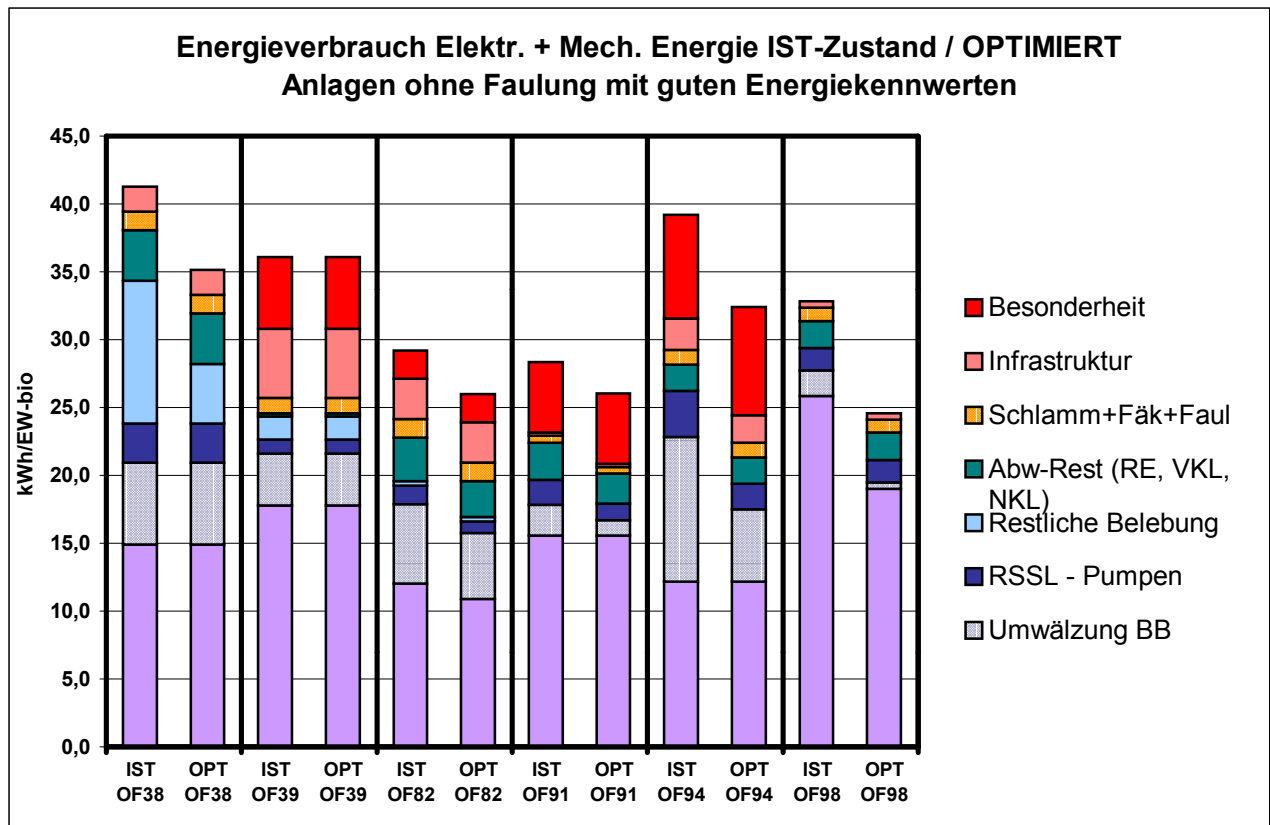
In den folgenden Bildern repräsentiert die Gesamthöhe der Balken den Energieverbrauch der Gesamtanlage, inklusive der Sonderverbraucher.

Den Energieverbrauch der Standardkläranlage (ARA) erhält man, wenn man die Sonderverbraucher (dunkelrotes oberste Balkensegment) sofern vorhanden, nicht mitrechnet.

Von unten beginnend stellt die Belüftung u. Umwälzung den Energieverbrauch des „Kernteiles“ der Belebung dar. In den Tabellen des vorigen Abschnittes sind unter dem Energieverbrauch BB auch noch der Energieverbrauch der „Restlichen Belebung“ (hellblaues Segment, z.B. Umwälzung Selektor oder Rührwerke und Pumpen der Denitrifikation) enthalten.

Es sind jeweils die elektro+mechanischen Energieverbräuche der bestehenden Anlage (IST) denen der, durch Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen, optimierten Anlage (OPT) gegenübergestellt.

#### 8.1.1 Anlagen ohne Faulung, Vergleich GUTE / SCHLECHTE



Ausgehend vom Ist-Zustand (IST) bei den energetisch guten Anlagen im obigen Bild sind nur mehr relativ kleine Verbesserungen möglich. Der optimierte Zustand (OPT), der nach Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen erreicht wird, liegt bei einigen Anlagen schon nahe am Energiesollwert, den sehr energieeffiziente Anlagen erreichen können.

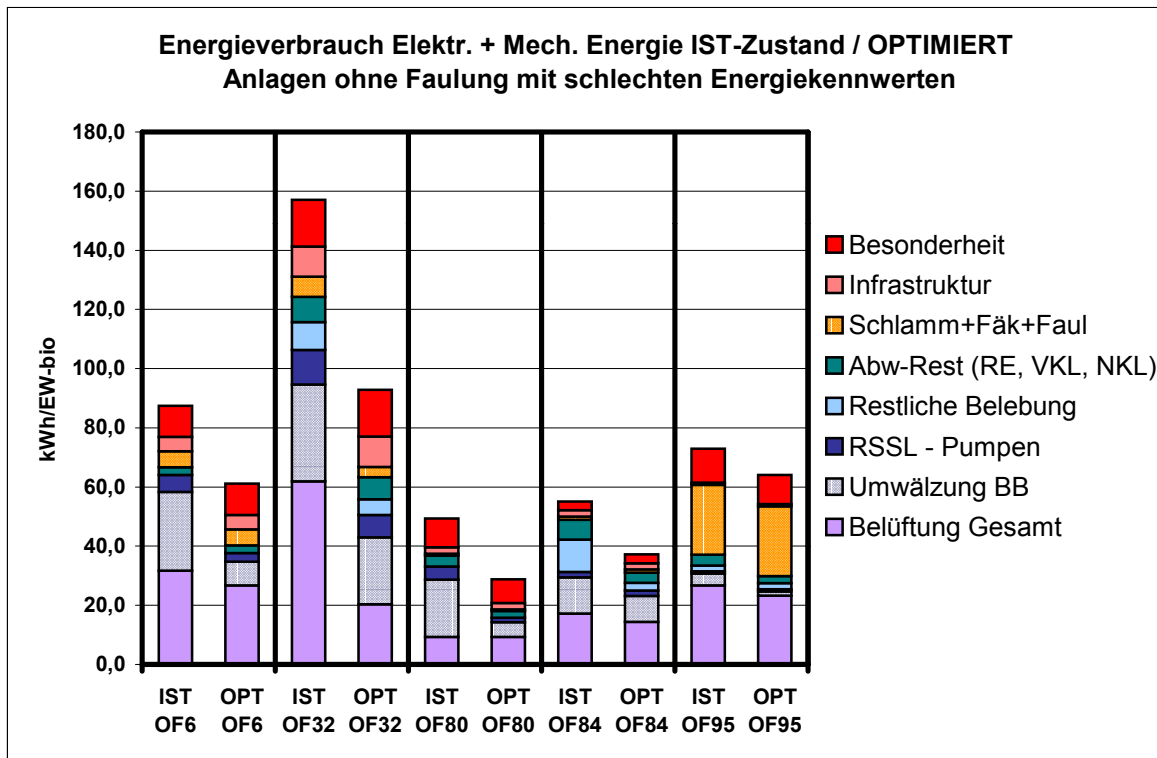
Die Genauigkeit der Energieverbräuche ist, da der Gesamtenergieverbrauch bei Anlagen ohne Faulung sehr genau über den Energiebezug kontrollierbar ist und die Zuordnung der Energie auf die einzelnen Verbrauchergruppen zum Teil durch Messungen nachgeprüft wurde, im Wesentlichen nur von der Richtigkeit der Belastungsermittlung (Bezugsgröße EW-bio) abhängig.

Die Anlagen OF91 und OF98 haben Mammutrotoren als Belüftungssystem mit Propellerumwälzung während der Stillstandszeiten der Mammutrotoren.

# A E C

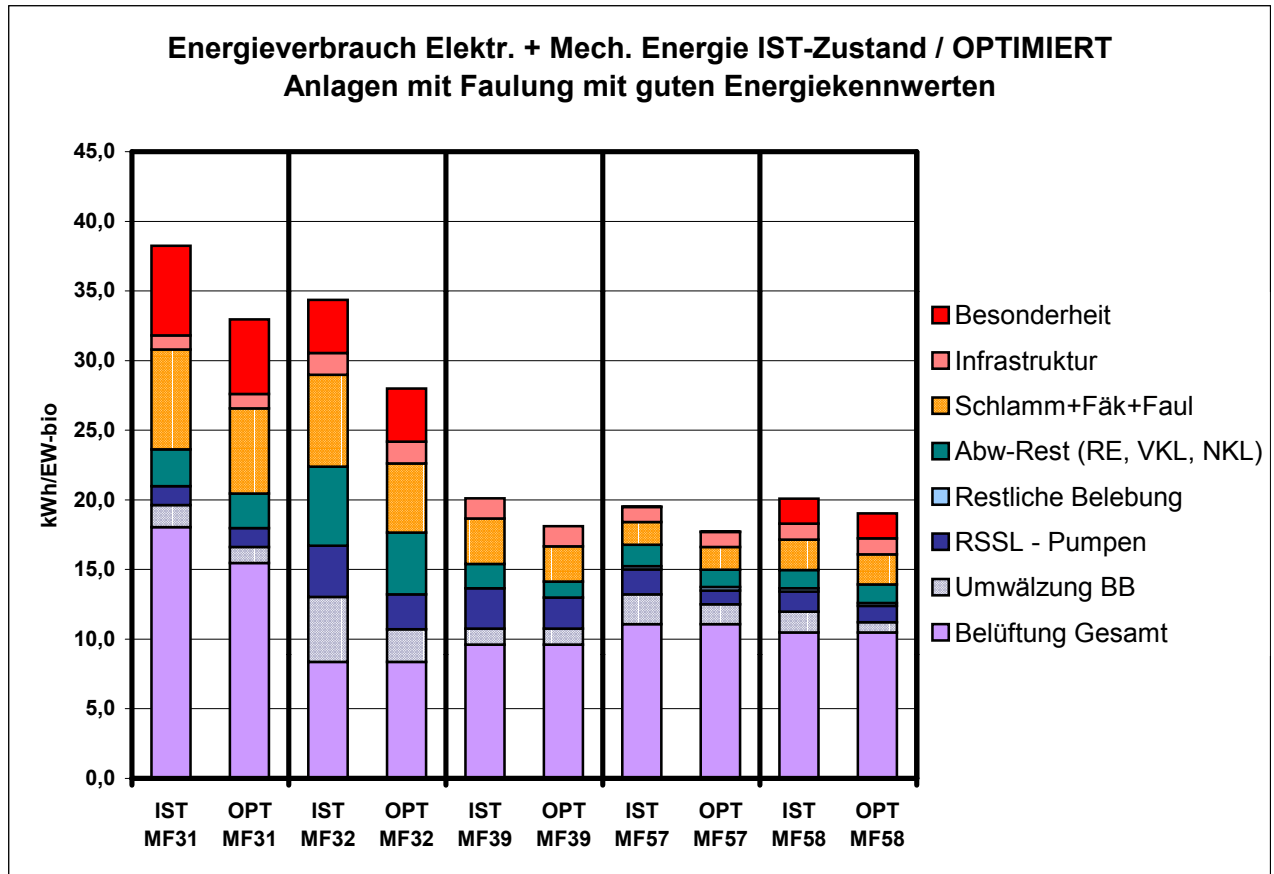
Automation - Energie - Consulting  
 Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

Bei den energiemäßig schlechteren Anlagen im folgenden Bild (man beachte den geänderten Maßstab) sind diese Sollwerte durch eine Optimierung aufgrund der vorhandenen Anlagenkonzeption nicht mehr erreichbar. Dies ist aber und das ist ausdrücklich hervorzuheben, meist nicht auf besondere naturgegebene Verhältnisse (Abwasserart, saisonale oder räumliche Besonderheiten, etc.) sondern auf die Anlagenkonzeption, technische Ausstattung oder auf eine sehr geringe Auslastung (mittlere Belastung bezogen auf die Größe der Anlage) zurückzuführen.



OF 95: Aerobe thermophile Schlammstabilisierung (ATS) im Segment Schlamm+Fäk+Faul enthalten.

## 8.1.2 Anlagen mit Faulung, Vergleich GUTE / SCHLECHTE



Die beiden Anlagen MF31 und MF32 haben kein BHKW und keinen Gasmotor, die Genauigkeit der Energieverbräuche konnte daher sehr genau über den Energiebezug ermittelt werden. MF57 nutzt das Klärgas größtenteils in Gasmotordirektantrieben für die Belüftung. Bei dieser Anlage ist deshalb keine direkte Messung der Belüftungsenergie und keine Kontrolle der Klärgasmenge über die erzeugte mechanische Energie möglich. MF39 nutzt das Klärgas gemeinsam mit Erdgas in einem BHKW, erzeugt die Druckluft in einem Turbogebläse dessen Energieaufnahme erfasst wird. MF58 hat insgesamt eine sehr gute Datenqualität und ist gut bilanzierbar.

Aus den elektro+mechanischen Energieverbräuchen der heute bereits energieeffizienten Anlagen aber noch weiter optimierten Anlagen kann man ersehen, dass unter günstigen Voraussetzungen bei Anlagen mit Faulung größer 40.000 EW-nom für Belüftung und Umwälzung der Biologie zusammengerechnet ca. 12 kWh/EW-bio und Jahr, für die gesamte Abwasserreinigung ca. 15 kWh/EW-bio und Jahr, und für die gesamte Standardkläranlage ca. 17 kWh/EW-bio und Jahr auch nach heutigem Stand der Technik erreichbar sind.

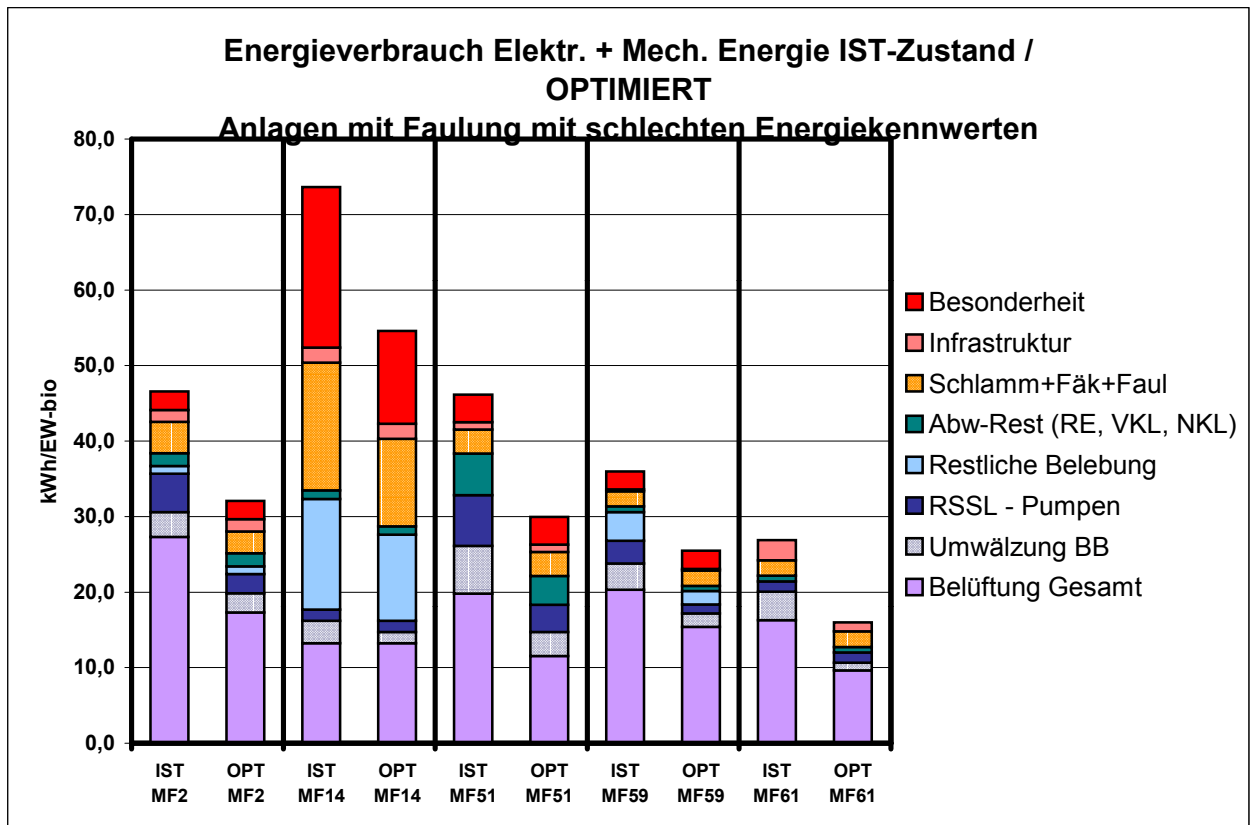


# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

Bei den energiemäßig schlechten Anlagen im folgenden Bild (man beachte den geänderten Maßstab) sind diese Sollwerte durch eine Optimierung aufgrund der vorhandenen Anlagenkonzeption meist nicht mehr erreichbar. Dies ist aber und das ist auch hier hervorzuheben, meist nicht auf besondere naturgegebene Verhältnisse (Abwasserart, saisonale oder räumliche Besonderheiten, etc.), sondern auf die Anlagenkonzeption, technische Ausstattung oder auf eine sehr geringe Auslastung (mittlere Belastung bezogen auf die Anlagengröße) zurückzuführen.

Dass bei MF51 und MF61 durch die Optimierung eine sehr effiziente Belüftung und Umwälzung erreicht wird, ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen Anlagen die Belüftung grundlegend optimiert wird.

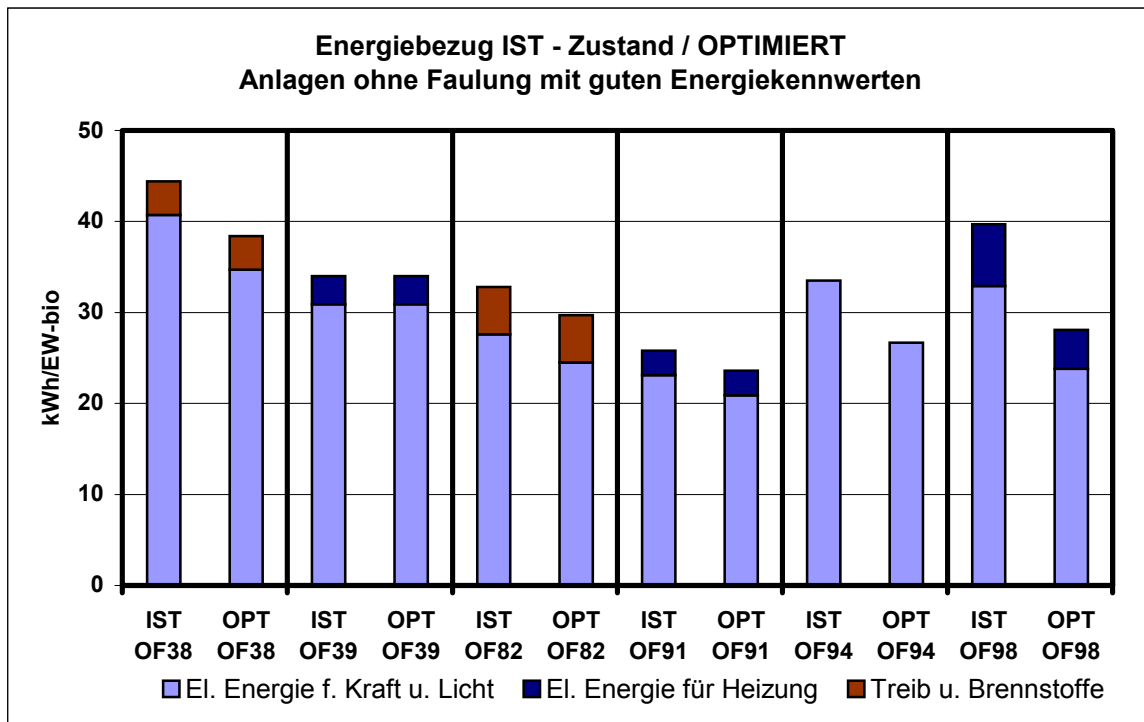


## 8.2 Energiebezug IST / OPTIMIERT

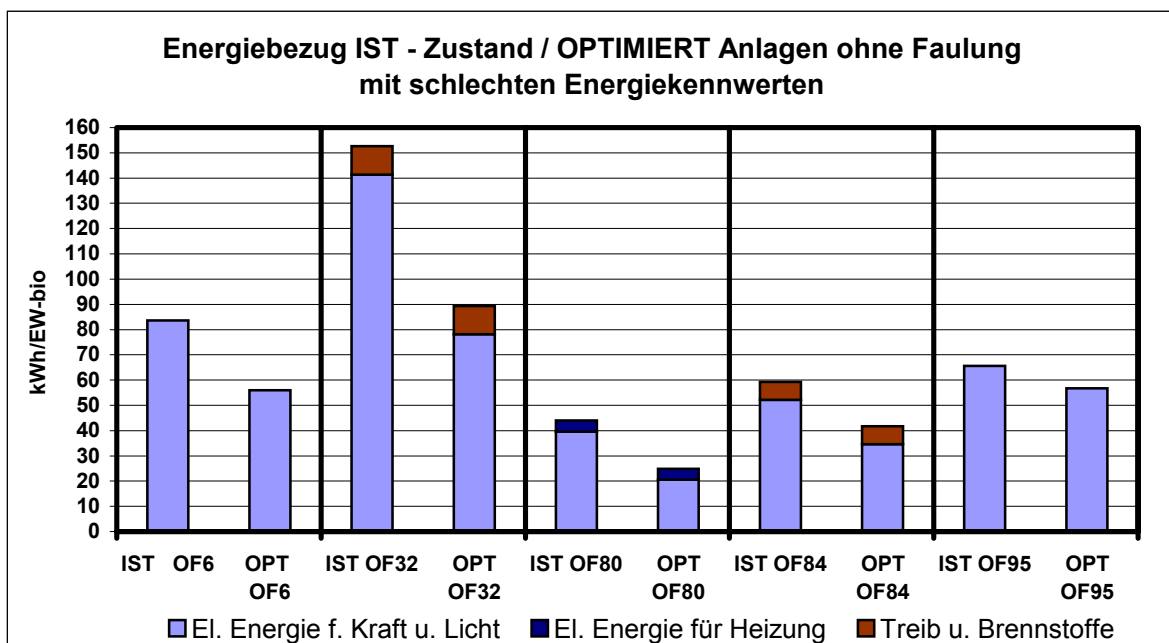
### 8.2.1 Anlagen ohne Faulung

Im Energiebezug der Anlagen ohne Faulung spiegelt sich der Energieverbrauch wider.

Selbst bei den energieeffizienten Anlagen ist oft noch eine Verbesserung möglich.



Man beachte den geänderten Maßstab bei den energiemäßig schlechteren Anlagen im folgenden Bild.



## 8.2.2 Anlagen mit Faulung

Die relativ kleinen Anlagen mit Faulung MF31 und MF32 sind hinsichtlich des elektro+mechanischen Energieverbrauches in Anbetracht ihrer Kleinheit den energieeffizienten Anlagen zugeordnet, nutzen das Klärgas aber nur im Heizkessel. Sie müssen deshalb den gesamten Verbrauch an elektrischer Energie von extern beziehen. Bei MF31 reicht das Klärgas für die Heizung alleine aus, MF32 muss zusätzlich fossile Brennstoffe zukaufen. In beiden Fällen wird relativ viel Klärgas ungenutzt über die Fackel verbrannt.

Bei MF 31 wurde als eine der Optimierungsmaßnahmen ein BHKW vorgesehen, bei MF32 wurde, wegen der deutlich kleineren Belastung, vorerst davon Abstand genommen.

Die Anlagen MF39, MF57, MF58 verwerten das Klärgas mittels BHKW bzw. Gasmotordirektantrieb. Bei den 3 Anlagen ist, obwohl sie bereits sehr energieeffizient sind, durch relativ kleine Investitionen doch noch etwas zu verbessern. Im optimierten Zustand würde die bereits heute sehr energieeffiziente Anlage MF58 in Summe nur ca. 6 kWh/EW-bio u. Jahr und davon ca. nur 1 bis 2 kWh/EW-bio u. Jahr an elektrischer Energie von extern beziehen müssen.

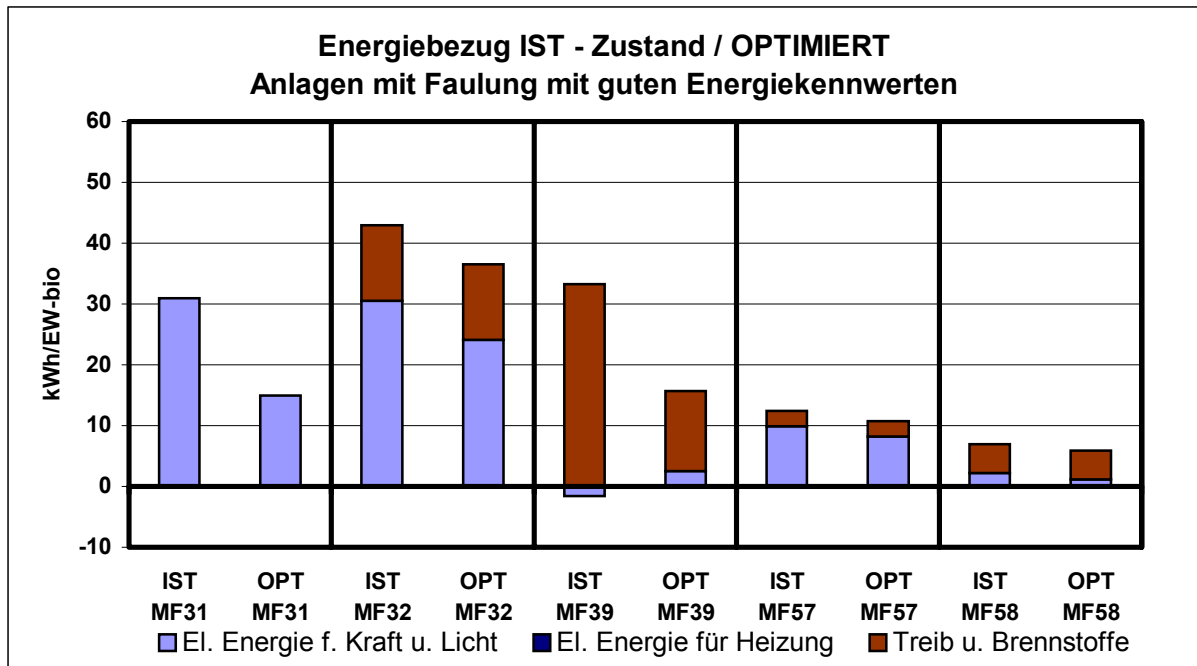
Die gleich große Anlage MF57 ist in der Energieoptimierung eingeschränkt, da für die Belüftung der Belebung fast ausschließlich Gasmotordirektantriebe eingesetzt werden und damit eine weitergehende Optimierung der Belüftung nicht möglich ist, solange der Betrieb an dieser Nutzungsstrategie festhält.

Die Anlage MF39 ist ca. nur halb so groß wie die beiden anderen und hat deshalb einen etwas höheren Energieverbrauch als z.B. MF58. Wegen der relativ großen Leistung des vorhandenen BHKW's ist die Anlage verleitet relativ viel Erdgas zusätzlich zum Klärgas zu verstromen, obwohl die anfallende Wärme nicht in voller Menge benötigt wird.

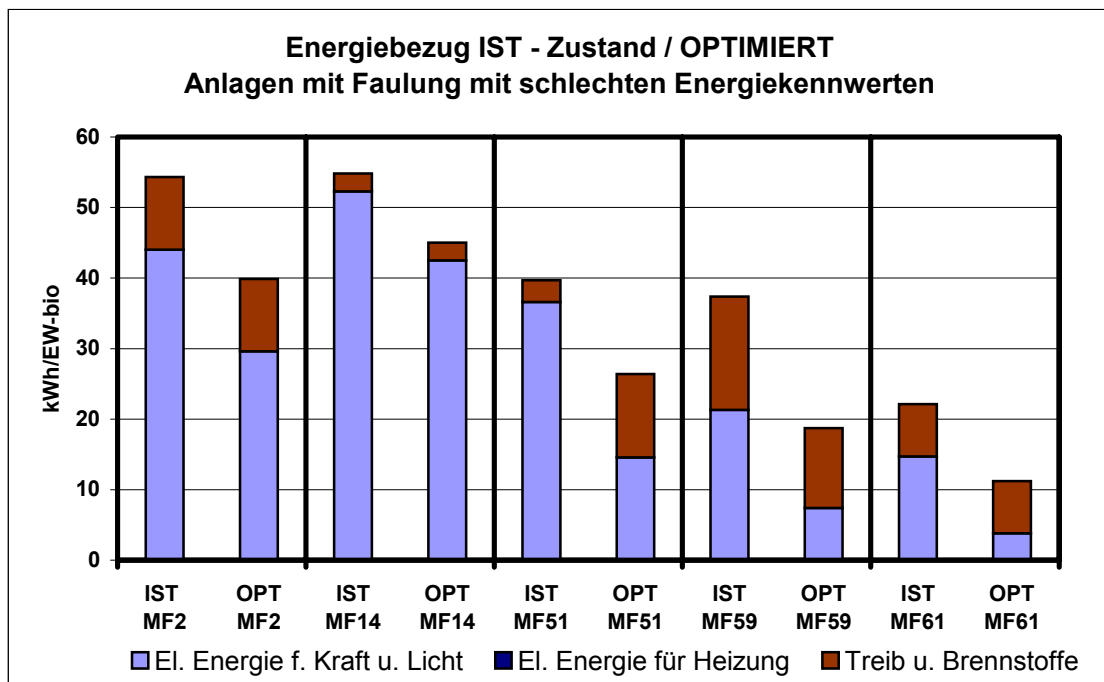
Bei Anlagen mit Faulung ist anzumerken, dass der Energiebezug als Differenz zwischen Verbrauch und Eigenerzeugung, wie im Abschnitt 2.2 ausgeführt, stark vom anfallenden Klärgas und damit von der Abscheidewirkung der Vorklärung sowie von der Abwasserzusammensetzung abhängt. Deshalb lässt sich für den Energiebezug einer Anlage mit Faulung, so wünschenswert es auch wäre, auch nicht ein einfacher und allgemeingültiger Kennwert angeben. Man kann aber fordern, dass eine Anlage mit Faulung maximal an elektrischer Energie maximal 10 kWh/EW-bio u. Jahr und an Gesamtenergie maximal 15 kWh/EW-bio u. Jahr beziehen soll. Bei vielen Anlagen mit Faulung sind wesentlich bessere Werte möglich.

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
 Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

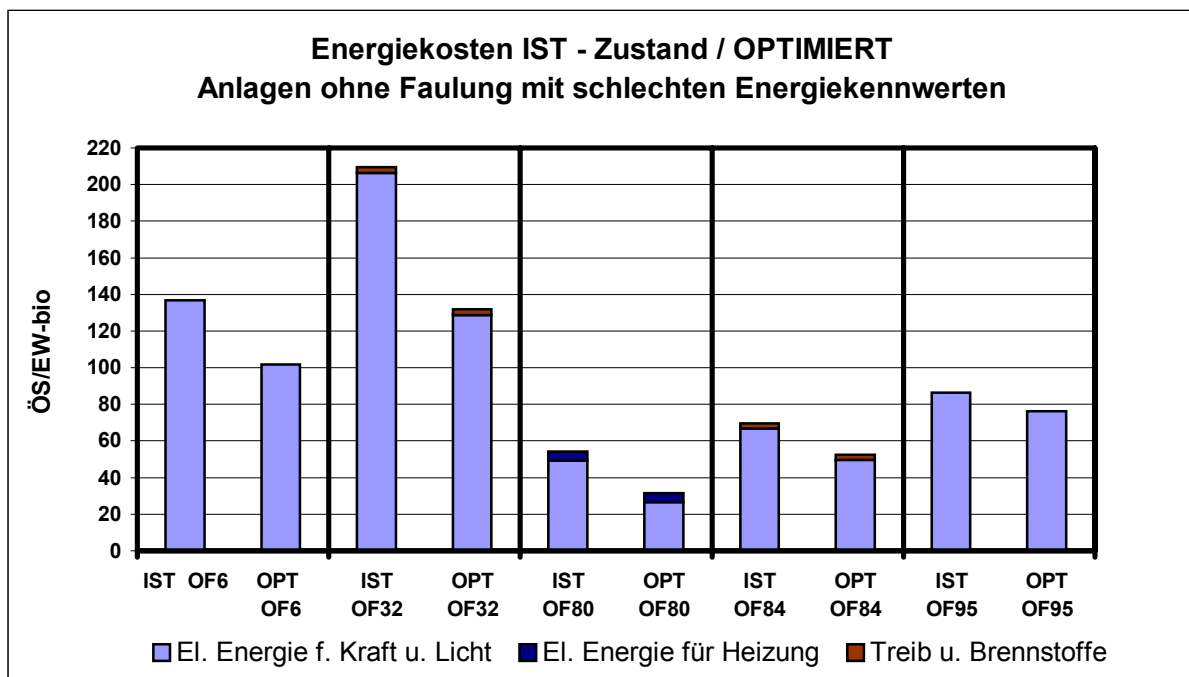
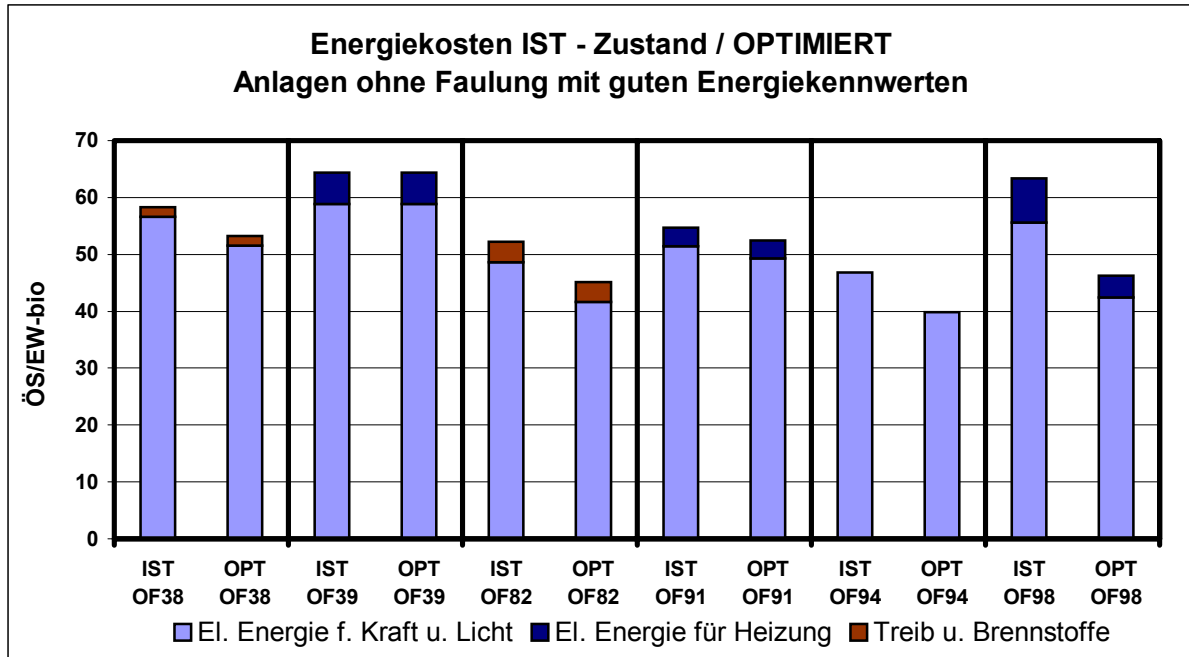


Die Anlagen MF2, MF14 nutzen das Klärgas nur im Heizkessel, MF 51 hat eine sehr energieintensive Oberflächenbelüftung.

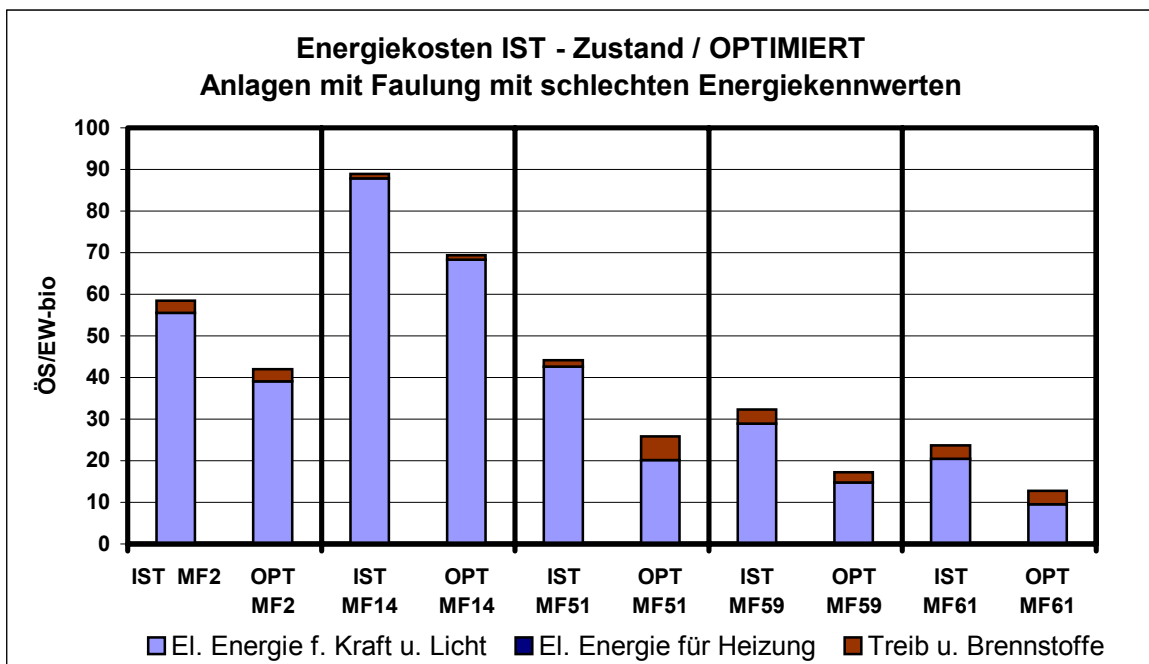
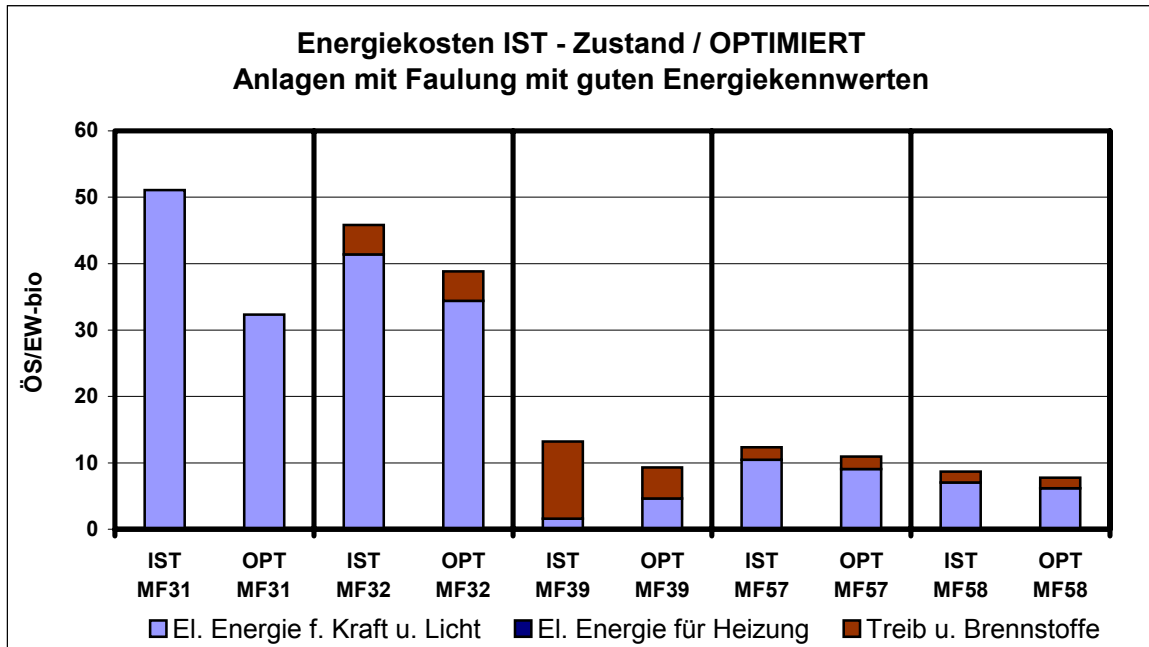


## 8.3 Energiekosten der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT

### 8.3.1 Anlagen ohne Faulung



## 8.3.2 Anlagen mit Faulung



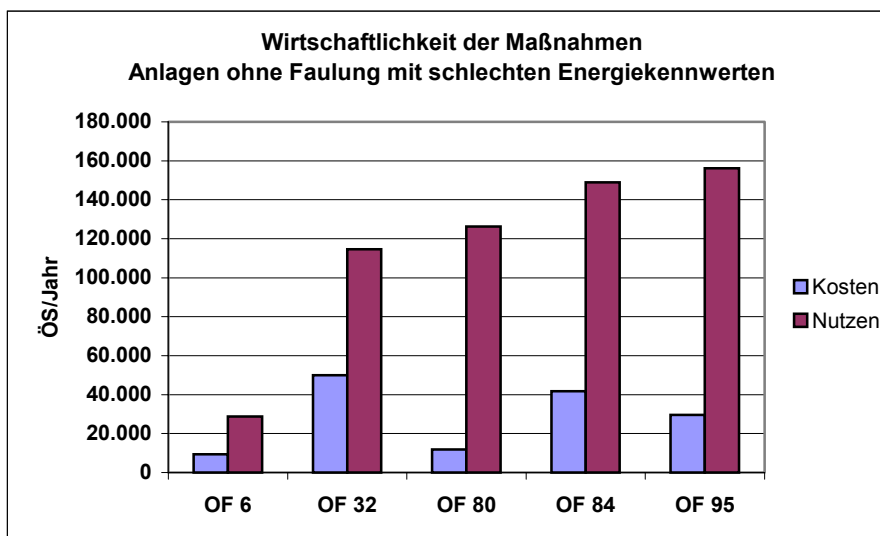
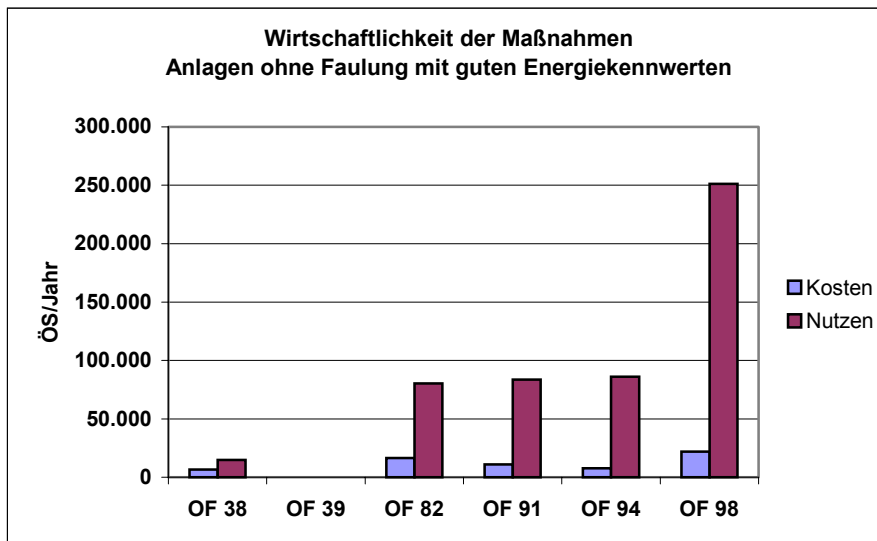
## 8.4 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen

Der jährliche Nutzen wurde aus den Energiekosteneinsparungen und sonstigen betrieblichen Einsparungen ermittelt. Die jährlichen Kosten setzen sich aus den Kapitalkosten (Zinssatz 7 %, Nutzungsdauer 15 Jahre) der zusätzlich notwendigen Energieinvestitionen und den zusätzlichen Unterhaltskosten (diverse Reparaturarbeiten) zusammen.

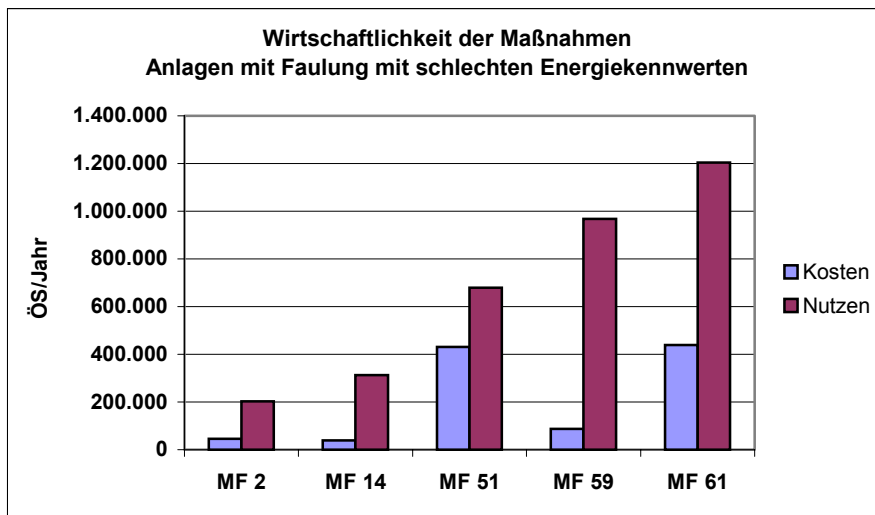
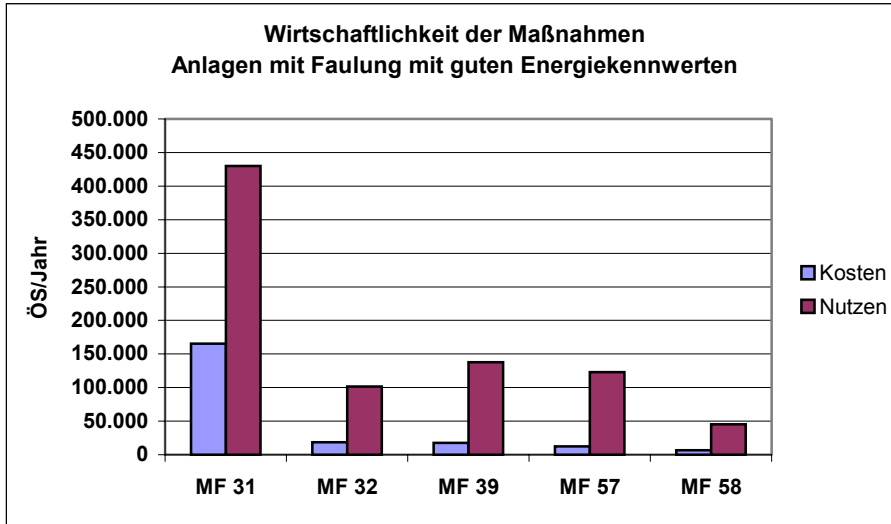
Sind die gesamten Kosten geringer als die Einsparungen, resultiert daraus Kosten/Nutzen-Faktor (K/N) von kleiner als 1 und ein betriebswirtschaftlicher Gewinn (Differenz zwischen Jahresnutzen und Jahreskosten entspricht dem Jahresgewinn). Die Umsetzung der Maßnahme ist in diesem Fall wirtschaftlich sinnvoll.

Man ersieht aus den folgenden Diagrammen, dass die Summe der für die jeweilige Anlage vorgeschlagenen Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll ist, was auch nicht wundert, da ja jede einzelne Maßnahme nur dann vorgeschlagen wurde, wenn sie für sich alleine auch sinnvoll war.

### 8.4.1 Anlagen ohne Faulung



## 8.4.2 Anlagen mit Faulung

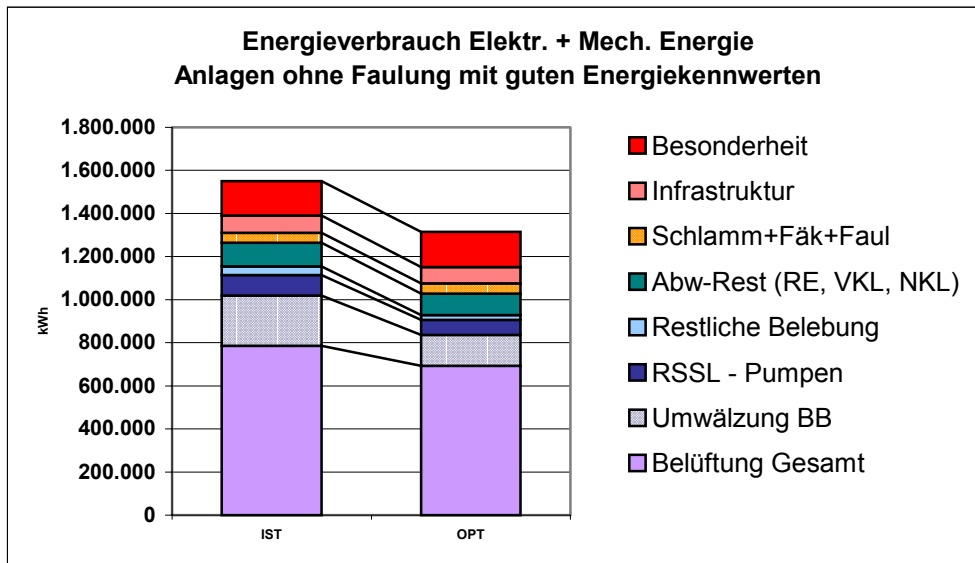




## 9 ERGEBNIS IN DEN 4 KATEGORIEN OF, MF, jeweils GUT/SCHLECHT

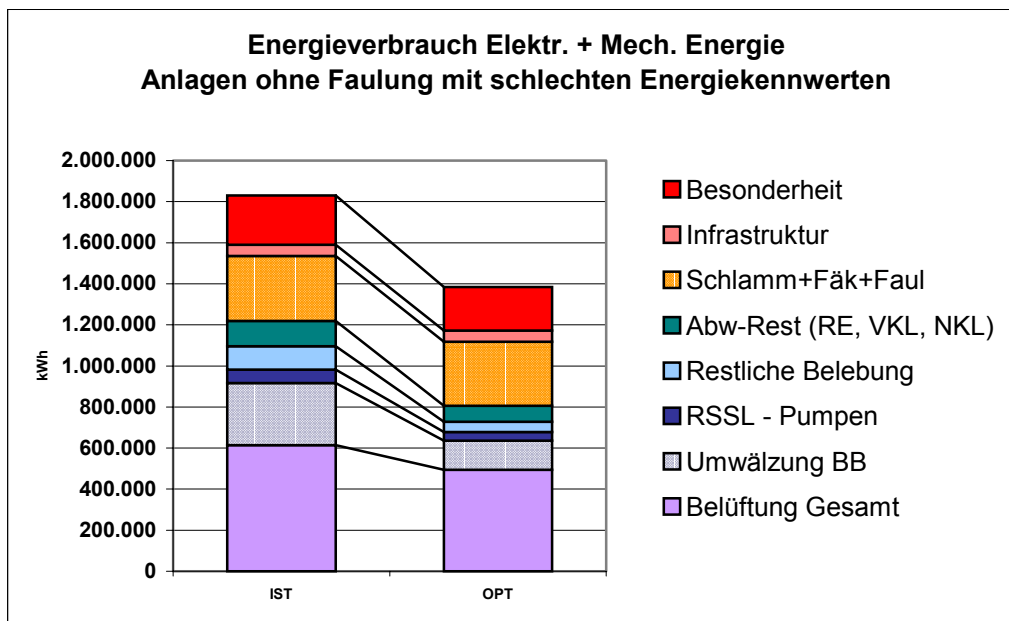
### 9.1 Energieverbrauch IST / OPTIMIERT

#### 9.1.1 Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6 Stk)



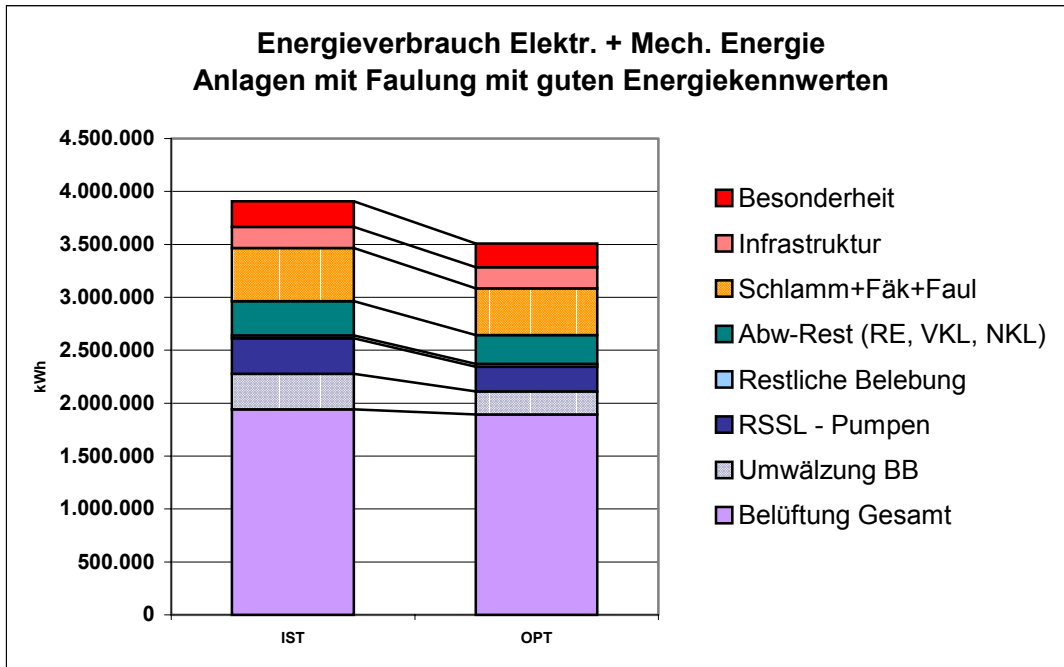
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der elektro+motorische Energieverbrauch der 6 Gesamtanlagen inklusive Sonderverbraucher 1.550.000 kWh auf 1.314.000 kWh (-15 %).

#### 9.1.2 Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk)



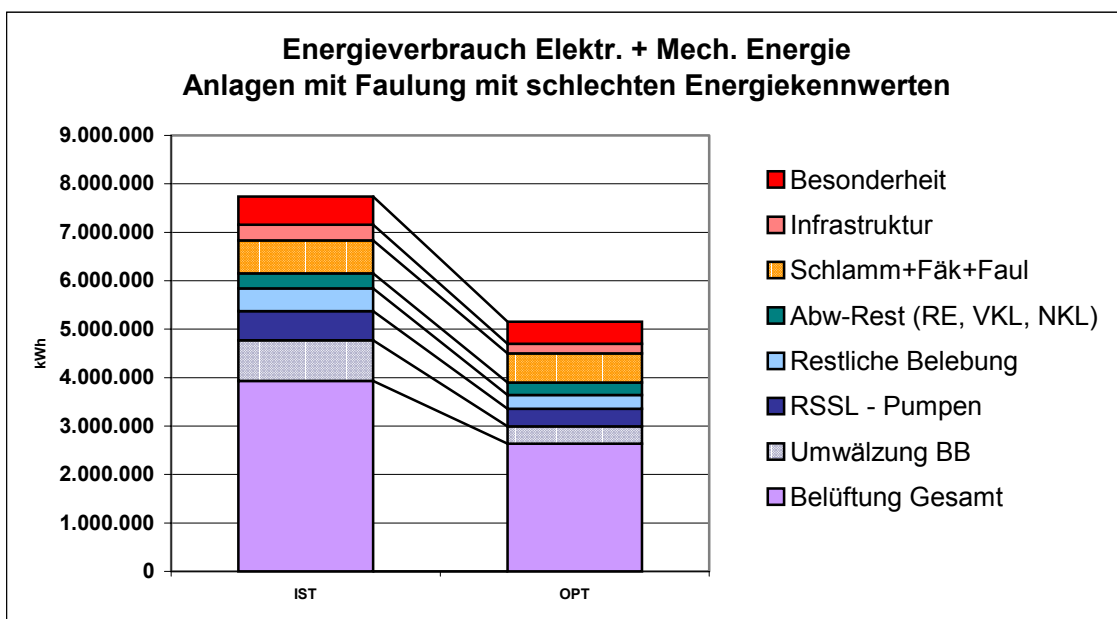
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der elektro+motorische Energieverbrauch der 5 Anlagen inklusive Sonderverbraucher von 1.831.000 kWh auf 1.385.000 kWh (-24 %).

### 9.1.3 Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk)



Durch vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der elektro+motorische Energieverbrauch der 5 Anlagen inklusive Sonderverbraucher von 3.908.000 kWh auf 3.507.000 kWh (-10 %).

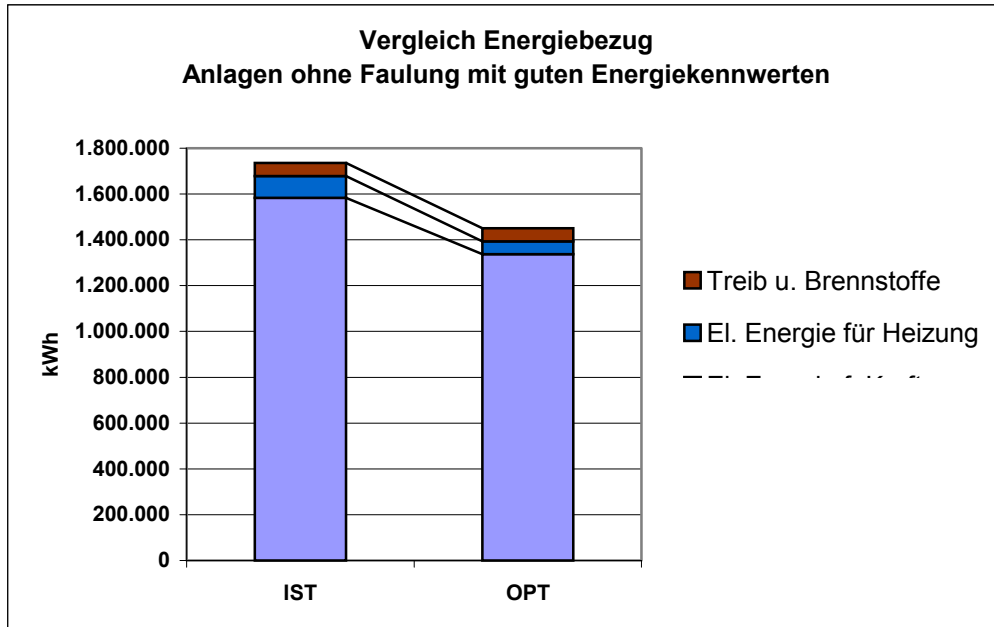
### 9.1.4 Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk)



Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der elektro+motorische Energieverbrauch der 5 Anlagen inklusive Sonderverbraucher von 7.735.000 kWh auf 5.156.000 kWh (-33 %).

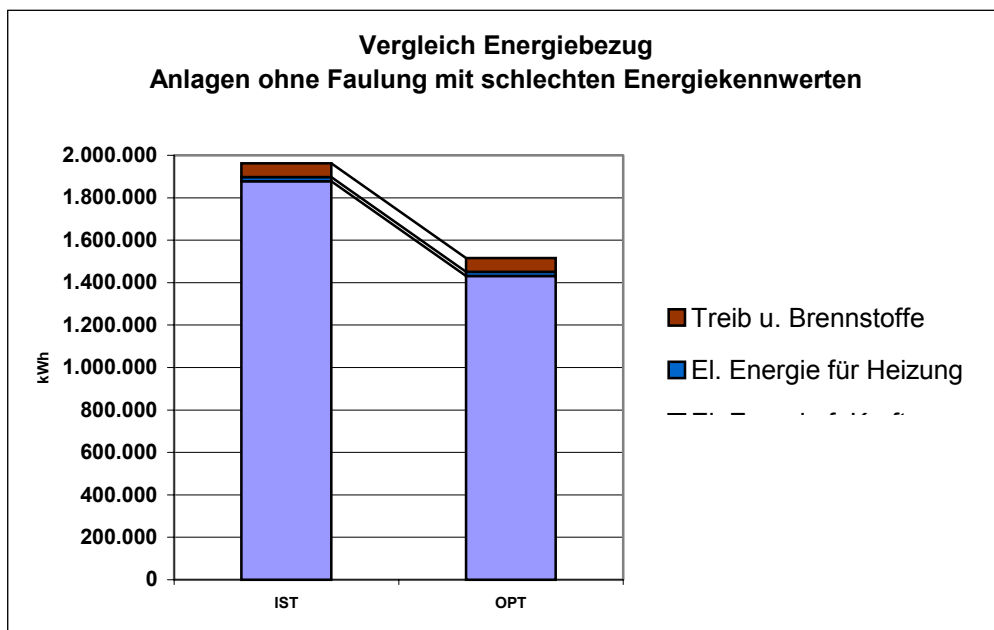
## 9.2 Energiebezug der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT

### 9.2.1 Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6 Stk)



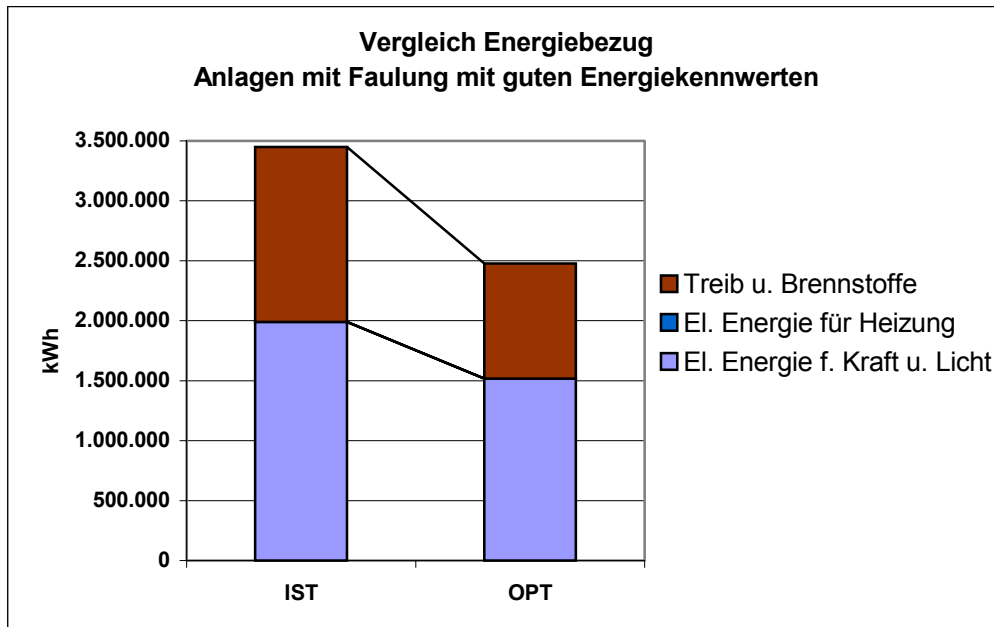
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der Gesamtenergiebezug der 6 Anlagen inklusive Sonderverbraucher von 1736.000 kWh auf 1.450.000 kWh pro Jahr (-16 %).

### 9.2.2 Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk)



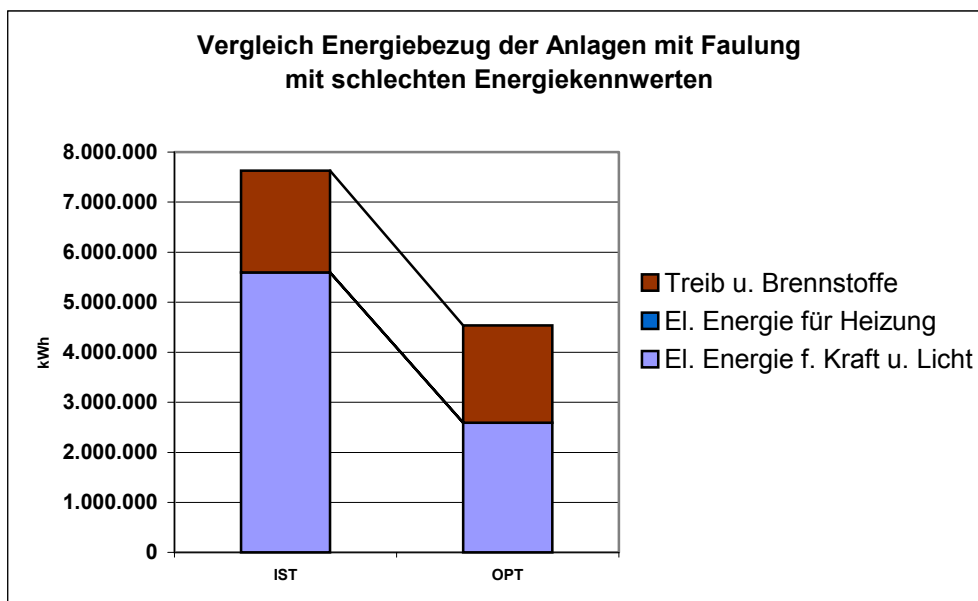
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringert sich der Gesamtenergiebezug der 5 Anlagen inklusive Sonderverbraucher von 1.962.500 kWh auf 1.515.000 kWh pro Jahr (-23 %).

## 9.2.3 Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk)



Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich für die 5 Anlagen inkl. Sonderverbraucher der Gesamtenergiebezug von 3.449.000 kWh auf 2.477.000 kWh pro Jahr (-28 %) und der Bezug an elektrischer Energie von 1.989.500 kWh auf 1.517.00 kWh pro Jahr (-24 %).

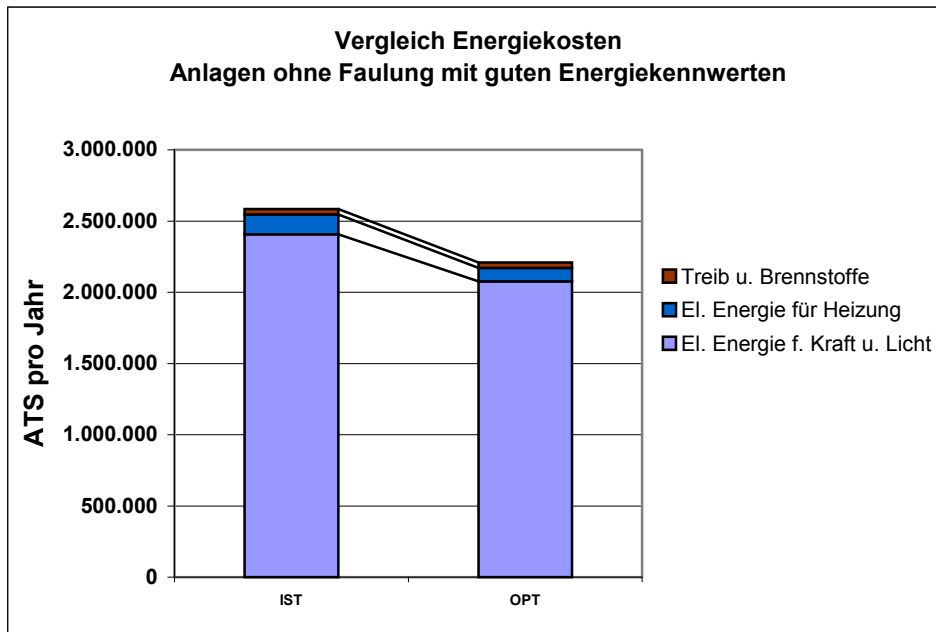
## 9.2.4 Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten ( 5 Stk)



Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich für die 5 Anlagen inkl. Sonderverbraucher der Gesamtenergiebezug von 7.630.000 kWh auf 4.536.000 kWh pro Jahr (-41 %) und der Bezug an elektrischer Energie von 5.596.000 kWh auf 2.595.00 kWh pro Jahr (-54 %).

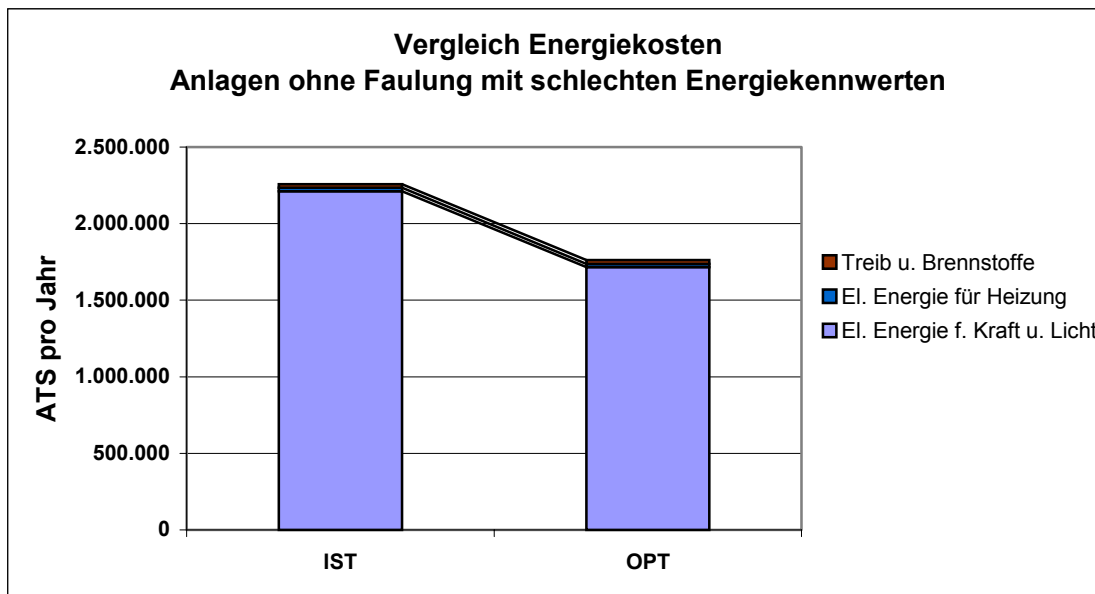
## 9.3 Energiekosten der Gesamtanlage IST / OPTIMIERT

### 9.3.1 Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6Stk)



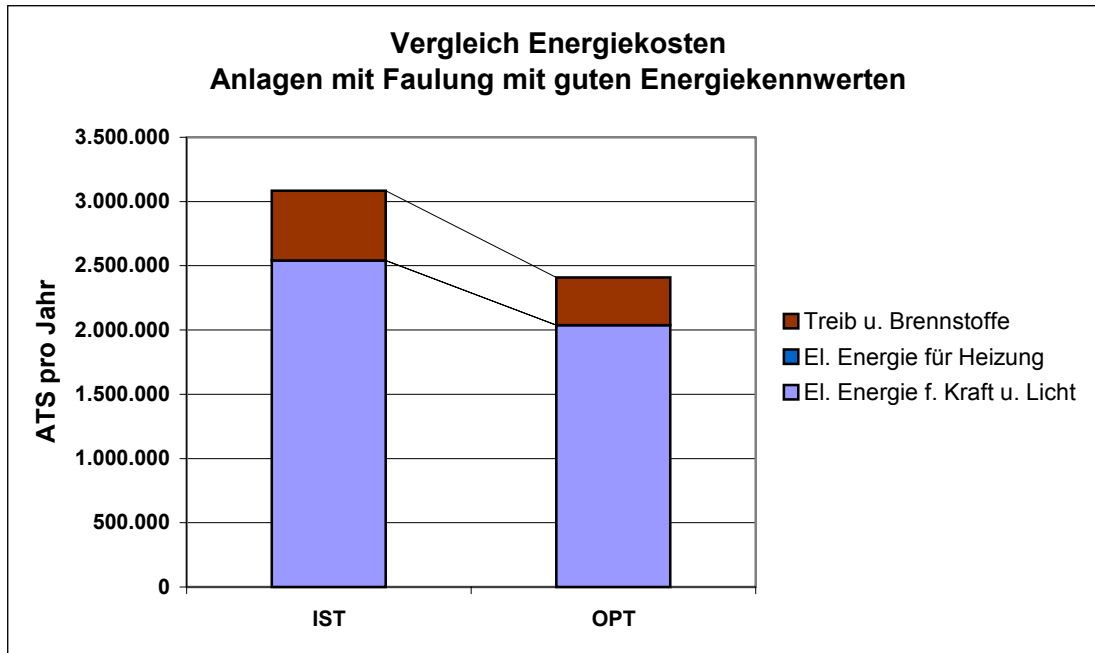
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich die Gesamt-Energiekosten ohne USt. der 6 Anlagen inkl. Sonderverbraucher von 2.584.000 ATS auf 2.209.000 ATS pro Jahr ( -15 %).

### 9.3.2 Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5Stk)



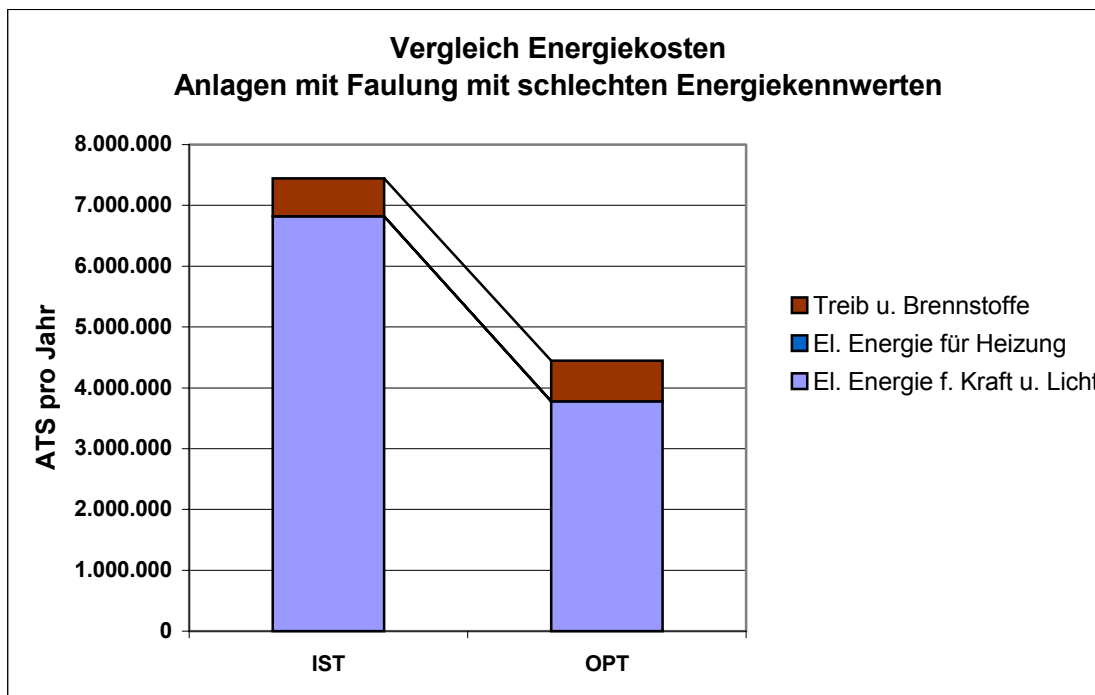
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich die Gesamt-Energiekosten ohne USt. der 5 Anlagen inkl. Sonderverbraucher von 2.257.500 ATS auf 1.762.000 ATS pro Jahr ( -22 %).

### 9.3.3 Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk)



Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich die Gesamt-Energiekosten ohne USt. der 5 Anlagen inkl. Sonderverbraucher von 3.084.000 ATS auf 2.408.000 ATS pro Jahr ( -22 %).

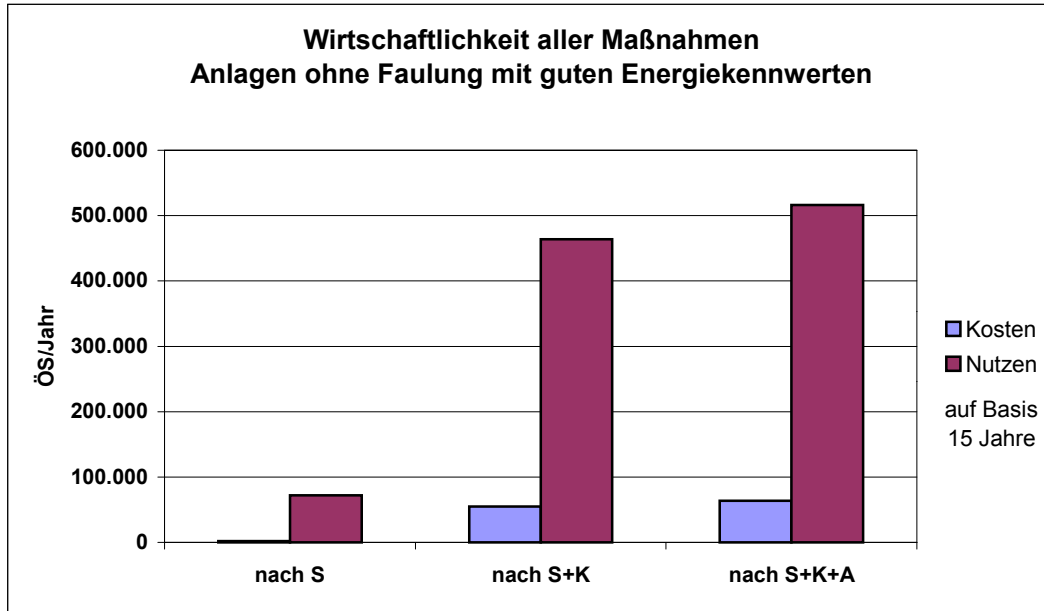
### 9.3.4 Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5Stk)



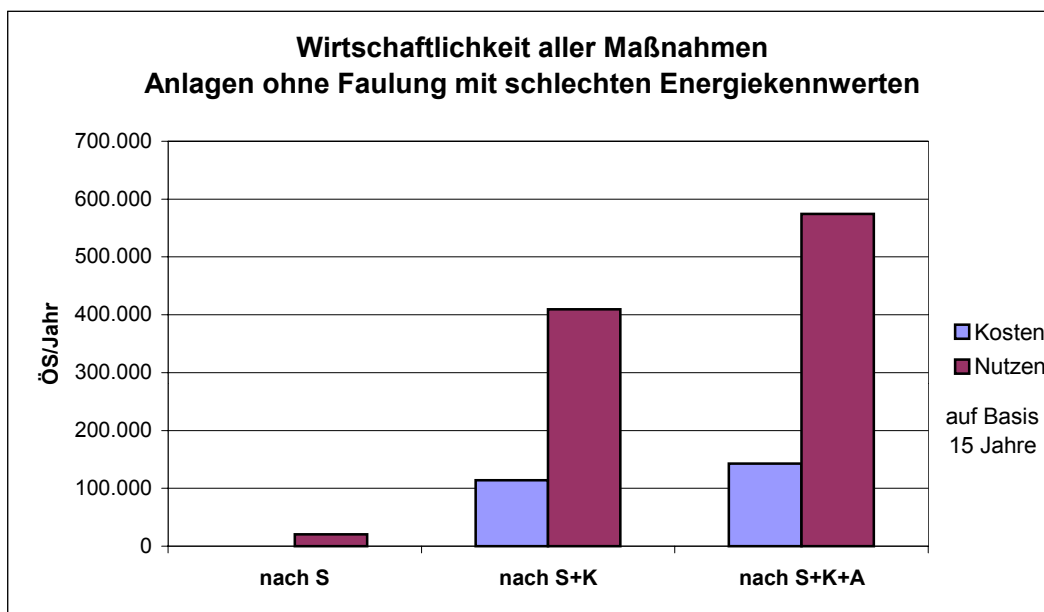
Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verringern sich die Gesamt-Energiekosten ohne USt. der 5 Anlagen inkl. Sonderverbraucher von 7.445.5000 ATS auf 4.447.000 kWh pro Jahr ( -40 %).

## 9.4 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen

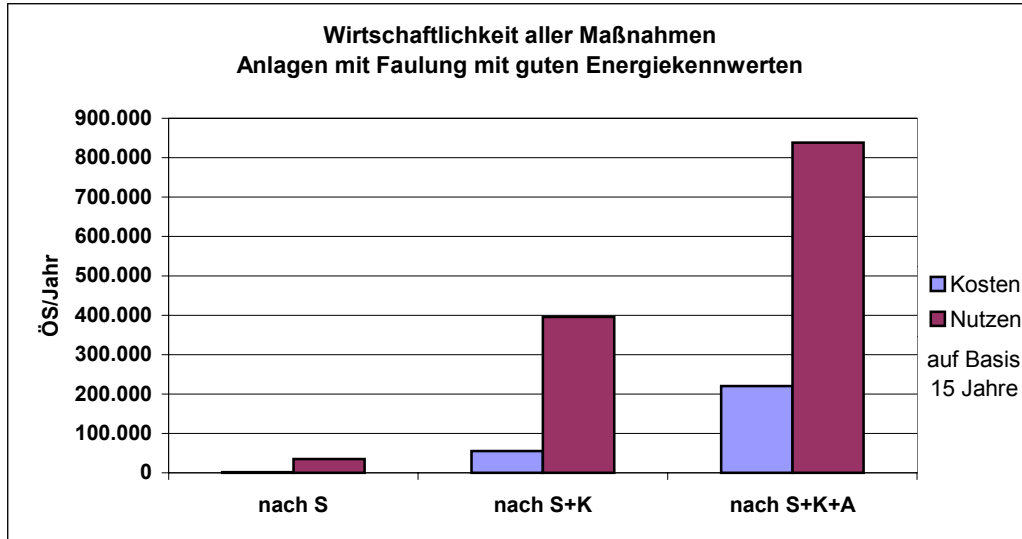
### 9.4.1 Anlagen ohne Faulung mit guten Energiekennwerten (6Stk)



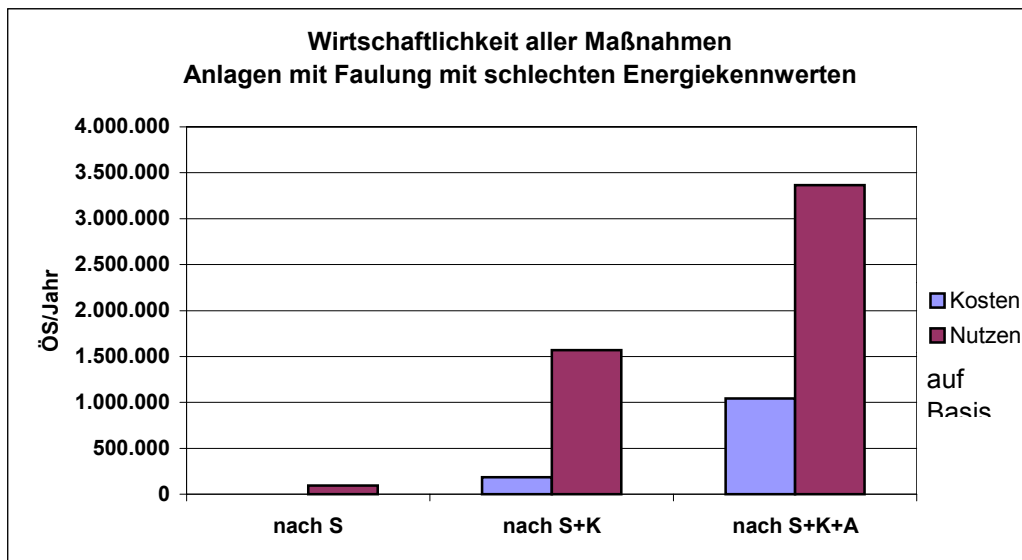
### 9.4.2 Anlagen ohne Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk)



### 9.4.3 Anlagen mit Faulung mit guten Energiekennwerten (5 Stk)



### 9.4.4 Anlagen mit Faulung mit schlechten Energiekennwerten (5 Stk)





## 10 SOLLWERTE FÜR DEN ENERGIEVERBRAUCH

Ausgehend von den durch die vorgeschlagenen Maßnahmen verbesserten Energiewerten, der bereits vor der Optimierung energetisch guten 8 Anlagen der Detailanalyse, wurden durch Quervergleich der Daten und theoretische Überlegungen die folgenden Sollwerte für den Energieverbrauch ermittelt.

Diese Sollwerte gelten für Standardkläranlagen (ohne Sonderverbraucher) nach dem Belebtschlammverfahren, die hinsichtlich der Reinigungsleistung dem heutigen Stand der Technik entsprechen.

Man kann davon ausgehen, dass diese Sollwerte in der Praxis erreichbar sind, wenn bereits auch bei der Planung der Anlage auf Energieeffizienz geachtet wurde und eine energiesparende Betriebsweise verfolgt wird. Sie lassen sich bei energetisch optimalem Konzept, Dimensionierung und Ausstattung vermutlich sogar noch unterbieten.

Bei bestehenden energetisch schlechten Anlagen sind aber diese Sollwerte durch nachträgliche Sanierungsmaßnahmen aufgrund der vorhandenen Gegebenheiten oft nicht mehr mit wirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen erreichbar.

Bei den Anlagen ohne Faulung wurden, entsprechend den zur Verfügung stehenden für diese Zwecke geeigneten Anlagen, die Sollwerte für die Ausbaugröße ca. 5.000 und 20.000 EW-nom ermittelt. Man kann davon ausgehen, dass bei Anlagen größer 20.000 EW-nom die Sollwerte noch geringfügig fallen.

Die Werte bei der Anlage mit 5.000 EW-nom sind in zarter Schrift, weil diese Richt-Sollwerte wesentlich unsicherer sind als die der größeren Anlagen. Dies liegt vor allem daran, dass die Anlagenbelastung bei den 2 zur Verfügung stehenden Anlagen nicht genau eingegrenzt werden konnte und der spezifische Energieverbrauch bei Anlagen kleiner 10.000 EW-nom rapide ansteigt.

Bei den Anlagen mit Faulung wurden für die Ausbaugröße ca. 40.000 und 100.000 EW-nom Sollwerte ermittelt.

<b>ENERGIEVERBAUCH DER ARA in kWh/EW-bio und Jahr</b>	<b>OHNE FAULUNG</b>		<b>MIT FAULUNG</b>	
<b>Ausbaugröße in EW-nom</b>	5.000	20.000	40.000	100.000
	RICHT	SOLL	SOLL	SOLL
<b>ELEKTRO+MECHAN. ENERGIE</b>				
Mech.Vorreinigung (inkl.bel.Sandfang) b)	2	1	0,7	0,5
Vorklärung	-	-	0,2-	0,2
Belüftung der Belebung a)	14	12	10,5	10
Umwälzung der Belebung	6	4	1,4	1,2
RLS-Pumpen	1,3	1	1,0	1,0
Nachklärung	0 *)	0,6	0,5	0,4
Schlammbehandl. u. Entwässerung c)	1,2	1,2	2,8	2,2
Infrastruktur	3	1,2	1,4	1,0
<b>Standardkläranlage (ARA)</b>	<b>27,5</b>	<b>21,0</b>	<b>18,5</b>	<b>16,5</b>
*) Trichterb. ohne Räumern				
Anmerkungen zur elektr+mechan. Energie:				
a) Obiger Wert gilt für N/CSB = 0,1				
Wenn N/CSB = 0,11	+1	+1	+1	+1
Wenn N/CSB = 0,07	-2	-2	-3	-3
b) Wenn Sandfang nicht belüftet	-1,5	-0,7	-0,6	-0,4
c) Wenn Schlamm nicht entwässert	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8
<b>WÄRMEENERGIE:</b>				
<b>Aus Elektroheizung</b>	2 – 4	2 – 3	<b>Hauptsächlich Faulung</b>	
<b>Aus Heizung mit Brennstoffen</b>	3 - 6	3 - 5		

Der im oberen Teil der Tabelle angegebene Energieverbrauch für die Belüftung und für die ARA gilt für Abwasser mit einem N/CSB-Verhältnis von 0,1 und einer dem Stand der Technik entsprechenden Nitrifikation und Denitrifikation.

Richtwerte zur Abschätzung des Einflusses des N/CSB-Verhältnisses sind im unteren Tabellenteil angegeben, ebenso der Einfluss eines Sandfanges ohne Belüftung oder wenn die Anlage gänzlich ohne Schlammwässerung auskommt.

Obwohl eine hydraulische Überlastung der Kläranlage schwerwiegende Probleme bereiten kann und aus diesem Grund der Minimierung des Fremdwasseranteils große Bedeutung zukommt, hat die hydraulische Belastung der Anlage, hier ausgedrückt durch EW-hyd, nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energieverbrauch der ARA. So wirkt sich bei einer energieeffizienten Anlage z.B. eine 2-fache Abwassermenge bei gleich bleibenden Frachten (halbe Zulaufkonzentration) maximal mit 1 bis 1,5 kWh/EW-bio u. Jahr verbrauchserhöhend aus.

Die hydraulische Belastung wirkt sich aber direkt im Energieverbrauch von Abwasserhebwerken und Kanalpumpwerken aus, die energetisch allerdings als Sonderverbraucher behandelt werden und nicht zur Standardkläranlage gehören. Zur Abschätzung des Energieverbrauchs derartiger Abwasserhebwerke kann man davon ausgehen, dass 1 kWh elektrische Energie 200 m<sup>3</sup> Wasser 1 m hoch heben kann.

## 11 WESENTLICHE URSACHEN FÜR SCHLECHTE ENERGIEEFFIZIENZ

Die Detailuntersuchungen haben folgende wesentliche Ursachen für schlechte Energieeffizienz erkennen lassen. Hinweise dazu für jede einzelne Anlage finden sich in der stichwortartigen Auflistung der Maßnahmen in den Tabellen von Abschnitt 7.1 und den Berichtsteil B.

- **Planung der Anlage:** Die Planung (Auslastung der Anlage, Verfahrenskonzept, Anpassbarkeit u. Ausstattung) hat einen sehr großen Einfluss auf die Energieeffizienz der Kläranlage. Änderungen sind oft später technisch nicht mehr möglich oder wegen der hohen Änderungskosten nicht wirtschaftlich. Nahezu alle der im Folgenden genannten Punkte werden durch die Planung vorgegeben oder zumindest beeinflusst.
- **Betrieb der Anlage:** Bei der Inbetriebnahme der Kläranlage erwacht diese quasi zum Leben und Stärken und Nachteile beginnen zu wirken. Es ist eine wichtige Aufgabe des Betriebes die Nachteile möglichst zu beseitigen oder wenigstens auszugleichen. Bei den energieeffizienten Anlagen war kennzeichnend, dass nicht nur offensichtlich bereits die entsprechende Planung eine energiemäßig gute Anlage geschaffen hat, sondern dass diese, dank engagierter und kompetenter Betriebsleiter, seither während der Betriebsphase häufig durch technische Anpassungen noch weiter verbessert wurde. Eine gute Führung des Betriebes hat immer auch mit der Suche und Umsetzung von Verbesserungen, also mit Optimierung zu tun. Um dabei rasche und bestmögliche Ergebnisse zu erreichen, ist es notwendig, wenigstens zeitweise, fachmännische Unterstützung von extern in Anspruch zu nehmen, z.B., um durch eine Energieanalyse das Verbesserungspotential zu ermitteln und offensichtliche Verbesserungsmöglichkeiten aufzuspüren. Wichtig ist dies vor allem rechtzeitig vor Planungsbeginn von Änderungen oder Erweiterungen und zum Start eines Optimierungsprojektes.
- **Belüftung der Belebung:** Gründe für einen zu hohen Energiebedarf können sein:
  - Von vorneherein ineffizientes Belüftungssystem
  - Ineffizient gewordenes Belüftungssystem (verstopfte oder zerrissene Belüfter)
  - Schlechte Regelung (Konzept, Reglerparameter, Sollwerte)
  - Zu geringe Anpassung oder schlechte Effizienz in Schwachlastzeiten.
- **Umwälzung der Belebung inklusive etwaiger Denitrifikationsbecken und Selektoren:** In vielen Fällen sind die umzuwälzenden Volumina für die vorhandene Belastung zu groß, oft ist die installierte oder die im Betrieb vorhandene spezifische Umwälzleistung deutlich größer als notwendig. Es ist, abhängig von der Art des Belebungsbeckens und der Belüftung, auch nicht immer notwendig die Umwälzung auch während der Belüftungsphasen laufen zu lassen.

- **Rezirkulationspumpen:** Aufgrund der großen umzuwälzenden Mengen bei vorgeschalteter Denitrifikation ist es äußerst wichtig bei der Rezirkulation auf minimale Förderhöhen (statische Höhe, Leitungslänge, Leitungsquerschnitte und Umlenkungen) zu achten. Am besten sind diesbezüglich Querpropeller zwischen direkt aneinandergrenzenden Becken. Die Fördermenge sollte dem Bedarf energieeffizient anpassbar sein. Besonders problematisch sind Anlagenerweiterungen mit Rezirkulation, da dann oft ein günstiges Anlagenlayout kaum mehr zu finden ist.
- **Rücklaufschlammumpwerke:** Auf minimale Förderhöhe achten, die Fördermenge sollte energieeffizient anpassbar sein. Die Kombination des Rücklaufschlammumpwerks mit einem Abwasserhebewerk ist energiemäßig meist ungünstig, da nicht jedes für sich alleine hinsichtlich Förderhöhe, Fördermenge und Anpassbarkeit optimiert werden kann.
- **Sandfangbelüftung:** Ist meist zu intensiv, da die Gebläse oft mit zu großer Sicherheit ausgelegt werden und sich später meist niemand um eine Anpassung kümmert.
- **Nutzwasserverschwendung:** Große Wassermengen bezogen aus einem Leitungssystem mit hohem Druck verbrauchen viel Pumpenergie. Werden große Wassermengen, z.B. für das permanente Besprühen von Becken oder für die Kühlung des Gasmotors oder BHKW's benötigt, so sollten diese mengenmäßig minimiert bzw. möglichst aus einem System mit für die Anwendung angepassten, kleinstmöglichen Druck kommen.
- **Luftabsaugungen (Biofilter):** Ist bei einigen Anlagen ein großer Sonderverbraucher. Sollte möglichst vermieden werden. Eventuell kann der Betrieb nur zeitweise erfolgen. Wenn permanent notwendig, dann besonders effizient konzipieren.
- **Energiespitzen:** Eine Energiespitzenbegrenzung reduziert nichts am Jahresenergieverbrauch oder –bezug, kann aber die Energiekosten deutlich senken.
- **Anlageninterne Energieerfassung:** Auf vielen Anlagen ist der Verrechnungszähler des Energieversorgungsunternehmens die einzige Energiemessung. Es sollte zur Standardausrüstung einer Kläranlage gehören, den Energieverbrauch jeder Verfahrensstufe und eventuell wichtige Verbraucher auch einzeln, betriebsmäßig zu erfassen. Zähler oder Umformer zur Erfassung der elektrischen Energie sind preiswert und genau. Eine Bilanzierung der einzeln erfassten Verbräuche mit dem Gesamtverbrauch als Kontrolle sollte unbedingt genutzt werden. Was man nicht misst, kann man auch nicht optimieren; man misst dem in Wahrheit nicht einmal eine Bedeutung zu!

#### Zusätzlich bei Anlagen mit Faulung:

- **Schlechte Klärgasnutzung:** Ziel soll es sein, das gesamte anfallende Klärgas in einem BHKW zu verstromen, wie im Abschnitt 2.5 näher erläutert. Man hat bei vielen Anlagen den Eindruck, dass man das Klärgas einfach so hinnimmt, wie es anfällt. Vermutlich liegt das auch daran, dass es quasi kostenlos „anfällt“ und nicht „produziert“ wird. Bei einem BHKW sollte es selbstverständlich sein, dass sowohl die eingesetzte Gasmenge als auch die produzierte Elektrizität betriebsmäßig gemessen werden.
- **Umwälzung des Faulrauminhaltes:** Die Umwälzung ist zwar wichtig, um eine ausreichende Durchmischung des Faulrauminhaltes zu gewährleisten und vor allem um Strömungskurzschlüsse zwischen Beschickung und Abzug zu vermeiden, andererseits muss der Mischer auch nicht ständig laufen.
- **Mangelhafte Klärgasproduktion:** Die Genauigkeit der Klärgasmessung lässt bei vielen Kläranlagen ebenso wie die Erfassung der Schlamm oTS sehr zu wünschen übrig. Dabei sind dies die wichtigsten Daten zur Beurteilung etwaiger Probleme der Faulung.

- **Eindickung des Primär- und Überschussschlammes (Rohschlammes):**  
Die Schlammeindickung verbraucht selbst nicht viel Energie, kann sich aber stark auf die Energiesituation der Kläranlage auswirken, da die Menge des eingebrachten Rohschlammes die mittlere Verweildauer (Faulzeit) und die Wärmeenergie zur Schlammwärmerung beeinflusst. Eine verbesserte Schlammeindickung kann sich positiv auf den Klärgasanfall auswirken, insbesondere wenn die bisherige Faulzeit nicht ausreichend ist und wird den Wärmebedarf verringern, was sich zusätzlich günstig auf den Zukauf etwaiger fossiler Brennstoffe auswirkt.

## 12 LITERATUR, ABKÜRZUNGEN, BESONDERE GRÖSSEN

### Literatur:

- ATV-DVWK-A 131, 2000: Arbeitsblatt, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Mai 2000, GVA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., D-53758 Hennef
- ATV-Arbeitsbericht, 1999: ATV-Arbeitsbericht „Energiebilanzierung auf Kläranlagen“, Juli 1999
- Handbuch Energie in Kläranlagen, 1999: Müller, E.A., Kobel, B., Künti, T., Pinnekamp, J.; Seibert-Erling, G., Böcker, K.; Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, D-40476 Düsseldorf.
- Kapp, H. 1998: Einfluss der Schlammfäulung auf die Energiebilanz von Kläranlagen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 149 (1998), S. 169-186, R. Oldenburg Verlag München.
- Nowak, O., 2000: Möglichkeiten von Energiesparmaßnahmen auf Abwasserreinigungsanlagen durch das Betriebspersonal. Kläranlagennachbarschaften, S. 61-103, ÖWAV, Wien 2000
- Svardal, K., 1997: Wirtschaftliche Aspekte der Betriebsführung. Kläranlagennachbarschaften, S. 83-103, ÖWAV, Wien 1997

### Abkürzungen, besondere Größen:

ARA	Standardisierte Abwasserreinigungsanlage, ohne Energie-Sonderverbraucher (z.B. Abwasserhebewerke die mangels natürlichem Gefälle notwendig sind, um das Abwasser vom Zulauf in den Vorfluter zu befördern oder Kanalpumpwerke, sofern sie von der Kläranlage mit Energie versorgt werden)
ATS	ÖS, Österreichische Schillinge
a	Jahr (J)
d	Tag (T)
BHKW	Blockheizkraftwerk (Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme)
Direktantrieb	Gasmotor zum direkten Antrieb eines Gebläses für die Belüftung meist auch mit Abwärmenutzung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EW	Einwohnergleichwert (eventuell auch als EGW oder EG)
/EWa	je EW und Jahr
/EWd	je EW und Tag
EW-bio	Die Zulauffracht kennzeichnender Einwohnergleichwert gleichbedeutend mit EW-CSB, aber unter Umständen von der gemessenen CSB-Fracht abweichend. Ist der aufgrund der Beurteilung aller vorliegenden Daten korrigierte EW-CSB, der am wahrscheinlichsten der Zulauffracht entspricht.
EW-BSB5	EW bezüglich BSB5 bezogen auf 60 g / EWd im Rohabwasser
EW-CSB	EW bezüglich CSB bezogen auf 110 g / EWd im Rohabwasser
EW-Nges	EW bezüglich Nges bezogen auf 11 g / EWd im Rohabwasser
EW-P	EW bezüglich Pges bezogen auf 1,7 g / EWd im Rohabwasser
EW-hyd	EW bezüglich Wassermenge bez. auf 200 l/EWd
BSB5	biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
Nges	Gesamt-Stickstoff = TKN (= organischer-N + NH <sub>4</sub> -N) + NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>
NH <sub>4</sub> -N	Ammonium-Stickstoff
NO <sub>3</sub> -N	Nitrat
NO <sub>2</sub> -N	Nitrit
P	Gesamt-Phosphor = PO <sub>4</sub> -P + Poly-Phosphat + organ.Phosphorverb.
PO <sub>4</sub> -P	Ortho-Phosphat
BB	Belebungsbecken („Biologie“)

# A E C

Automation - Energie - Consulting  
Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis

---

VKL	Vorklärung
NKL	Nachklärung
PS	Primärschlamm (aus VKL)
RLS	Rücklaufschlamm (Aus NKL rückgeführt in BB)
ÜSS	Überschussschlamm (ÜS). Dem System BB+NKL entzogen und in die Schlammbehandlung abgeführt.
Frischschlamm	Schlamm vor der Schlammbehandlung (PS + ÜSS)
Rohschlamm	= Frischschlamm
Faulschlamm	ausgefaulter Schlamm nach dem Faulbehälter
MÜSE	maschinelle Überschussschlammwässerung
TS	Trockensubstanz
oTS	organische Trockensubstanz (= Glühverlust)
Blindenergie	=Blindarbeit. Belastet die Versorgungseinrichtungen mit Strom ohne Arbeit zu verrichten und wird deshalb, wenn ein bestimmter Wert überschritten wird, vom EVU mit einer Gebühr bestraft.
Wirkenergie kWh	= Wirkarbeit, gemeint ist damit Energie (=Arbeit) üblicherweise gemessen in kWh. Der Zusatz „Wirk“ dient in der Stromrechnung des Elektroversorgungsunternehmens zur sprachlichen Unterscheidung von Blindleistung, Blindarbeit, Blindenergie
Verrechnungsleistung:	Wird vom EVU meist errechnet als Mittelwert aus den 3 höchsten 15-Minuten-Monats-Leistungen und mit dem vereinbarten Preis je kW in Rechnung gestellt.
OF	Anlage ohne Faulung
MF	Anlage mit Faulung
Datenqualität	Qualität der Abwasserdaten, Genauigkeit der Belastungsangabe EW-bio 0 = sehr ungenau, nahezu unbrauchbar, 5 ist sehr genau und verlässlich
Maßnahmen:	S .....sofort realisierbare Maßnahmen S+K..... + kurzfristig realisierbare Maßnahmen S+K+A..... + abhängige Maßnahmen
K/N	Kosten/Nutzen – Faktor. Gibt an, inwieweit eine Investition aufgrund der dadurch erzielbaren Einsparung wirtschaftlich sinnvoll ist. K/N < 1: Investition ist sinnvoll K/N < 0,3: Investition ist äußerst lukrativ