

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Benchmarking in der Abwasserentsorgung

Band 176 - Wien 2002

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Band 176

Benchmarking in der Abwasserentsorgung

ÖWAV - Workshop- Wien 2002
Technische Universität Wien
25. - 26. Februar 2002

Herausgeber
Prof. Dipl.Ing. Dr. H. Kroiß
Technische Universität Wien
Institut für Wassergüte
und Abfallwirtschaft

Veranstalter



Österreichischer
Wasser- und
Abfallwirtschaftsverband

Marc - Aurel - Straße 5
1010 Wien



Institut für Wassergüte
und Abfallwirtschaft
TU- Wien

Karlsplatz 13 / 226
1040 Wien



Institut für Wasservorsorge,
Gewässerökologie und Abfallwirtschaft
BOKU - Wien

Muthgasse 18
1190 Wien



Quantum
Institut für betriebswirtschaftliche Beratung
GmbH

Walter von der Vogelweide Pl. 4
9020 Klagenfurt

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Karlsplatz 13/226; 1040 Wien
Tel: + 43 1 58801 - 22611
Fax: + 43 1 58801 - 22699
Mail: iwag@iwag.tuwien.ac.at

Alle Rechte vorbehalten.
Ohne Genehmigung der Herausgeber ist es nicht gestattet,
das Buch oder Teile daraus zu veröffentlichen
© Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft TU-Wien, 1999

Druck: Riegelnik
1080, Piaristengasse 19

ISSN 0279 - 5349
ISBN 3 - 85234 - 067 - 5

Inhaltsverzeichnis

Benchmarking in der Abwasserentsorgung, Einleitung	
Helmut Kroiß, Maria Bogensberger	1
Kosten und Leistungsrechnung als Benchmarking Grundlage	
Maria Bogensberger, Josef Habich, Franz Murnig	11
Benchmarking für Abwasserableitungsanlagen	
Th. Ertl, M. Starkl, K. Sleytr, R. Haberl	51
Benchmarking für Abwasserreinigungsanlagen	
Stefan Lindtner, Otto Nowak, Helmut Kroiß	95
Energieoptimierung von Kläranlagen	
Hermann Agis	133
Energie-Benchmarking von Kläranlagen - Überlegungen aus abwassertechnischer Sicht	
Otto Nowak	179

Vorwort

Der vorliegende Band der Wiener Mitteilungen enthält die Unterlagen für ein Seminar an der Technischen Universität Wien, das als Abschluss von zwei großen Forschungsvorhaben „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ und „Energieoptimierung von Kläranlagen“ abgehalten wurde. Das Ziel des Seminars ist es, den Betreibern von Kanal- und Kläranlagen die Ergebnisse nahe zu bringen und die Umsetzung der ermittelten Einsparungspotentiale zu erleichtern und zu unterstützen.

Beide Projekte haben einen interdisziplinären Ansatz und die Ergebnisse sind aus der engen Zusammenarbeit von Ingenieuren verschiedener Fachrichtungen sowie Wirtschaftsfachleuten entstanden. In beiden Fällen stand das Ziel im Vordergrund, durch Verständnis der technischen und wirtschaftlichen Zusammenhänge vergleichbare Kenngrößen zu entwickeln, die es den Betreibern ermöglichen ihre Aufgabenerfüllung technisch und wirtschaftlich zu optimieren. Es muss dabei betont werden, dass diese Kostenoptimierung auch ohne Wettbewerbsdruck auf dem freien Markt erfolgreich durchgeführt werden kann, weil auch in öffentlichen Unternehmen genügend freiwilliges Engagement dafür vorhanden ist.

Die Idee, Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft einzuführen, geht auf eine Initiative der Arbeitsgemeinschaft der Steirischen Abwasserverbände in Zusammenarbeit mit Dr. Rausch (Wirtschaft) und Prof. Lengyel (Kläranlagentechnik) zurück. Die Ergebnisse dieser Vorarbeiten war die Grundlage für ein gemeinsam von Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, den Bundesländern außer Wien und ca. 70 Kanal- und Kläranlagenbetreibern finanziertes Forschungsprojekt. Als Auftragnehmer fungierte der Österreichische Wasser und Abfallwirtschaftsverband. Die Bearbeitung erfolgte durch ein Team von Mitarbeitern der Firma Quantum (Wirtschaft), der Universität für Bodenkultur (Kanalisation) und der TU-Wien (Kläranlagen).

Das Energieprojekt wurde aus Mitteln nach dem Umweltförderungsgesetz finanziert. Die Bearbeitung erfolgte durch das Ingenieurbüro Agis (Elektrotechnik) und die TU-Wien (Klärtechnik). Das Ergebnis der beiden umfangreichen Forschungsarbeiten ist also aus einer auch international einzigartigen Zusammenarbeit entstanden und stellt eine wissenschaftlich fundierte, solide Grundlage für eine Optimierungsoffensive der Abwasserentsorgung für ganz Österreich dar. Für das Gelingen sei allen, die daran mitgewirkt haben, ein herzlicher Dank ausgesprochen.

Wien, im Februar 2002

Prof. Helmut Kroiß

Benchmarking in der Abwasserentsorgung

Einleitung

Helmut Kroiß, Maria Bogensberger

Die von der öffentlichen Hand betriebenen Wirtschaftszweige zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben sehen sich immer wieder dem Vorwurf ausgesetzt, durch gravierende Wirtschaftlichkeits- bzw. Effizienzdefizite bei der Leistungserstellung ein Kosten- bzw. Gebührenniveau zu erzeugen, welches durchaus vermeidbar sei. Dieser vermeintliche Vorwurf taucht derzeit auch im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft und hier insbesondere auch im Zusammenhang mit dem Vorwurf der Monopolstellung der öffentlichen Hand sowie im Zuge von diesbezüglichen Privatisierungsüberlegungen verstärkt auf.

Um diesem Vorwurf entgegenzutreten zu können ist beabsichtigt, den Betreibern von Abwasseranlagen wirkungsvolle Instrumentarien in die Hand zu geben, die eine effiziente Steuerung des Unternehmens – auf Basis der Orientierung an betriebswirtschaftlichen und technischen Referenzwerten bzw. Benchmarks – ermöglichen. Aber auch für alle privatwirtschaftlichen Betriebe stellt Benchmarking eine anerkannte Methode der Effizienzsteigerung dar.

Die Generierung von Referenzwerten bzw. Benchmarks erfolgt im Zuge eines umfassenden Forschungsprojektes – welches 71 Abwasseranlagen verteilt über ganz Österreich umfasst sowie auf technischer Seite von den Universitätsinstituten TU-Wien und BOKU-Wien und auf betriebswirtschaftlicher Seite durch "Quantum - Institut für betriebswirtschaftliche Beratung GmbH" mitbetreut wird.

Ziel des gegenständlichen Forschungsprojektes "Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft – Benchmarking SWW" ist der Versuch, Leistungs- und Effizienzunterschiede zwischen den einzelnen Probanden transparent zu machen und durch die Generierung von Benchmarks den Betreibern wichtige Informationen bezüglich des eigenen Abschneidens gegenüber vergleichbaren Unternehmungen darzustellen.

Das Instrument "Benchmarking SWW" dient daher für die Betreiber von Abwasseranlagen als wichtige Informationsquelle zur Verbesserung der eigenen technischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit.

Die standardisierte und vereinheitlichte Erhebung der benötigten technischen und wirtschaftlichen Daten stellt daher einen zentralen Faktor des gesamten Projektes dar, der über die Qualität und Aussagefähigkeit der gesamten Analyse mit entscheidet. Aus diesem Grund wird großer Wert auf die Erstellung der verwendeten Untersuchungs- bzw. Datenerhebungsmethodik gelegt.

Neben den grundsätzlichen Ausführungen über Benchmarking und der Darstellung des Forschungsdesigns umfasst der gegenständliche Bericht primär die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen zur Umsetzung des Benchmarking-Projekts in der Siedlungswasserwirtschaft.

Die Philosophie des Benchmarking

Benchmarking ist eine systematische Suche nach den objektiv besten gängigen Praktiken, mit dem Ziel, diese Spitzenleistungen auf die eigene Organisation zu übertragen und eine Steigerung der Effizienz der jeweiligen Leistungserstellung zu erreichen.

Die Philosophie des Benchmarking geht demnach weit über traditionelle Verfahren des Unternehmensvergleichs hinaus. Es wird durch einen systematischen Vergleich von Prozessen, Methoden und Produkten über mehrere Organisationseinheiten hinweg eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitssteuerung durch Identifizierung von Kosteneinsparungspotenzialen und Leistungsineffizienzen geschaffen. Durch die Orientierung an den so genannten Benchmarks bzw. *Best-Practice-*

Leistungsniveaus von Vergleichsorganisationen und dem anschließenden aktiven Versuch, diese im eigenen Unternehmen umzusetzen, können Verbesserungen von Betriebsabläufen erreicht werden.

Benchmarking stellt nicht nur ein in der Privatwirtschaft bereits bewährtes Instrument zur Unterstützung der Unternehmensplanung und Leistungsmessung dar, sondern ist auch in so genannten „marktfernen“ Unternehmensbereichen - wie beispielsweise im Bereich der öffentlichen Siedlungswasserwirtschaft, deren Anlagen primär durch Verbände, Gemeinden oder Städte errichtet und betrieben werden - erfolgreich einsetzbar.

Laut Professor Baum¹ gibt es im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung i.d.R. viele Funktionsbereiche und Teilprozesse, die einer direkten Bewertung nicht zugänglich sind. Benchmarking kann hierbei einen adäquaten Ersatz für den Anreiz zur Leistung bieten, wie er beispielsweise von einem Marktmechanismus ausgeht. Ist die „unsichtbare Hand“ der Marktkräfte, die aus Gründen einer nachhaltigen Existenzsicherung zu einer effizienten Leistungserstellung zwingt, in einem Teilbereich einer Volkswirtschaft ausgeschaltet, kann Benchmarking diese Funktion zumindest teilweise übernehmen. Neben dem Effekt, Abweichungen in der Leistungsfähigkeit des jeweils untersuchten Unternehmens aufdecken und analysieren zu helfen, hat das Benchmarking auch einen Einfluss auf die Entwicklung des Unternehmens. Der Prozess, die Mitarbeiter der einzelnen Organisationen dazu anzuhalten, sich an ihren *Best-Practise*-Vergleichspartnern zu orientieren und von ihnen zu lernen, führt zur Ausbildung von so genannten „lernenden Organisationen“.

Benchmarking sollte jedoch keine einmalige Aktion darstellen, die beiläufig durchgeführt werden kann. Erfolgreiche Benchmarking-Projekte sind mit erheblichem Aufwand verbunden und kennzeichnen sich durch eine praktische Implementierung eines kontinuierlichen Benchmarking-Prozesses mit einer ständigen Weiterentwicklung aus. Ein seriöses und fundiertes Projektdesign sowie eine ausreichende Größe der Stichprobe sind wesentliche Voraussetzungen für die Identifizierung von Leistungslücken und die Analyse von deren Ursachen. Es muss auch mögliche Optimierungspotenziale für die Steigerung der Effizienz bei der Leistungserbringung darstellen.

1 Bayrisches Institut für Abfallforschung (BifA), Augsburg.

Die Ziele des Benchmarking liegen daher im Wesentlichen in der Steigerung der Effizienz, dem positiven Wandel der Unternehmenskultur, der motivierenden Wirkung durch die Orientierung an Zielvorgabe von Vergleichsunternehmen sowie in der Verankerung der Wettbewerbsorientierung in sämtlichen Unternehmensbereichen.

Die Schritte des Benchmarking-Prozesses liegen primär in der Definition von Leistungsbeurteilungsgrößen, der Identifikation von geeigneten Vergleichspartnern, der Definition der Datenerhebungsmethode – welcher in den folgenden Ausführungen breiter Raum eingeräumt wird.

Die Ziele des Benchmarking können wie folgt charakterisiert werden:

- ⇒ Steigerung der Effizienz
- ⇒ Verbesserung der Unternehmenskultur
- ⇒ Motivierung des Personals durch
- ⇒ Verankerung des Wettbewerbsgedankens in sämtlichen Unternehmensbereichen

Die Schritte des Benchmarking-Prozesses sind:

- ⇒ Definition von Leistungsbeurteilungsgrößen
- ⇒ Identifikation von geeigneten Vergleichspartnern
- ⇒ Durchsetzung einer einheitlichen Datenerhebungs- und –bearbeitungsmethode

Übersicht über das Design des Forschungsprojektes

Projektträger - Projektzweck

Projektträger ist der Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband ÖWAV, Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien. Er wurde vom Ministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft als gemeinnütziger Verein mit der Übernahme der Projektträgerschaft für das Forschungsprojekt "Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft – Benchmarking SWW" zum Zwecke der Wirtschaftlichkeitssteuerung durch Schaffung von Impulsen zur Kostensenkung und Aufzeigen von Einsparungspotenzialen betraut.

Projektbetreuung

Die fachliche Abwicklung und wissenschaftliche Betreuung des Forschungsprojektes erfolgt durch:

- IWAG - Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien (Univ. Prof. DI Dr. Kroiss) – Zuständig für die Entwicklung technischer Kennzahlen im Bereich der Abwasserreinigungsanlagen.
- IWGA - Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien (Univ. Prof. DI Dr. Haberl) – Zuständig für die Entwicklung technischer Kennzahlen im Bereich der Kanalisationsanlagen.
- A.o. Univ.Prof. Dr. Werner Lengyel, Mödling – Konsulent.
- Quantum - Institut für betriebswirtschaftliche Beratung GmbH, Klagenfurt – Zuständig für die betriebswirtschaftlichen Belange.
- ÖWAV Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband – Zuständig für Projektleitung und Koordination.

Begleitet wird das Forschungsprojekt durch den beim ÖWAV bereits konstituierten Arbeitsausschuss "Benchmarking Siedlungswasserwirtschaft",

welcher sich aus Vertretern des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, den Vertretern aller Landesregierungen sowie Kläranlagenbetreibern und dem o.a. Projektteam zusammensetzt. Durch die Einrichtung des Arbeitsausschusses wird gewährleistet, dass das Projekt bereits von Beginn an zielgerichtet abgewickelt wird und somit eine entsprechende Akzeptanz erreicht.

Projektergebnis – Projektnutzen

In einem ersten Schritt werden für jeden Benchmarking-Teilnehmer (Betreiber einer Anlage, z.B. Verband, Gemeinde, Stadt) eine individuelle Kosten- und Leistungsrechnung für das Wirtschaftsjahr 1999 erstellt sowie technische Kenngrößen vor Ort erfasst und eine detaillierte Leistungsdokumentation aufbereitet.

In einem zweiten Schritt werden auf Basis der einheitlich erfassten Daten für jede Anlage nachvollziehbare, anonymisierte technische und wirtschaftliche Kennzahlen sowie Referenzwerte (Benchmarks) ermittelt, die einen Vergleich der Effizienz von Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft zulassen.

Das gegenständliche österreichweite Projekt weist folgende Nutzenstruktur auf:

a) Projektnutzen für Gemeinden, Städte und Verbände (Errichter und Betreiber von Abwasseranlagen)

- ⇒ Unterstützung bei der konkreten Implementierung einer Kosten- und Leistungsrechnung (= Basis für die Auswertungen) für die Steuerung, Kontrolle und Abrechnung.
- ⇒ Erstellung einer Kosten- und Leistungsrechnung bzw. Darstellung detaillierter Kostenstellenergebnisse auf Basis der konkreten Zahlen des Jahres 1999.
- ⇒ Erkennen von umsetzbaren Verbesserungs- bzw. Einsparungspotenzialen durch die Möglichkeit der Orientierung an Referenz- bzw. Spitzenwerten.

⇒ Grundlage für Verbesserung der Kosten-Nutzen-Relation.

b) Projektnutzen für Förderstellen und Entscheidungsträger

⇒ Durchführung eines österreichweiten Benchmarking-Projektes (Kosten- und Leistungsvergleich) in der Siedlungswasserwirtschaft und somit Schaffung von Impulsen zur Kostensenkung durch österreichweiten Betriebsvergleich.

⇒ Kostenvergleich unterschiedlicher Anlagengrößen und Verfahren sowie Schaffung von realistischen Grundlagen für Investitions- und Kostenplanungen unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen.

⇒ Methoden zur Ermittlung von Standardkosten.

c) Projektnutzen für die Volkswirtschaft

⇒ Schaffung von "Wettbewerbskriterien" im öffentlichen Leistungsbereich.

⇒ Möglichkeit der Kostensenkung in einem umweltrelevanten Leistungsbereich mit volkswirtschaftlichen Jahresausgaben von ca. 20 – 30 Mrd. ATS p.a. (= ca. 1 % des BIP).

Projektmodule

Das Forschungsprojekt "Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft – Benchmarking SWW" setzt sich im Wesentlichen aus folgenden 3 Modulen zusammen:

Modul 1: Erstellung detaillierter Grundlagen und Anweisungen für die Erfassung, Dokumentation und Auswertung technischer und wirtschaftlicher Daten zur Umsetzung des Forschungsprojektes.

Im Modul 1 wurde auf ein ausführliches Literaturstudium sowie eine Auswertung bereits vorliegender Projekte (Benchmarking ASAV, Benchmarking-Projekte aus Deutschland) aufgebaut und es wurde von den Projektmitarbeitern ein zunächst theoretisches Untersuchungsdesign für diese Benchmarking-Studie entwickelt. In einem sich daran anschließenden Arbeitsschritt wurden Gehalt und Praxisbezug dieses Untersuchungsdesigns anhand konkreter Praxisfälle (Anlagenbetriebe aus der Steiermark) überprüft bzw. getestet. Die diesbezüglichen Ergebnisse und Überlegungen wurden in einer Vorstudie dargestellt.

Modul 2: Erfassung der technischen und wirtschaftlichen Basisdaten vor Ort zur Dokumentation der technischen und wirtschaftlichen Leistung der Benchmarkingteilnehmer.

Zur Erfassung der technischen Daten wurden die von den Universitäten erarbeiteten Erhebungsbögen den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt und gemeinsam mit einem Zivilingenieur vor Ort ausgefüllt. Je Bundesland war ein Zivilingenieur für die Datenaufnahme und die Plausibilitätsprüfung vor Ort verantwortlich.

Von der Firma Quantum wurde eine standardisierte Kosten- und Leistungsrechnung für das Jahr 1999 bei den einzelnen Anlagenbetreibern (Verbände, Gemeinden, Städte) unter Berücksichtigung der individuellen Gegebenheiten einerseits zur effizienten Steuerung des Betriebes, sowie andererseits als Grundlage für die Durchführung des Benchmarking-Projektes vor Ort eingeführt.

Modul 3: Auswertung der - österreichweit einheitlich erfassten - technischen und wirtschaftlichen Daten zur Ermittlung von spezifischen Referenzwerten, zum Aufzeigen von Einsparungspotenzialen, Kosten- und Leistungszusammenhängen, zur Darstellung von Entscheidungsgrundlagen und Detailprozessanalysen.

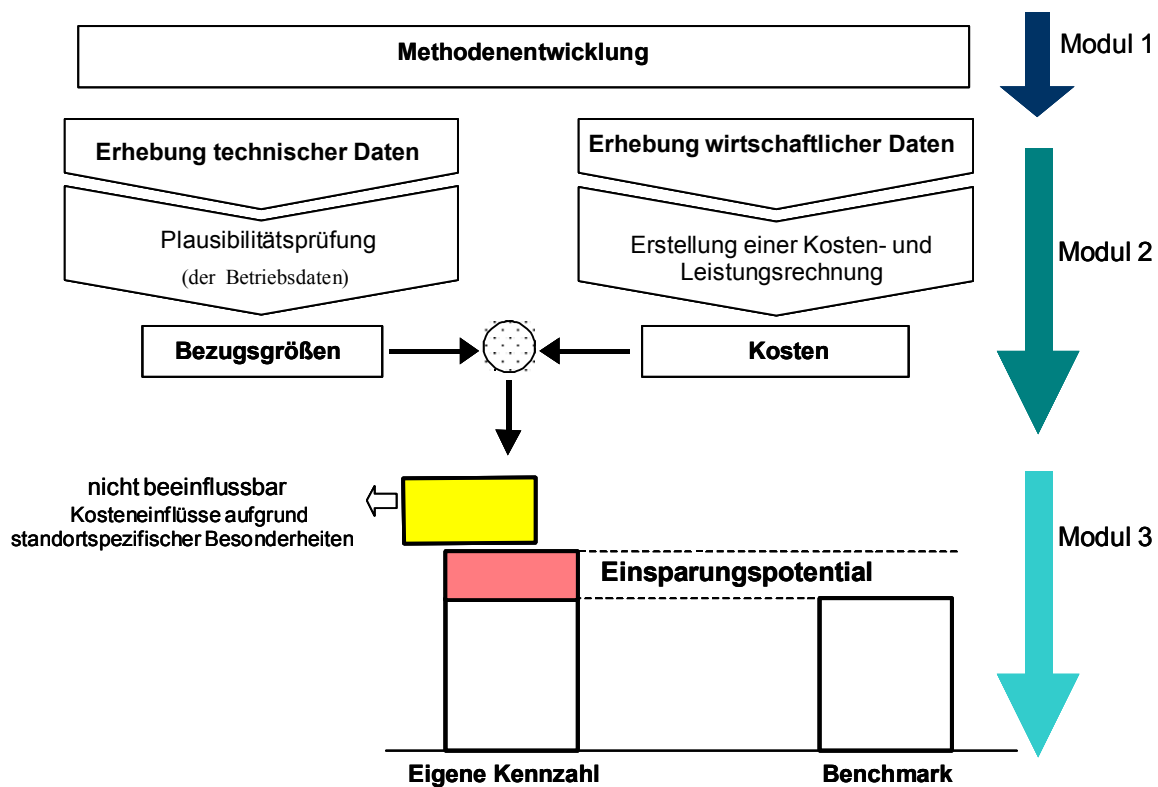


Abbildung 1: Modularer Aufbau des Benchmarkingprojektes

Voraussetzung für die Teilnahme am Benchmarking-Projekt

Für die Beteiligung am Benchmarking-Projekt werden aus technischer Sicht folgende Punkte vorausgesetzt, um durch Einschränkungen die Vergleichbarkeit zu unterstützen:

- ⇒ Ausbaugröße der Kläranlage zwischen 5.000 und 200.000 EW
- ⇒ Einstufige oder zweistufige Belebungsanlagen
- ⇒ Abwasserreinigungsanlagen mit plausiblen Betriebsdaten
- ⇒ Anlagen, deren Kanalisation einen Bauabschnitt (auch in Ortsnetzen) enthalten, der innerhalb der letzten 5 Jahre errichtet wurde und folgende Spezifikationen erfüllt:
 - nur Schmutz- oder Regenwasserkanäle; keine Mischwasserkanäle,
 - Leitungsnennweiten zwischen DN 200 und DN 400,

- spezifische Leitungslänge pro Hausanschluss (Entsorgungsdichte) <100m,
- keine Sonderverfahren in der Errichtung (grabenlos, Sprengfels etc.),
- Leitungsmaterialien: Beton, Steinzeug oder PVC,
- keine Sonderverfahren bei der Oberflächeninstandsetzung

⇒ Nachvollziehbarer ordnungsgemäßer Betrieb der Kanalisationsanlagen –
Mitbetreuung von Ortsnetzen erwünscht

Datenbehandlung – Anonymisierung

Beim Projekt selbst und für eine Weiterführung ist es von größter Bedeutung, dass die zur Verfügung gestellten Daten, im besonderen die wirtschaftlichen Daten, vertraulich behandelt werden. Die erfassten Daten der Kosten- und Leistungsrechnung sowie die technischen Basisdaten wurden daher anonymisiert in einem Datenpool verwaltet. Sowohl die kaufmännischen als auch die technischen Daten wurden mit einem unterschiedlichen Code (A, B) in eine gemeinsame Datenbank eingespeist. Die Verknüpfung der Codes A und B erfolgt über einen dritten Code, den die Universitätsinstitute der TU Wien sowie der BOKU Wien für die Dauer der Projektbearbeitung erhalten. Nach Abschluss des Projektes wird sicher gestellt, dass die Daten einerseits und die Zuordnung der Daten zu den einzelnen Teilnehmern (Codes A, B und C) andererseits an getrennten unabhängigen Stellen aufbewahrt werden.

Korrespondenz an:

Prof. Helmut Kroiß

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien
Karlsplatz 13/226.1

Tel.: 58801/22610

Fax: 58801/22699

Email: hkroiss@iwag.tuwien.ac.at

Kosten und Leistungsrechnung als Benchmarking Grundlage

Maria Bogensberger, Josef Habich, Franz Murnig

Quantum Institut für betriebswirtschaftliche Beratung GmbH

Kurzfassung: Während der Rechnungsabschluss bzw. die Bilanz die Dokumentation der Tätigkeiten nach außen darstellt, bietet die Kosten- und Leistungsrechnung primär den Führungskräften und Kostenverantwortlichen der Anlagen ein Instrument zur internen betriebswirtschaftlichen Steuerung.

Die Kosten- und Leistungsrechnung stellt durch eine einheitliche Zuordnung von Aufwendungen und Leistungen zu exakt definierten Kostenstellen eine Basis dar, unterschiedliche Abwasserentsorgungsanlagen im Zuge des Benchmarking vergleichbar zu machen.

Darüber hinaus wurden speziell für den Bereich der Kapitalkosten Normierungen vorgenommen, um einerseits das unterschiedliche Alter der Anlagen und andererseits die inhomogenen Förderungssysteme auszugleichen.

Ein einmaliger Vergleich bietet zwar die Möglichkeit die jeweiligen Stärken sowie auch die Schwächen zu lokalisieren, aber erst eine laufende Evaluierung (kontinuierliche Kosten- und Leistungsrechnung) ermöglicht dem Anlagenbetreiber die getätigten Umgestaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Kosten zu überprüfen. Zusätzlich zur laufenden internen Kontrolle ist jedenfalls ein regelmäßiger externer Vergleich und somit eine Standortbestimmung der einzelnen Teilnehmer anzustreben.

Keywords: Benchmarking, Controlling, Kosteneffizienz;
Abwasserentsorgungsanlagen

1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Kosten- und Leistungsrechnung dienen primär den Führungskräften und Kostenverantwortlichen der Anlagenbetreiber zur internen betriebswirtschaftlichen Steuerung.

Unabhängig von den Benchmarking-Auswertungen können aus der Kosten- und Leistungsrechnung u.a. folgende betriebswirtschaftliche Informationen gewonnen werden:

- Darstellung der Jahresgesamtkosten der Abwasserableitung und Abwasserreinigung.
- Anteile der unterschiedlichen Kostenarten an den Gesamtkosten (z.B. Personalkosten-, Materialkosten-, Energiekosten-, Kapitalkostenanteil mit und ohne Förderungswirkung etc.).
- Anteile der einzelnen Kostenstellen (Prozesse) an den Gesamtkosten (z.B. Ortsnetz, Transportkanal, Mechanik, Biologie, Klärschlamm Entsorgung etc.).
- Anteil der Overheadkosten an den Gesamtkosten.
- Kostenstellenergebnisse bezogen auf unterschiedliche Kostenarten (z.B. Energiekosten für Mechanik, Personalkosten für die weitergehende Schlammbehandlung etc.).

Aufbauend auf diesen Kosten- und Leistungsrechnungsergebnissen kann durch eine Gegenüberstellung eigener (für das Benchmarking normierter) Kennzahlen mit jenen anderer Abwasserentsorgungsbetriebe (ebenfalls normiert) ein externer Betriebsvergleich durchgeführt werden.

Zusätzlich wird aus den Erfahrungen bei der Einführung bzw. Durchführung der Kosten- und Leistungsrechnung für das Benchmarking die grundsätzliche Struktur der Buchhaltungs- bzw. Rechnungswesensysteme innerhalb der untersuchten Stichprobe grob skizziert.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die vorgenommenen Auswertungen in diesem Kapitel auf kostenrechnerischen IST-Kosten der durchgeführten Recherchen basieren und damit nicht unmittelbar für einen direkten externen Betriebsvergleich herangezogen werden können.

Die ausgeführten Analysen und Darstellungen geben einen Überblick über die Kostenstruktur innerhalb der Benchmarking–Stichprobe. Eine Generalisierung der Ergebnisse ist in Anbetracht der Stichprobe und der Heterogenität (trotz der Bildung unterschiedlicher Gruppen) nur bedingt möglich.

2 Benchmarking-Stichprobe für die Kostenanalyse

Die Kostenanalyse für die gesamte Stichprobe stellt teilweise prozentuelle Kostenanteile bezogen auf die Gesamtjahreskosten (Ableitung und Reinigung) dar. Die Heterogenität innerhalb der Stichprobe machte es deshalb erforderlich, neben der technischen Gruppierung auch organisatorische Unterschiede zwischen den Teilnehmern zu berücksichtigen.

Die Teilnehmer wurden in 3 Gruppen unterteilt, um eine verbesserte Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Aufgabengebieten zu erreichen.

Die Unterteilung in diese 3 Gruppen zielen demnach im Wesentlichen auf den Leistungsumfang der einzelnen Benchmarking–Teilnehmer ab:

Gruppe A Verbände oder Gemeinden, welche ausschließlich die Errichtung und den Betrieb der Abwasserreinigung durchführen

Gruppe B Verbände mit Betrieb und Errichtung der Verbandssammler sowie der Abwasserreinigung

Gruppe C Verbände und Gemeinden, welche für die Durchführung der gesamten Abwasserentsorgung zuständig sind (Errichtung und Betrieb der Ortskanalisation, Sammler und Abwasserreinigung). Die Verteilung zwischen Verbänden und Gemeinden innerhalb dieser Gruppe ist aus nachfolgender Grafik ersichtlich:

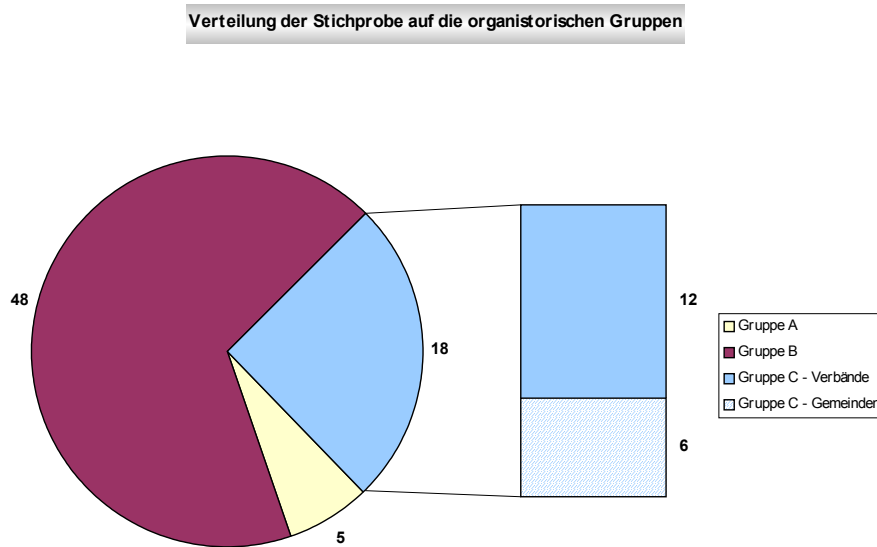


Abbildung 2-1: Verteilung der Stichprobe auf die organisatorischen Gruppen

Gleichzeitig wurden für die Reinigungsanlagen im Vergleich 5 Größenklassen mit je 3 verschiedenen Verfahren unterschieden. Die Zuteilung der Teilnehmer zu den einzelnen Größenklassen wurde von der TU Wien vorgenommen:

Größenklassen:

- ❶ kleiner 5.000 EW-CSB₁₁₀ 6 Anlagen
 - 5 davon mit simultaner Stabilisierung
 - eine mit getrennter Stabilisierung – Faulung
- ❷ von 5.000 EW-CSB₁₁₀ bis 12.000 EW-CSB₁₁₀ 13 Anlagen
 - 6 Anlagen mit simultaner Stabilisierung
 - 5 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – Faulung
 - 2 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – aerob bzw. Kaltfaulung
- ❸ von 12.000 EW-CSB₁₁₀ bis 25.000 EW-CSB₁₁₀ 28 Anlagen

- 9 Anlagen mit simultaner Stabilisierung
 - 12 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – Faulung
 - 7 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – aerob bzw. Kaltfaulung
- ④ von 25.000 EW-CSB₁₁₀ bis 50.000 EW-CSB₁₁₀ 11 Anlagen
- 9 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – Faulung
 - 2 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – aerob bzw. Kaltfaulung
- ⑤ größer 50.000 EW-CSB₁₁₀ 18 Anlagen
- 2 Anlagen mit simultaner Stabilisierung
 - 16 Anlagen mit getrennter Stabilisierung – Faulung

3 Struktur des Rechnungswesens

Vor der Analyse der Kostenstruktur innerhalb der Benchmarking–Stichprobe soll dieses Kapitel im Überblick die Struktur der Buchhaltungs- bzw. Rechnungswesensysteme darstellen.

Die Kostenrechnung wurde im Rahmen des Benchmarking sowohl für doppische als auch für kamerale Rechnungswesensysteme durchgeführt. Die folgenden Grafiken geben einen Überblick über die unterschiedlichen Strukturen:

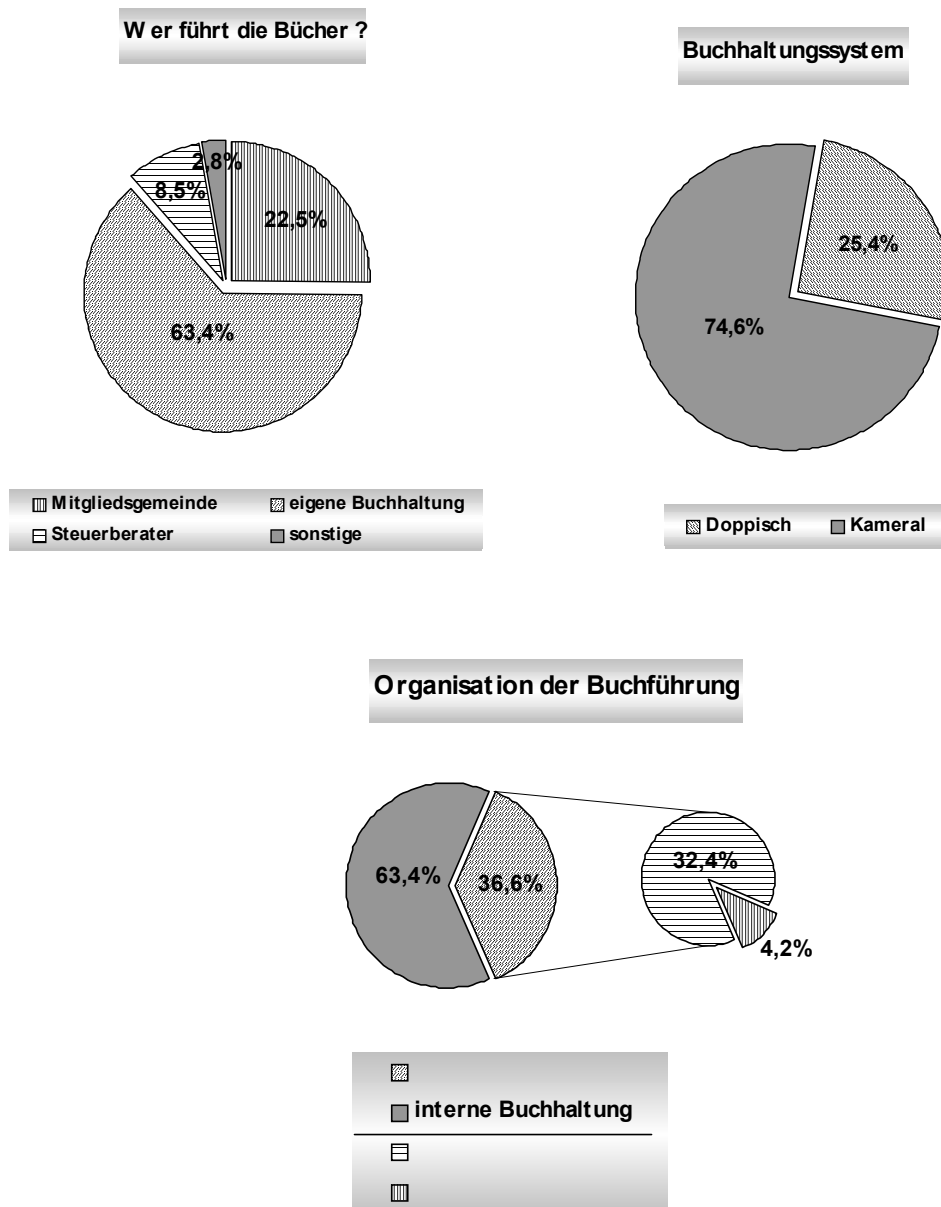


Abbildung 3-1: Struktur des Rechnungswesens

Der überwiegende Anteil der Teilnehmer führt eine kamerale Buchhaltung, wobei größtenteils auch im eigenen Haus gebucht wird. Knapp 40 % der Buchhaltungen werden extern durchgeführt.

Wird das Rechnungswesen nicht unmittelbar durch eigenes Personal der Organisation geführt, stellt sich zwangsläufig die Frage nach der Verrechnung. Im Falle von externen Dritten (Steuerberater) ist dies jedenfalls gegeben. Wird durch Mitgliedsgemeinden im Rahmen des Gemeindehaushaltes in einem eigenen Rechnungskreis gebucht, ist die Verrechnung nicht immer klar geregelt.

Der Anteil jener Teilnehmer, welche keinerlei Verrechnung durchführen, ist jedoch mit 4,2 % relativ gering. Die Abgrenzung von Verwaltungsleistungen gilt in diesem Fall jedoch als grundsätzlich problematisch (siehe auch Kapitel 11.2 unten).

Betrachtet man die Tiefe der Rechnungswesensysteme so ist festzustellen, dass überwiegend ein Mindestmaß an entsprechender Detaillierung fehlt. So wurde gerade bei 22,5 % der Teilnehmer eine durchgängige Trennung der Hauptbereiche Orts-/Verbandskanalisation, Kläranlage und Verwaltungskosten (Kostenstellenhauptgruppen) im Rahmen der Buchführung vorgefunden.

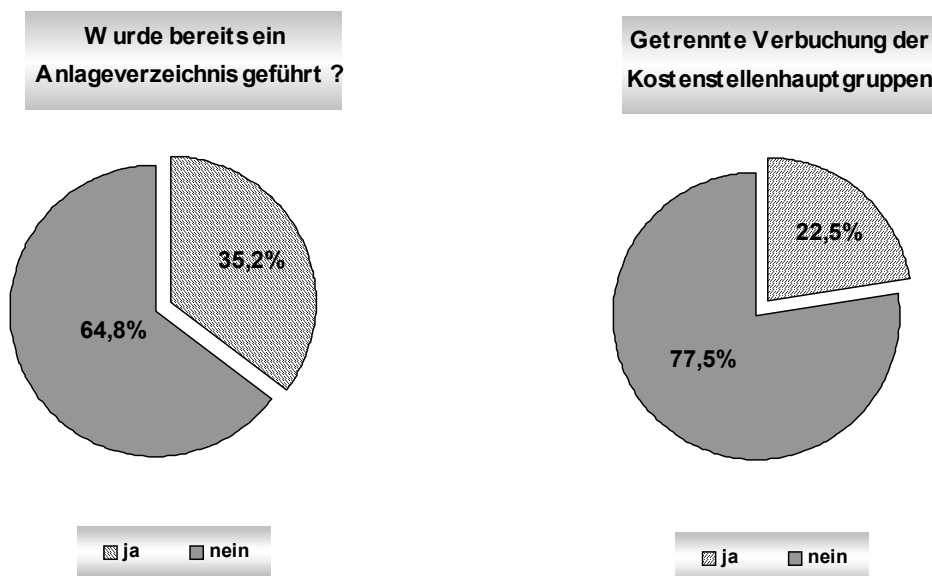


Abbildung 3-2: Getrennte Verbuchung – Führung Anlagenverzeichnis

Die Erfassung des Anlagevermögens in Form eines Anlagenspiegels haben rund 35 % der Benchmarking-Teilnehmer bereits vollzogen (wobei es sich dabei überwiegend um Doppiker handelt). Eine Aufgliederung des Anlagevermögens nach Hauptbereichen (siehe oben) haben zudem nur einzelne Teilnehmer bereits vorgenommen.

Im Zuge der Einführung der Kosten- und Leistungsrechnung (Einmalkostenrechnung) wurde für alle Benchmarking-Teilnehmer ein entsprechender Anlagenspiegel erstellt, welcher zukünftig durch die jährliche Eingabe lediglich der Anlagenzugänge ohne großen Aufwand aktualisiert werden kann.

4 Gesamtjahreskostenanalyse – Ableitung und Reinigung

Nachfolgende Analysen stellen die Anteile einzelner Kostenblöcke der Abwasserableitung und -reinigung im Verhältnis zu den Gesamtkosten - in Abhängigkeit der unterschiedlichen organisatorischen Gruppierungen - in Prozentverhältnissen dar.

Diese Gesamtkostenauswertung beinhaltet sämtliche erhobenen Jahreskosten, also auch Hilfskosten der Gesamtorganisation (Verwaltung, Werkstatt, Fuhrpark), welche im Zuge des Umlageverfahrens auf die einzelnen Hauptkostenstellen verteilt wurden.

4.1 Anteil der Jahresableitungs- bzw. Jahresreinigungskosten

Innerhalb der organisatorischen Gruppen (A = ARA; B = ARA u. Sammler; C = ARA u. Sammler u. Ortskanal) verteilen sich die Gesamtjahreskosten bezogen auf Abwasserableitung und Abwasserreinigung wie folgt:

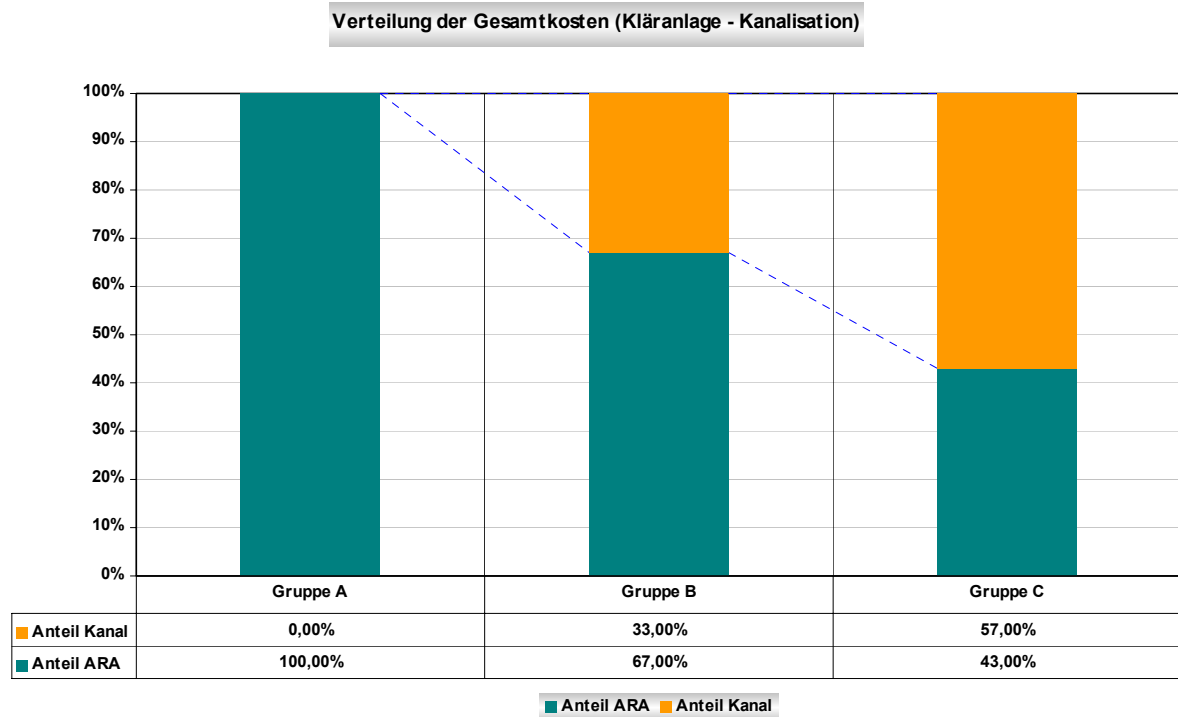


Abbildung 4-1: Verteilung der Gesamtkosten (Kläranlage – Kanalisation)

Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass sich die Kostenverteilung zwischen der Gruppe B und Gruppe C von einem Kläranlagenanteil von 67 % zu einem Anteil von 43 % verschiebt. Diese Veränderung ist durch die Kosten für die Errichtung und Betreuung der Ortskanäle erklärbar.

4.2 Betriebs- bzw. Kapitalkostenanteile an den Gesamtjahreskosten

Der Vergleich der Jahresgesamtkosten bezogen auf Kapital- und Betriebskosten führt zu folgendem Ergebnis:

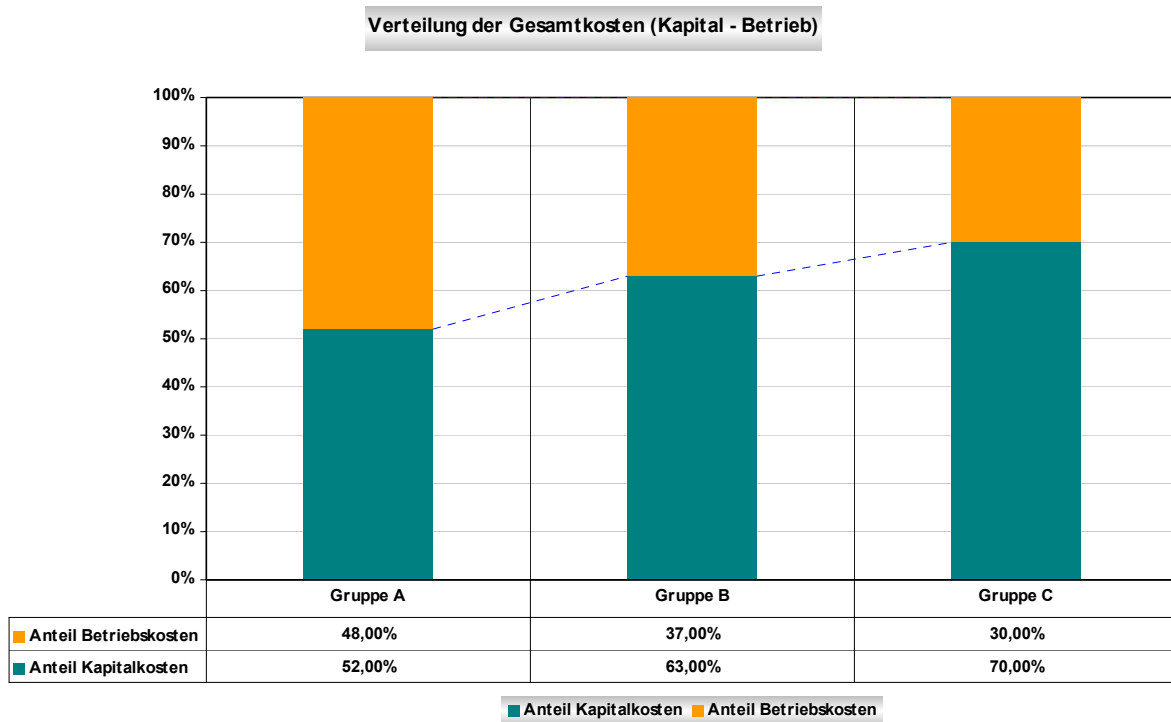


Abbildung 4-2: Verteilung der Gesamtkosten (Kapital – Betrieb)

Die zusätzliche Betreuung und Errichtung - einerseits der Verbandskanäle (Gruppe B) und andererseits der gesamten Kanalisation (Gruppe C) - ist in der Zunahme der Kapitalkosten erkennbar. Aus dieser Darstellung wird bereits ersichtlich, dass der Bereich der Abwasserableitung kapitalintensiver ist als die Abwasserreinigung.

Betrachtet man nur die Abwasserreinigung (Gruppe A) so ergibt sich ein Kapitalkostenanteil von 52 %. Bei Betreuung und Errichtung der gesamten Abwasserableitung und –reinigung ergibt sich ein Kapitalkostenanteil von bis zu 70 %.

5 Jahreskosten Abwasserableitung - gesamt

Die gesamten Jahreskosten werden nun für den Bereich der Abwasserableitung weiter analysiert. Dabei werden nur Ergebnisse für die Gruppen B und C berücksichtigt, da die Gruppe A ausschließlich die Abwasserreinigung durchführt.

5.1 Abwasserableitung – Betriebs- bzw. Kapitalkostenanteile

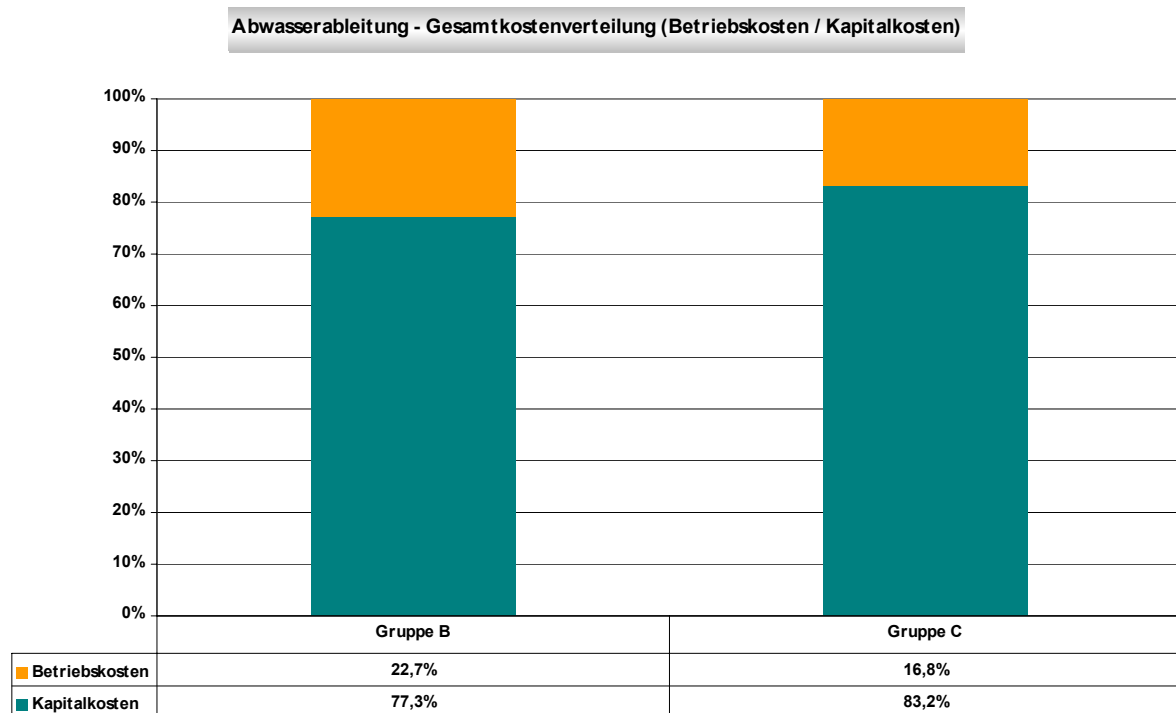


Abbildung 5-1: Abwasserableitung - Gesamtkostenverteilung (Betriebskosten / Kapitalkosten)

Wie schon beim Vergleich der Jahreskosten ersichtlich ist, wird mit zunehmender Kanalisation der Anteil der Kapitalkosten entsprechend höher. Im Bereich der Abwasserableitung ist der Anteil der Kapitalkosten mit 77 % bzw. 83 % wesentlich höher als im Bereich der Gesamtkosten (Kosten inklusive ARA).

Interessant ist dabei, dass der Unterschied zwischen der Gruppe B und der Gruppe C bei dieser Betrachtung nicht sehr groß ist. Demnach ist davon auszugehen, dass die zusätzliche Durchführung der Errichtung und des Betriebes

von Ortskanälen innerhalb eines Verbandes oder einer Gemeinde die Jahreskosten gleichermaßen kapital- als auch betriebskostenseitig steigert.

5.2 Abwasserableitung - baulich bzw. maschineller Kapitalkostenanteil

Der Vergleich der Jahreskapitalkosten hinsichtlich des baulich- bzw. maschinellen Anteiles lässt sich wie folgt darstellen:

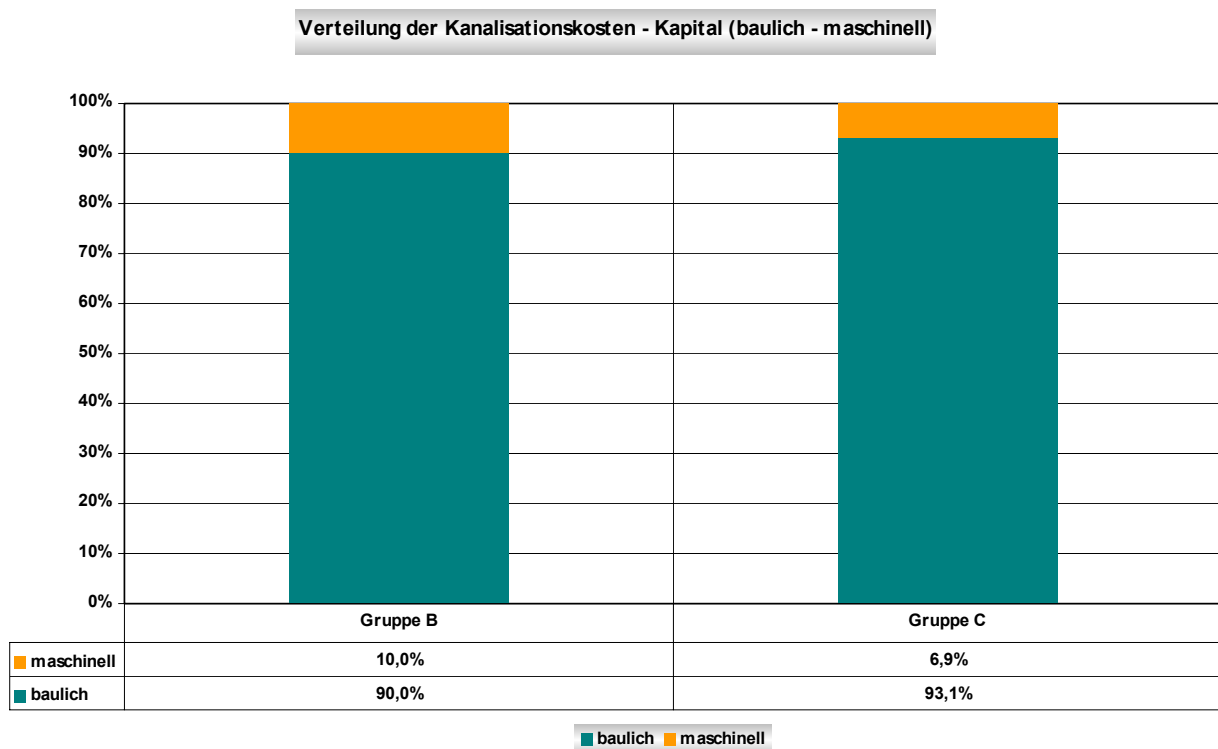


Abbildung 5-2: Verteilung der Kanalisationskosten –Kapital (baulich – maschinell)

Den überwiegenden Teil der Kapitalkosten (rund 90 %) stellen im Bereich der **Kanalisation die baulichen Investitionen dar. Deutlich wird auch hier die fehlende Differenz im Unterschied zwischen der Gruppe B und der Gruppe C.**

6 Jahreskosten Abwasserableitung - Detailauswertung

Im nächsten Schritt werden die Kostenblöcke innerhalb der Abwasserableitung im Detail analysiert. Dabei werden einerseits die Verteilung innerhalb der definierten Prozesse bzw. andererseits auch die Anteile der untersuchten Kostenarten dargestellt.

6.1 Jahreskapitalkosten Kanalisation bzw. Sonderbauwerke

Der Anteil der Jahreskapitalkosten wurde bezogen auf die Kostenstellengruppen „Kanalisation“ und „Sonderbauwerke“ (= Pumpwerke, Regenüberlaufbecken etc.) unter Berücksichtigung der organisatorischen Kriterien untersucht:

Die Analyse der Kapitalkostenanteile ergibt unter Berücksichtigung der Kostenstellenzuordnung im Detail folgendes Bild:

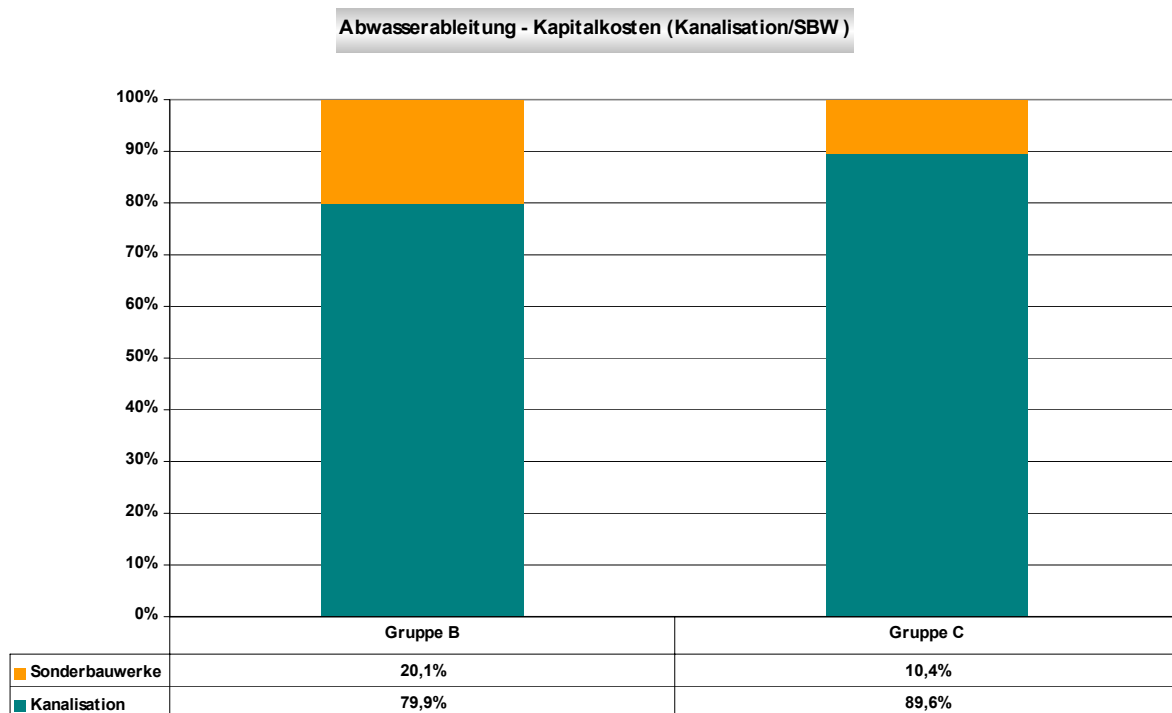


Abbildung 6-1: Abwasserableitung - Kapitalkosten (Kanalisation/SBW)

Es wird deutlich, dass sich der überwiegende Teil der Jahreskapitalkosten im Bereich der reinen Kanalisation niederschlägt. Dieser Anteil von rund 80 % erhöht sich innerhalb der Gruppe C (Errichtung und Betrieb der Gesamtkanalisation) noch deutlich auf nahezu 90 %.

6.2 Jahresbetriebskosten Kanalisation bzw. Sonderbauwerke

Wird die selbe Auswertung auf den Bereich der Betriebskosten angewendet, wird eine deutliche Verschiebung dieses Verhältnisses sichtbar:

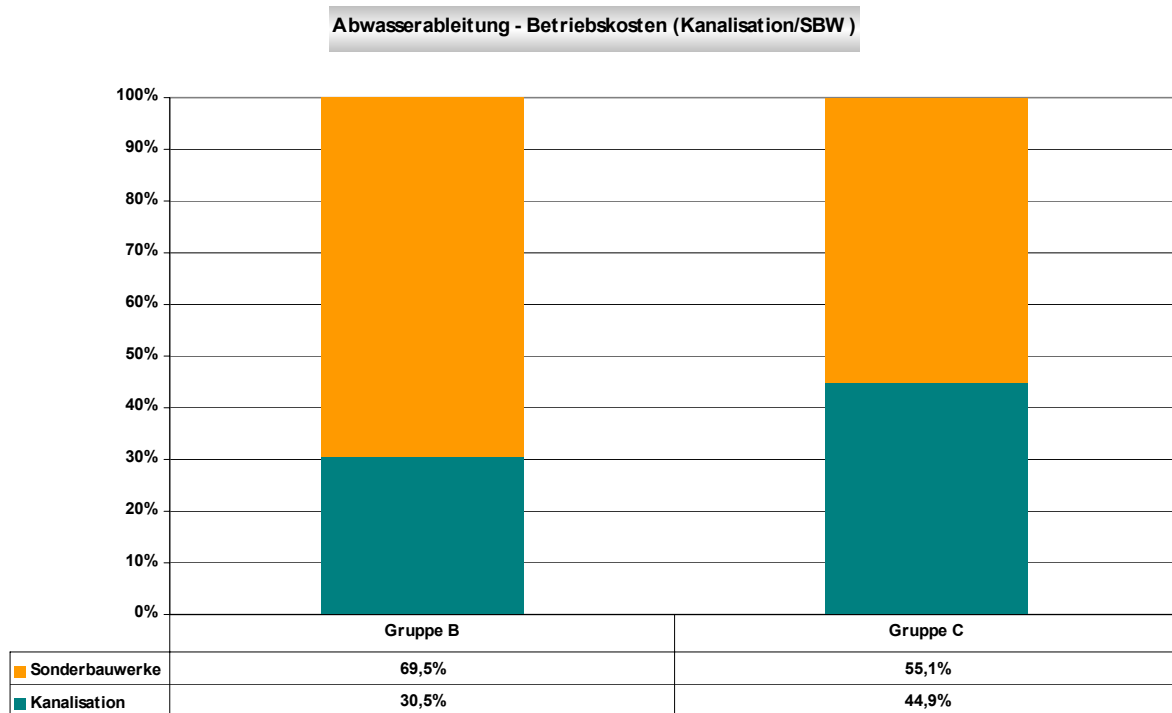


Abbildung 6-2: Abwasserableitung Betriebskosten (Kanalisation/SBW)

Die Betriebskosten im Bereich der Abwasserableitung schlagen sich anteilmäßig größtenteils im Betrieb der Sonderbauwerke nieder. Interessant ist, dass der Betriebskostenanteil Kanalisation bei der Gruppe C im Vergleich zu den Investitionskosten überproportional zunimmt.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass **55 % bis 69 % der Betriebskosten** der Abwasserableitung im Bereich der **Sonderbauwerke** anfallen.

6.3 Kapital- bzw. Betriebskosten bezogen auf Kostenstellen der Abwasserableitung

Die gemeinsame Darstellung dieser Kostenverteilungen innerhalb der Abwasserableitung zeigt nachfolgende Grafik:

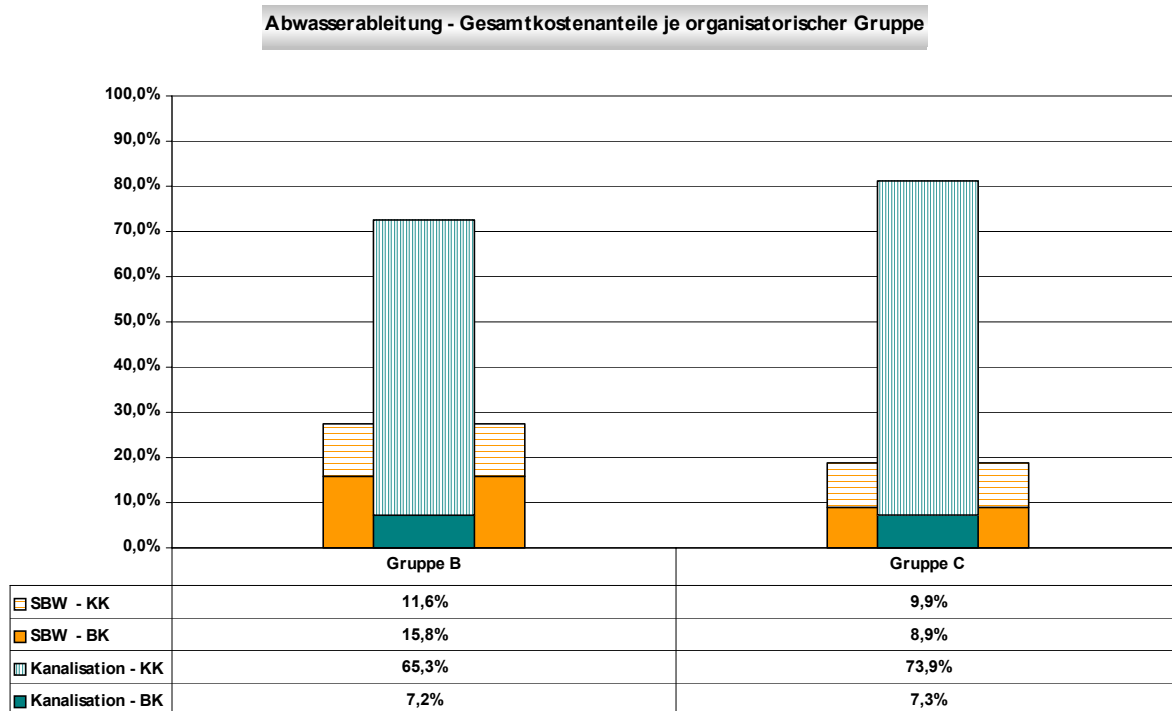


Abbildung 6-3: Abwasserableitung – Gesamtkostenanteile je organisatorischer Gruppe

Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass der unmittelbar beeinflussbare Bereich der Betriebskosten (SBW-BK und Kanalisation-BK) im Rahmen der Abwasserableitung mit rund 22 % bzw. 17 % relativ gering bleibt.

6.4 Abwasserableitung Betriebskosten- Kostenartenstruktur

Die Zuordnung sämtlicher Betriebskosten zu den definierten Kostenarten ermöglicht die Auswertung der Kostenartenblöcke innerhalb der Abwasserableitung.

Die kostenartenspezifische Verteilung der Betriebskosten wird in nachfolgender Grafik dargestellt:

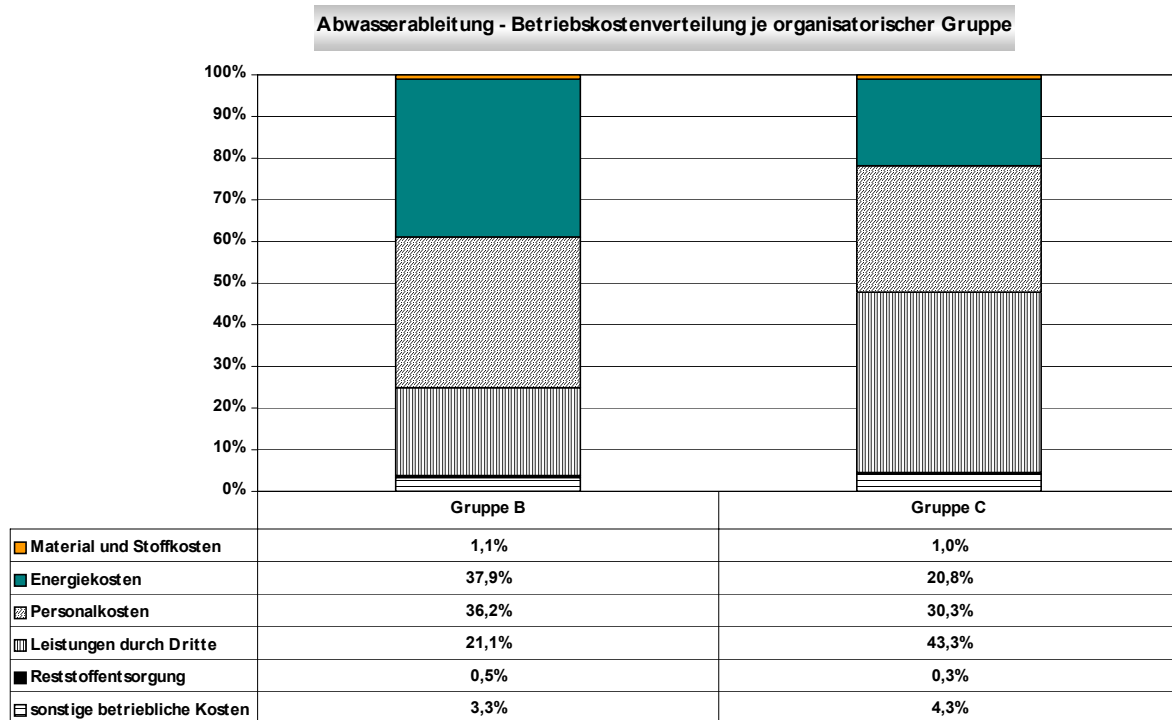


Abbildung 6-4: Abwasserableitung – Betriebskostenverteilung je organisatorischer Gruppe

Die wesentlichsten Kostenblöcke im Betrieb der Abwasserableitung bilden die

- Energiekosten
- Personalkosten
- Leistungen durch Dritte.

Auffallend ist im Vergleich der organisatorischen Gruppen die starke Ausweitung der Drittleistungen innerhalb der Gruppe C auf das Doppelte. Ebenso gibt es eine deutliche Verschiebung der Betriebskostenanteile im Bereich der Energiekosten, welche jedoch primär unterschiedlichen Pumpwerksanteilen zu Grunde zu legen sind.

7 Jahreskosten Kläranlage - Gesamt

Analog zu den Auswertungen im Bereich der Abwasserableitung werden nun die Kostenanteile im Bereich der Abwasserreinigung in Prozentanteilen dargestellt.

Im Gegensatz zu den Analysen der Abwasserableitung werden im Bereich der Kläranlagen nicht die organisatorischen Kriterien, sondern die Größengruppen (siehe Kapitel 2) für eine Unterteilung herangezogen.

7.1 Abwasserreinigung – Betriebs- bzw. Kapitalkostenanteile

Das Verhältnis Kapitalkosten zu Betriebskosten im Bereich der Abwasserreinigung lässt sich unter Berücksichtigung der Größengruppen wie folgt darstellen:

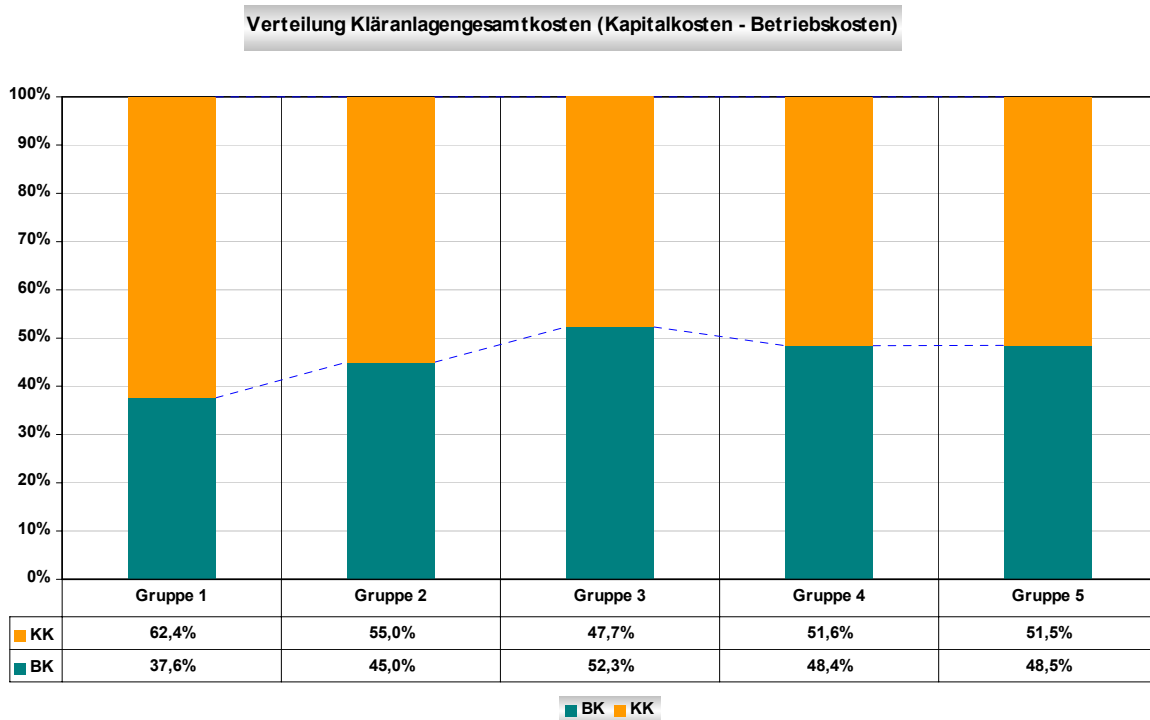


Abbildung 7-1: Verteilung Kläranlagengesamtkosten (Kapitalkosten – Betriebskosten)

Die Gegenüberstellung der Kapital- und Betriebskosten zeigt deutlich, dass mit zunehmender Kläranlagengröße der Betriebskostenanteil steigt und *sich ab einer Größe von ca. 12.000 EW-CSB₁₁₀ (Gruppe 3) bei einem*

Betriebskostenanteil von ca. 50 % einpendelt. Bei **kleinen Kläranlagen** ist der Betriebskostenanteil mit ca. **38 % wesentlich** geringer.

7.2 Abwasserreinigung – Baulich bzw. maschineller Kapitalkostenanteil

Die Unterscheidung der Kapitaljahreskosten bezogen auf bauliche und maschinelle Anteile der Abwasserreinigung ergibt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kläranlagengrößen nachfolgende Ergebnisse:

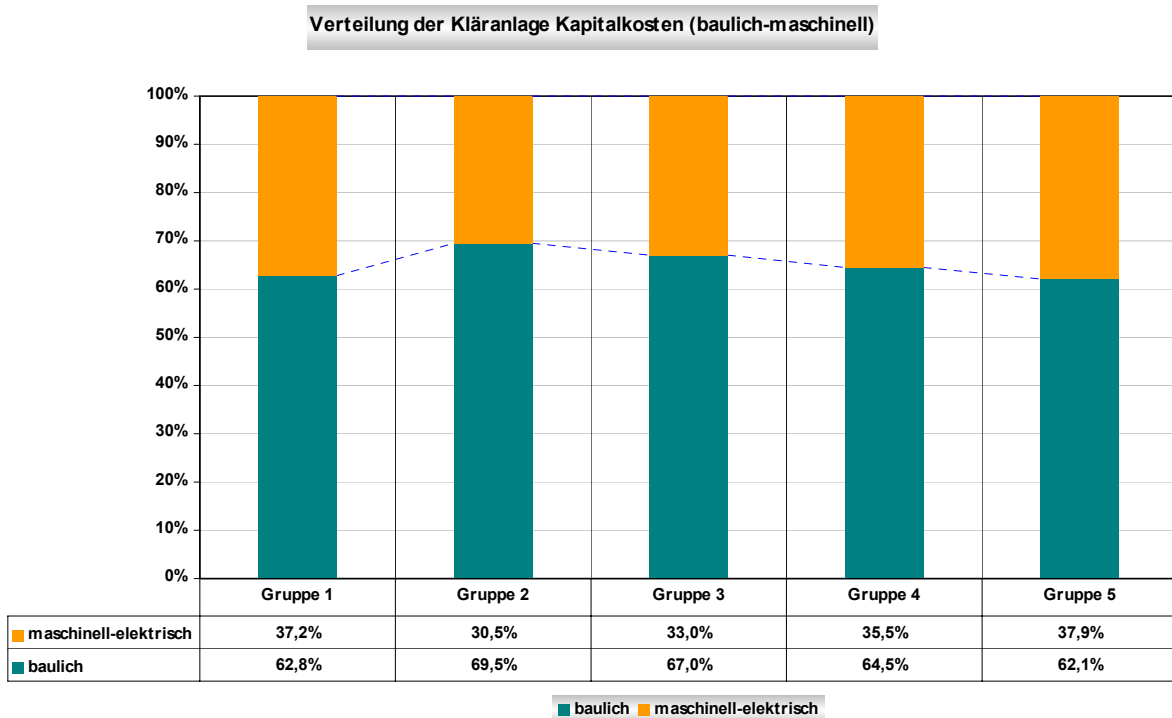


Abbildung 7-2: Verteilung der Kläranlage Kapitalkosten (baulich – maschinell)

Offensichtlich wird, dass der Anteil der maschinell-elektrischen Jahreskosten keinen signifikanten Zusammenhang mit der Kläranlagengröße aufweist und sich demnach auch die baulichen Anlagenteile größenunabhängig und bei ungefähr **65 % der Jahreskapitalkosten** darstellen.

8 Jahreskosten Abwasserreinigung – Detailauswertung

Nachfolgende Analysen gehen im Detail auf die Kostenarten- und Kostenstellenstruktur ein. Diese Auswertungen berücksichtigen keine organisatorischen Hilfskosten (Verwaltung, Fuhrpark und Werkstatt). Der detaillierten Analyse dieser Hilfskosten ist ein eigenes Kapitel gewidmet (siehe Kapitel 11 unten).

8.1 Betriebskostenverteilung Prozesse

Die Verteilung der Kläranlagenbetriebskosten auf die Prozesse in Abhängigkeit der Größengruppen stellt sich demnach wie folgt dar:

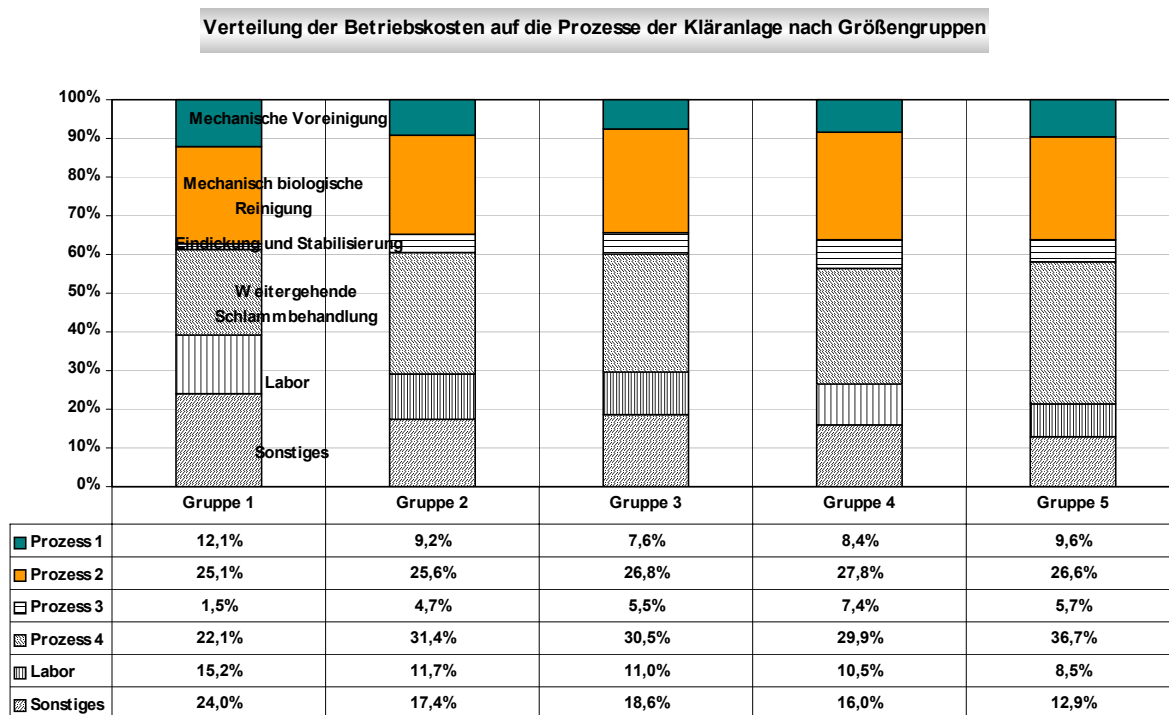


Abbildung 8-1: Verteilung der Betriebskosten auf die Pro

Aus dieser Auswertung ist deutlich erkennbar, dass sich das Verhältnis der prozessbezogenen Betriebskosten der Kläranlage mit zunehmender Größe nicht extrem verändert.

Deutlich ist ersichtlich, dass die Jahresbetriebskosten im Bereich Labor die kleinen Kläranlagen wesentlich höher belasten als dies bei größeren Anlagen der

Fall ist. Für diesen Bereich kommt die Fixkostendegression voll zum Tragen (Gruppe 1 nicht repräsentativ!).

8.2 Betriebskosten - Verteilung der Kostenarten

Ein Vergleich der Hauptkostenarten der Kläranlage bezogen auf einzelne Prozesse ermöglicht die Verteilung der Kostenarten innerhalb eines Prozesses, differenziert nach Größengruppen. Folgende Hauptkostenarten werden dargestellt:

- Materialkosten
- Kosten für chemische Mittel
- Personalkosten
- Kosten für Leistungen durch Dritte (Reparatur und laufender Betrieb)
- Energiekosten
- Entsorgungskosten
- Sonstige Kosten

Vergleicht man die Kostenartenanteile des Kläranlagenbereiches, so lässt sich folgende Kostenverteilung je nach Kläranlagengröße ermitteln:

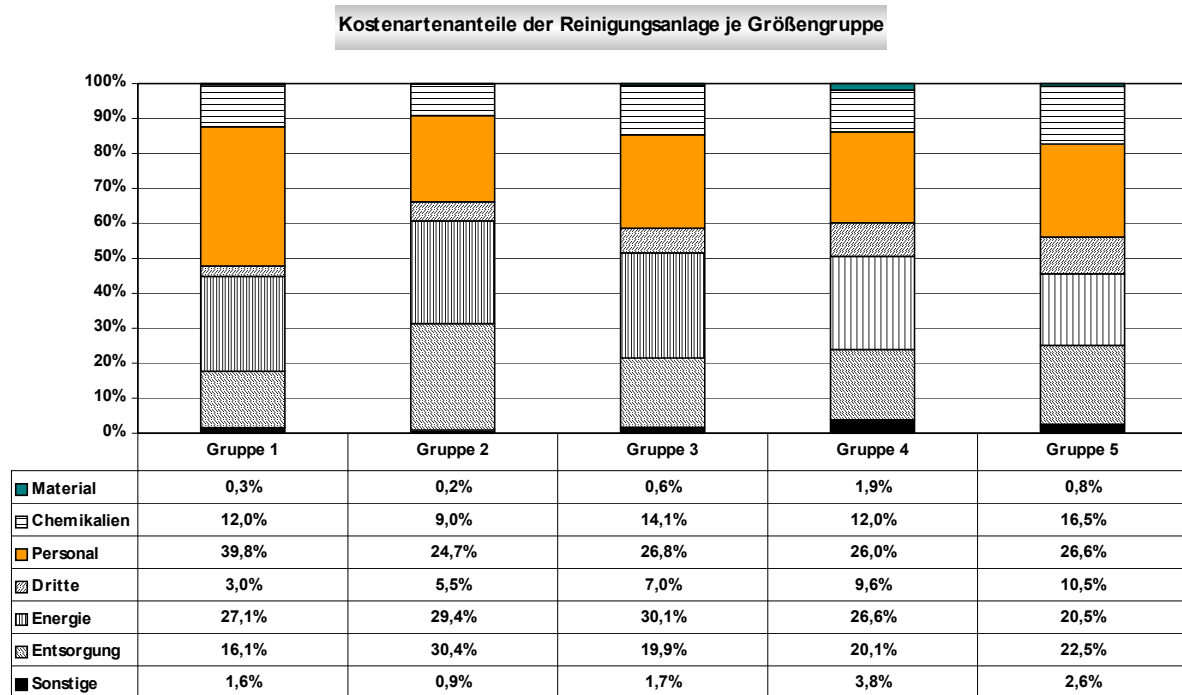


Abbildung 8-2: Kostenartenanteile der Reinigungsanlage je Größengruppe

Diese Auswertung zeigt deutlich die wesentlichsten Kostenblöcke in der Abwasserreinigung:

- Personal (Gruppe 1 rd. 40 % - Gruppen 2 bis 5 rd. 26 %)
- Energie (rd. 21 % bis 30 %)
- Entsorgung (rd. 16 % bis 30 %)

Erkennbar ist, dass der Anteil der einzelnen Kostenblöcke keine differenzierten nach Größengruppen signifikanten Unterschiede aufweist. Ausnahme dabei bilden auf Grund der unterschiedlichen Möglichkeiten die Entsorgungskosten (überwiegend Klärschlamm, nur gering Rechengut). Wie oben ersichtlich ist, schwankt der Anteil in diesem Bereich zwischen 15 % und 30 %.

Den größten Betriebskostenblock der Abwasserreinigung bilden die Personalkosten. Diese nehmen jedoch mit zunehmender Größe der Kläranlage ab.

Betrachtet man den Personalkostenblock der Reinigungsanlage im Detail bezogen auf die Prozesse und unter Berücksichtigung der Größengruppen, so stellt sich das Bild wie folgt dar:

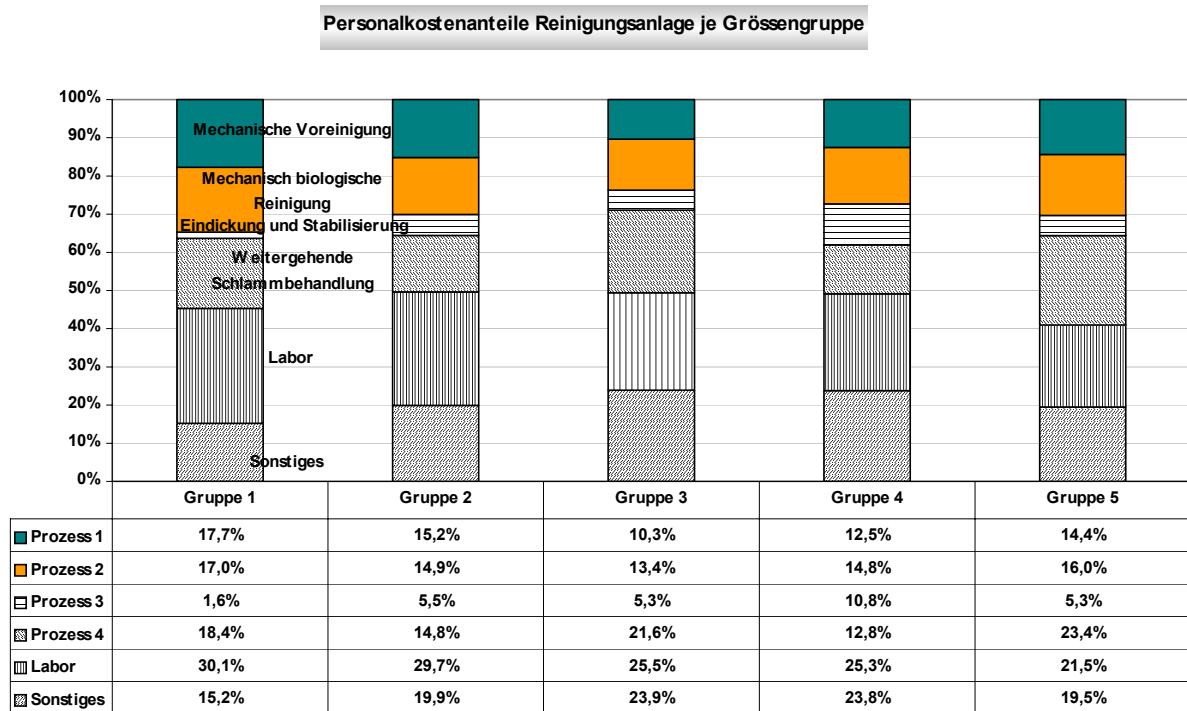


Abbildung 8-3: Personalkostenanteile Reinigungsanlage je Größengruppe

Ersichtlich wird, dass die bereits oben herausgearbeitete **Fixkostendegression im Bereich des Labors im Wesentlichen auf die Personalkosten zurückzuführen** ist.

Wiederum ist der hohe Anteil der sonstigen Leistungen im Bereich „Personalkosten Kläranlagen“ zu erkennen (siehe 8.1 oben).

8.3 Kostenartenverteilung – Detailprozesse Kläranlage

In einem weiteren Detaillierungsschritt wird es nun möglich, die einzelnen Prozesse auf ihre Kostenartenanteile zu analysieren. Diese Auswertung zeigt in einzelnen Prozessen doch deutliche Schwankungen in der Verteilung. Dies ist im Einzelnen auch auf die unterschiedlichen technischen Verfahren zurückzuführen.

8.3.1 Kostenverteilung Kläranlage - Mechanische Vorreinigung (Prozess 1)

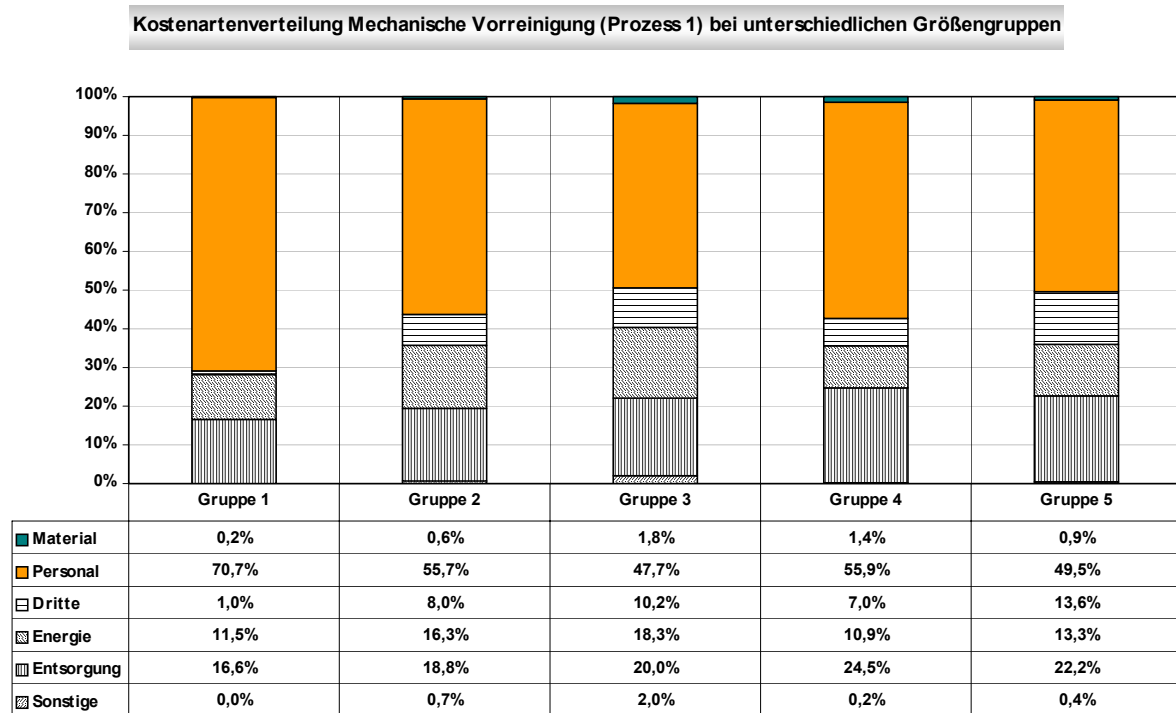


Abbildung 8-4: Kostenartenverteilung Mechanische Vorreinigung (Prozess 1) bei unterschiedlichen Größengruppen

Den Hauptkostenanteil im Bereich der mechanischen Vorreinigung stellen die Personalkosten dar, wobei sich der Anteil von knapp 70 % (Gruppe 1) auf ca. 50 % Gruppe 5 reduziert.

8.3.2 Kostenverteilung Kläranlage – Mechanisch-Biologische Reinigung (Prozess 2)

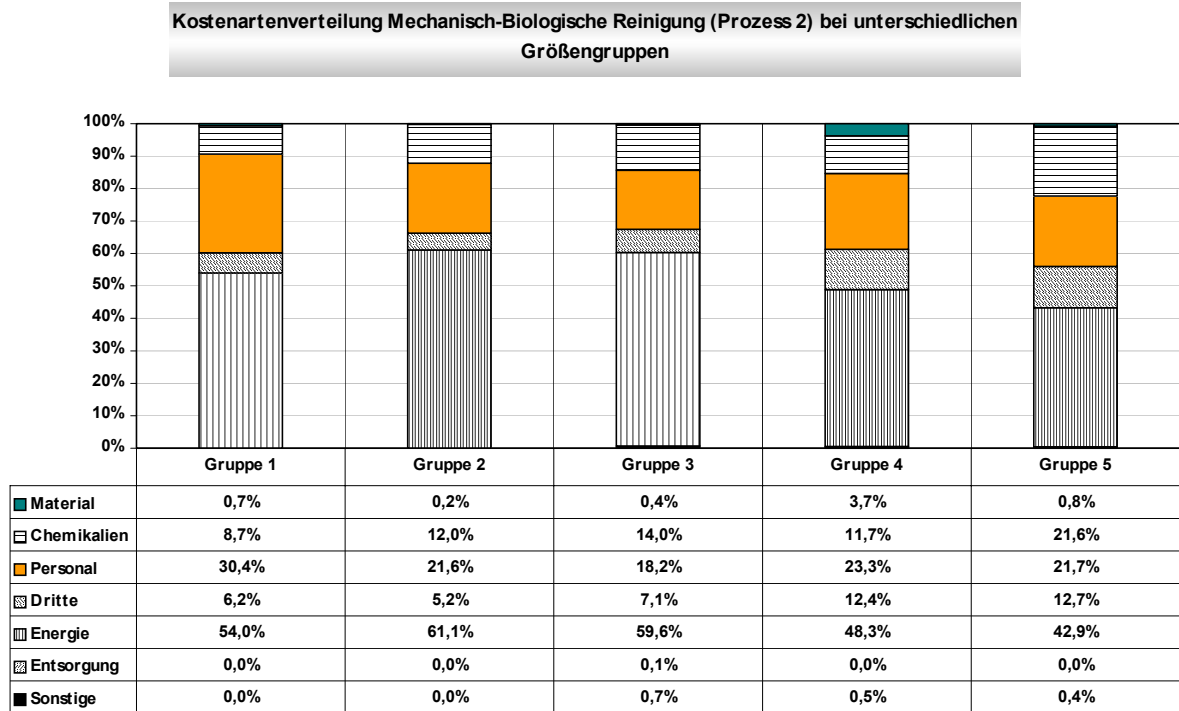


Abbildung 8-5: Kostenartenverteilung Mechanisch-Biologische Reinigung (Prozess 2) bei unterschiedlichen Größengruppen

Den größten Kostenblock stellen im Bereich der Biologie die Energiekosten dar. Dabei ist interessant, dass mit zunehmender Kläranlagengröße der Anteil von ca. 60 % bei kleineren Anlagen auf knapp 40 % um einen deutlichen Anteil sinkt.

8.3.3 Kostenverteilung Kläranlage – Eindickung/Stabilisierung (Prozess 3)

Die Verteilung der Kostenarten bezogen auf die Eindickung und Stabilisierung stellt sich wie folgt dar:

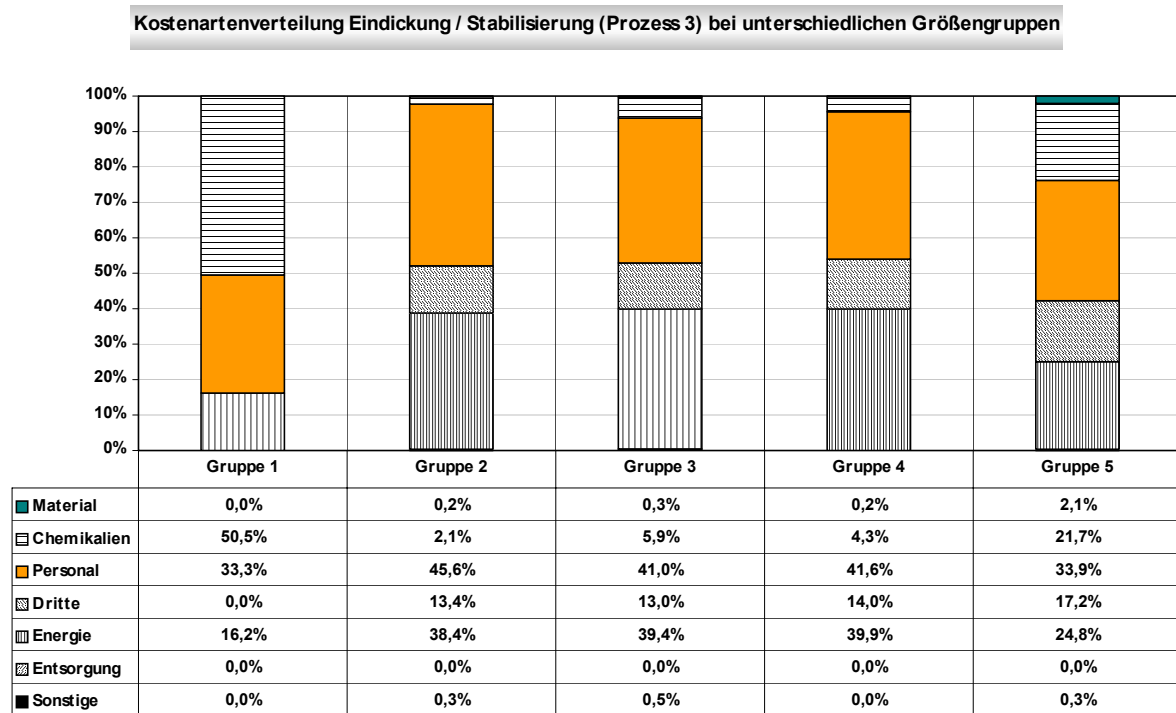


Abbildung 8-6: Kostenartenverteilung Eindickung/Stabilisierung (Prozess 3) bei unterschiedlichen Größengruppen

Die extreme Abweichung in der Verteilung innerhalb der Kostenarten in der Gruppe 1 ist ausschließlich auf ein Einzelergebnis zurückzuführen, da alle anderen Kläranlagen der Gruppe 1 eine simultane Stabilisierung durchführen. Trotzdem schlagen sich auch in den anderen Gruppen die unterschiedlichen technischen Verfahren stark durch.

Bemerkenswert ist zudem, dass der Anteil der Personalkosten an den Gesamtkosten im Prozess 3 mit zunehmender Kläranlagengröße deutlich zunimmt.

8.3.4 Kostenverteilung Kläranlage – Weitergehende Schlammbehandlung (Prozess 4)

Die weitergehende Schlammbehandlung weist folgende Kostenverteilung auf:

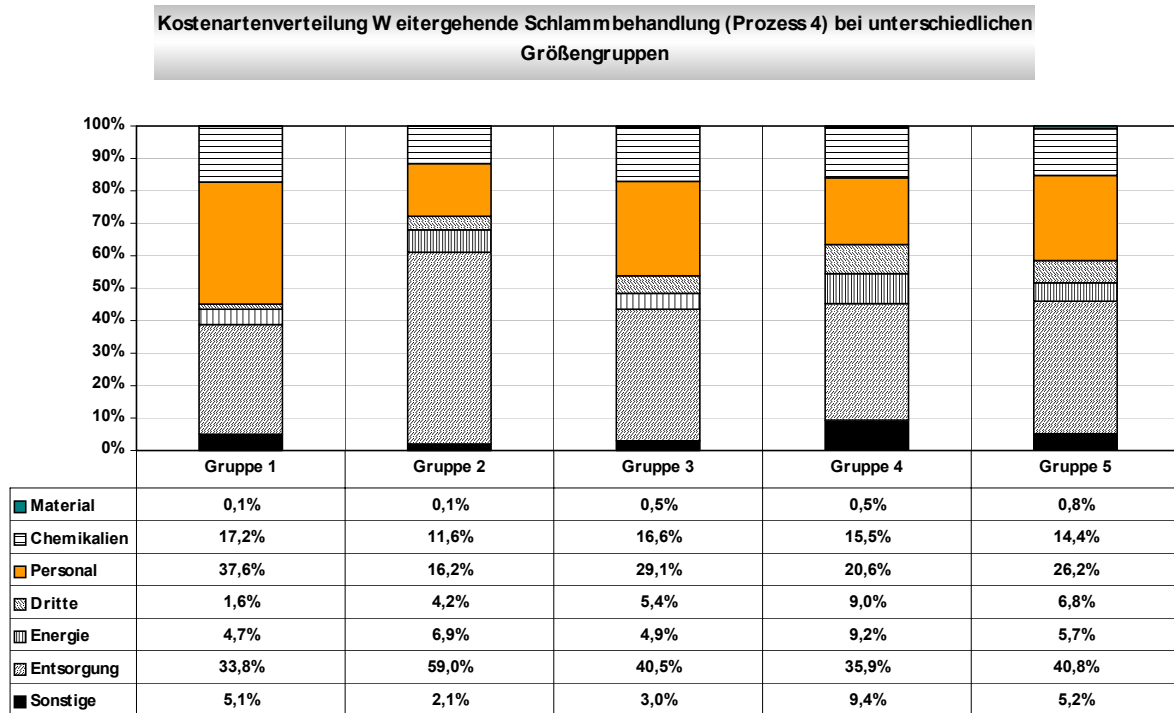


Abbildung 8-7: Kostenartenverteilung Weitergehende Schlammbehandlung (Prozess 4) bei unterschiedlichen Größengruppen

Den größten Kostenanteil stellen die Entsorgungskosten dar, wobei sich der Prozentanteil je nach Kläranlagengröße verschiebt. Insbesondere in der Gruppe 2 werden offensichtlich die **geringeren Personalkosten durch höhere Entsorgungskosten überkompensiert**.

9 EXKURS – Individualauswertungen – Beispiel

Parallel zur Kostenstrukturanalyse bezogen auf organisatorische Gruppen bzw. Größenklassen im Bereich der Reinigungsanlagen, wurde die Kostenstruktur der einzelnen Teilnehmer des Benchmarking-Projektes analysiert.

Im Folgenden wird die Individualanalyse, welche für jeden Einzelteilnehmer durchgeführt wurde, kurz erläutert.

Neben den Individualauswertungen der Gesamtjahreskosten auf Basis der Ist-Kostenrechnung und der Darstellung der Kapitalkosten wird insbesondere der Bereich der Betriebskosten im Detail analysiert und in Bezug zu technisch und größenmäßig vergleichbaren Werten gesetzt.

Die Teilnehmer sollen dadurch einen einfachen und raschen Überblick bezüglich Handlungsbedarf und maximal möglichem Verbesserungspotenzial erhalten.

Als Bezugsgröße werden beispielsweise im Bereich Abwasserreinigung die rückgerechneten EW-CSB₁₁₀ zur Generierung von relativen Kennzahlen herangezogen.

Die Individualdarstellung eines Teilnehmers könnte sich demnach folgendermaßen darstellen:

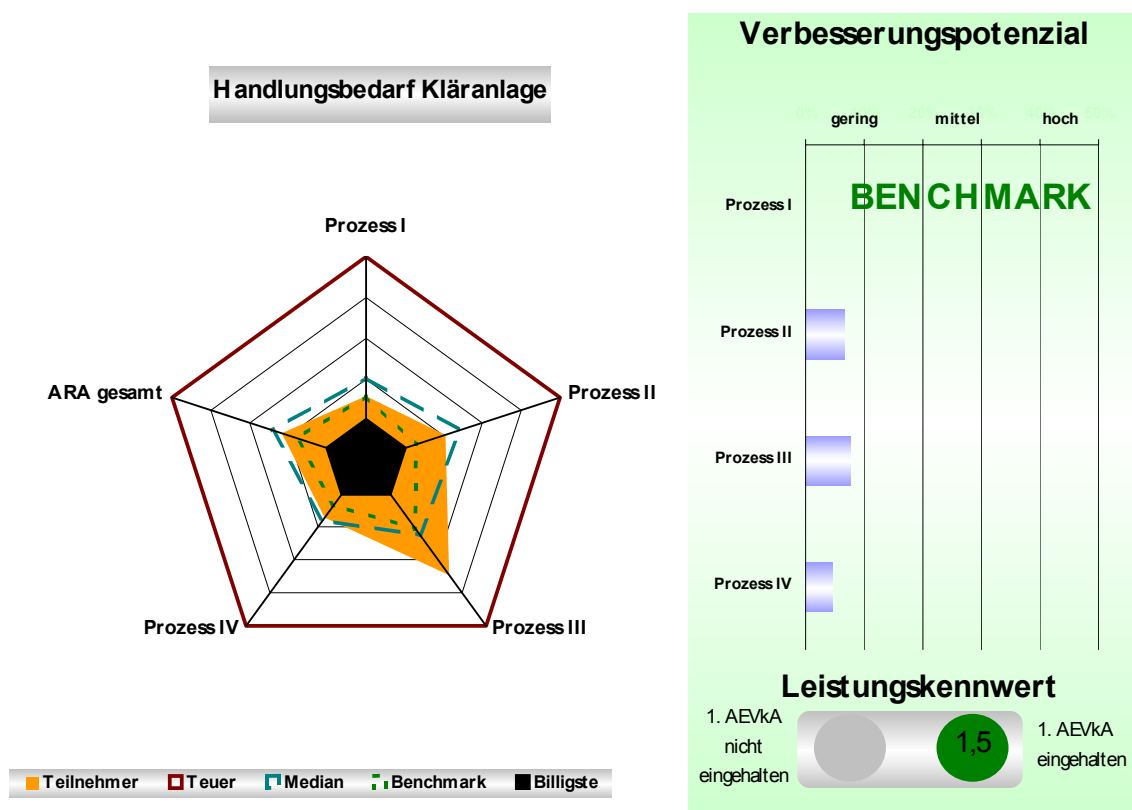


Abbildung 9-1: Individualauswertung eines Teilnehmers – Beispiel

Handlungsbedarf:

Die innere, schwarze Fläche stellt den Bereich der im Vergleich günstigsten Reinigungsanlagen derselben Gruppe (technisch und größenmäßig) dar. Es werden sowohl die einzelnen Prozesse der Reinigungsanlage dargestellt als auch die Kläranlage gesamt. Der kostenmäßig höchste Wert der Gruppe wird mit der roten Umrandung dargestellt. Die **lang strichlierte Linie** stellt den **Median der Gruppe** dar, während die **kurz strichlierte Linie** den jeweiligen **Benchmarkwert** (Prozesse und Reinigungsanlage gesamt) **der Gruppe** darstellt.

Die Fläche stellt die Werte des jeweiligen Teilnehmers und das Verhältnis der eigenen Kosten- und Leistungsstruktur zum Billigsten (schwarz) bzw. zur Benchmark sowie in Relation zum Teuersten (rot) dar und zeigt den **Handlungsbedarf** auf.

Verbesserungspotenzial:

Nun muss ein großer Handlungsbedarf innerhalb eines Prozesses nicht unbedingt bedeuten, dass eine diesbezügliche Verbesserung kostenmäßig stark durchschlägt. Deshalb wird in nebenstehender Grafik (Verbesserungspotenzial) der Handlungsbedarf bzw. das Verbesserungspotenzial kostenmäßig bewertet. Daraus ergibt sich nun das **mögliche Verbesserungspotenzial** für den jeweiligen Teilnehmer.

Leistungskennwert:

Zur qualitativen Leistungsbeurteilung ist auch der individuelle Leistungskennwert dargestellt. Der Leistungskennwert ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung. Ist der Leistungskennwert $> 2,5$ kann die 1. Abwasser-Emissions-Verordnung für kommunales Abwasser 1. AEVka nicht eingehalten werden. Bei einem Leistungskennwert $\leq 2,5$ ist keine zuverlässige Aussage möglich ob die 1. AEVka eingehalten wird oder nicht. Es wird daher einerseits der Leistungskennwert angegeben und andererseits gekennzeichnet ob die 1. AEVka eingehalten wurde oder nicht. Der Punkt links bedeuten 1. AEVka nicht eingehalten, der Punkt rechts kennzeichnet, dass die Anlage die 1. AEVka erfüllt.

Die Grafik ist demnach wie folgt zu interpretieren:

Für die mechanische Vorreinigung (Prozess I) würde dieser Teilnehmer in seiner Gruppe die Benchmark darstellen. Dort ist der Handlungsbedarf gleich dem Benchmarkwert.

Im Bereich der mechanisch-biologischen Reinigung (Prozess II) weist der Teilnehmer ebenfalls nur ein geringes Verbesserungspotenzial auf und liegt mit seinem Wert zwischen der Benchmark und dem Median. Das größte Verbesserungspotenzial dieses Teilnehmers liegt in der Eindickung und Stabilisierung (Prozess III). Dort liegt er doch deutlich über dem Billigsten (der allerdings die geforderte Reinigungsleistung nicht erfüllt), aber auch über der Benchmark und dem Median. Der Handlungsbedarf in der weitergehenden Schlammbehandlung (Prozess IV) ist wiederum gering.

Betrachtet man das Verbesserungspotenzial wird ersichtlich, dass der geringe Handlungsbedarf im Prozess II fast dasselbe Potenzial in sich birgt, wie der größere Handlungsbedarf im Prozess III. D.h. eine Verbesserung im Prozess II kann sich kostenmäßig ebenso stark auswirken, wie im Prozess III.

Abgesehen vom möglichen kostenmäßigen Verbesserungspotenzial gibt es beim gegenständlichen Benchmarking-Teilnehmer kein technisches Verbesserungspotenzial. Dies bedeutet, dass die 1. Abwasser-Emmissions-Verordnung für kommunales Abwasser (1.AEV) von diesem Teilnehmer erfüllt wird (siehe positive – rechte Leistungskennzahl).

10 Kläranlagenbetriebskosten Minima / Maxima / Median je EW-CSB110

Die in diesem Kapitel dargestellten Werte umfassen die Prozesskosten der Abwasserreinigung im Detail bezogen auf die einzelnen Kostenarten. Es handelt sich dabei um jene Betriebskosten, welche direkt den Prozessen zuordenbar sind. Die Werte enthalten dabei keine Umlagekosten (indirekt den Prozessen angelastete Kosten) sondern ausschließlich Primärkosten (direkt den Prozessen angelastete Kosten).

Die Kostenumlagen werden in der Benchmarkfindung jedenfalls berücksichtigt, um die gesamten Betriebskosten der einzelnen Prozesses darzustellen. Demnach unterscheiden sich die im Folgenden dargestellten Werte von der Benchmarking –Auswertung. Die folgende Betrachtung ermöglicht einen kostenartenspezifischen Vergleich der einzelnen Prozesskosten (Minimum/Maximum/Median).

D.h. neben dem Vergleich der gesamten Prozesskosten wird auch ein Vergleich der einzelnen Kostenarten durchgeführt.

Aus der technischen Erhebung wurden die rückgerechneten Einwohner auf Basis CSB_{110} als Bezugsgröße herangezogen, um die relativen Betriebskosten für die Kläranlagengruppen zu errechnen.

10.1 Größengruppe 1 (ARA <5000 EW)

Der Vergleich der Größengruppe 1 – Kläranlagen kleiner 5.000 EW- CSB_{110} lässt sich auf Basis der relativen Betriebskosten (exklusive Umlagekosten) durchführen.

Gesamtergebnis – Größengruppe 1

Aus dem Vergleich der Benchmarking-Teilnehmer ergibt sich für die Größengruppe 1 ein Einsparungspotenzial zwischen ca. ATS 260.000,-- p.a. (EUR 18.894,94) ca. 27 % und ca. ATS 960.000,-- p.a. (EUR 69.765,92) ca. 57 %.

Hinweis: Dabei ist hinzuweisen, dass dieses Gesamteinsparungspotenzial in Einzelfällen durch die vorhandene technische Ausstattung der Kläranlage nicht erreichbar ist.

10.1.1 Prozessbetriebskosten je EW-CSB₁₁₀ – Gesamt

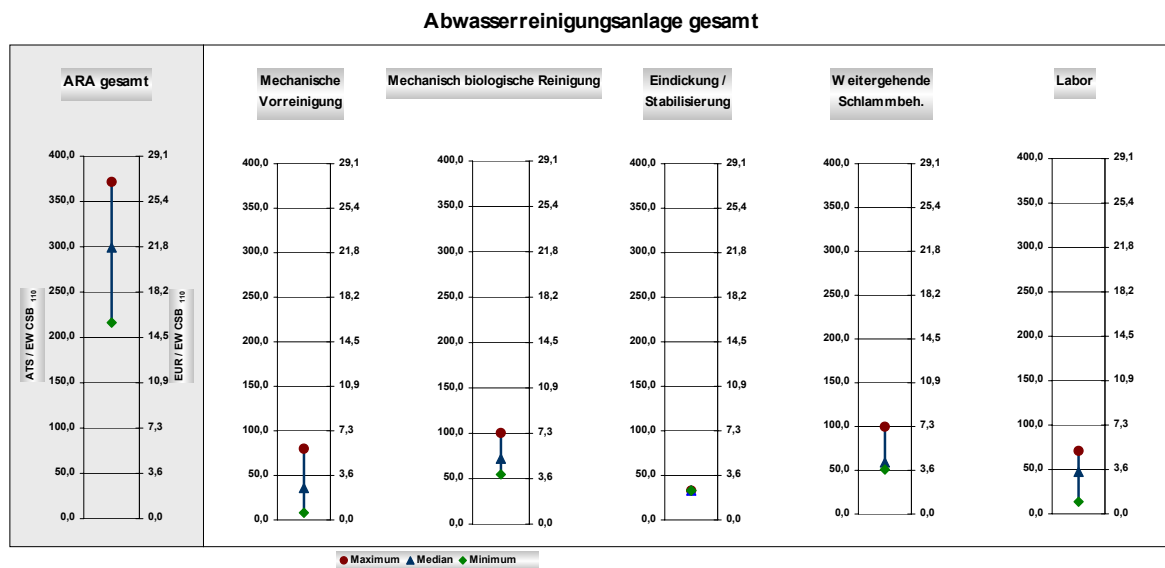


Abbildung 10-1: Größengruppe 1 - Prozessbetriebskosten - gesamt

ATS/EUR pro EW -CSB110	MIN		MAX		MEDIAN	
	ATS	EUR	ATS	EUR	ATS	EUR
Mechanische Vorreinigung	8,00	0,58	80,00	5,81	36,00	2,62
Mechanische biologische Reinigung	55,00	4,00	100,00	7,27	72,00	5,23
Eindickung/ Stabilisierung	Ergebnis nur von einem Teilnehmer - Einzelwerte werden nicht dargestellt					
Weitergehende Schlammbehandlung	51,00	3,71	100,00	7,27	59,00	4,29
Labor	14,00	1,02	71,00	5,16	47,00	3,42
ARA Gesamt	216,00	15,70	372,00	27,03	299,00	21,73

Tabelle 10-1: Größengruppe 1 - Kostenarten Prozessbetriebskosten - gesamt

10.2 Größengruppe 2 (ARA >5.000 und <12.000 EW-CSB₁₁₀)

Der Vergleich der Größengruppe 2 – Kläranlagen größer 5.000 EW-CSB₁₁₀ und kleiner 12.000 EW-CSB₁₁₀ - lässt sich auf Basis der relativen Betriebskosten (exkl. Umlagekosten) durchführen.

Gesamtergebnis – Größengruppe 2

Aus dem Vergleich der Benchmarking-Teilnehmer ergibt sich für die Größengruppe 2 ein Einsparungspotenzial im Bereich der Betriebskosten zwischen ca. ATS 410.000,-- p.a. (EUR 29.795,86) ca. 15 % und ca. ATS 3.940.000,-- p.a. (EUR 286.330,97) ca. 77 %.

Hinweis: Dabei ist hinzuweisen, dass dieses Gesamteinsparungspotenzial in Einzelfällen durch die vorhandene technische Ausstattung der Kläranlage nicht erreichbar ist.

10.2.1 Prozessbetriebskosten je EW-CSB110 – Größengruppe 2 - Gesamt
 Abwasserreinigungsanlage gesamt

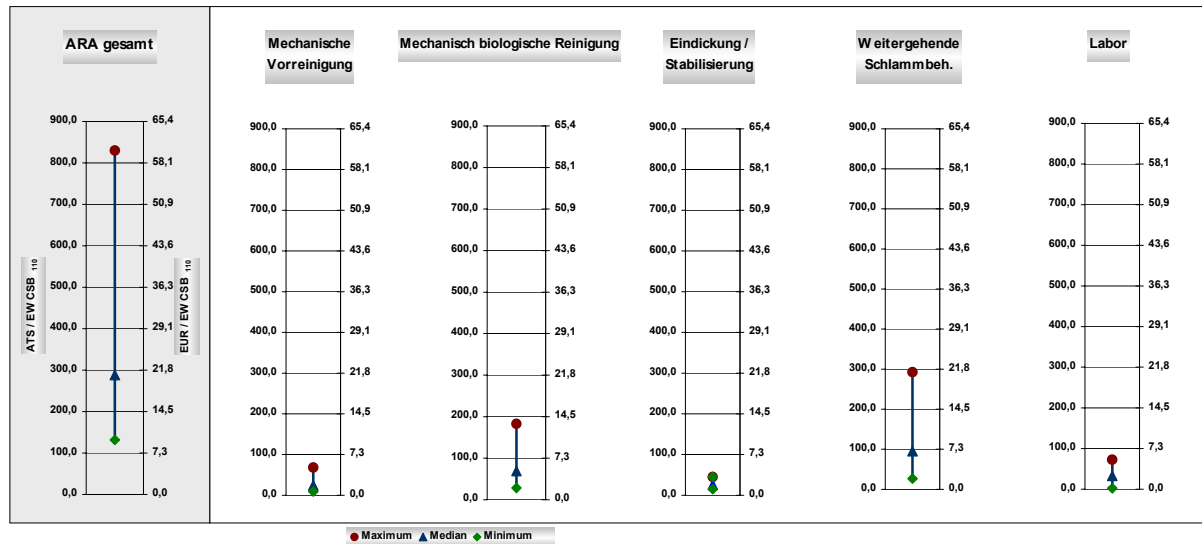


Abbildung 10-2: Größengruppe 2 - Prozessbetriebskosten - gesamt

ATS/EUR pro EW -CSB110	MIN		MAX		MEDIAN	
	ATS	EUR	ATS	EUR	ATS	EUR
Mechanische Vorreinigung	9,00	0,65	68,00	4,94	24,00	1,74
Mechanische biologische Reinigung	28,00	2,03	183,00	13,30	69,00	5,01
Eindickung/ Stabilisierung	15,00	1,09	45,00	3,27	26,00	1,89
Weitergehende Schlammbehandlung	27,00	1,96	292,00	21,22	95,00	6,90
Labor	2,00	0,15	73,00	5,31	33,00	2,40
ARA Gesamt	132,00	9,59	830,00	60,32	288,00	20,93

Tabelle 10-2: Größengruppe 2 - Kostenarten Prozessbetriebskosten - gesamt

10.3 Größengruppe 3 (ARA >12.000 und <25.000 EW-CSB110)

Der Vergleich der Größengruppe 3 – Kläranlagen größer 12.000 EW-CSB₁₁₀ und kleiner 25.000 EW-CSB₁₁₀ – wurde auf Basis der relativen Betriebskosten (exkl. Umlagekosten) sowie bezogen auf die einzelnen Kostenarten durchgeführt.

Gesamtergebnis – Größengruppe 3

Aus dem Vergleich der Benchmarking-Teilnehmer ergibt sich für die Größengruppe 3 ein Einsparungspotenzial zwischen ca. ATS 90.000,-- p.a. (EUR 6.540,56) ca. 6 % und ca. ATS 5.310.000,-- p.a. (EUR 385.892,75) ca. 56 %.

Hinweis: Dabei ist hinzuweisen, dass dieses Gesamteinsparungspotenzial in Einzelfällen durch die vorhandene technische Ausstattung der Kläranlage nicht erreichbar ist.

10.3.1 Prozessbetriebskosten je EW-CSB110 – Größengruppe 3 - Gesamt Abwasserreinigungsanlage gesamt

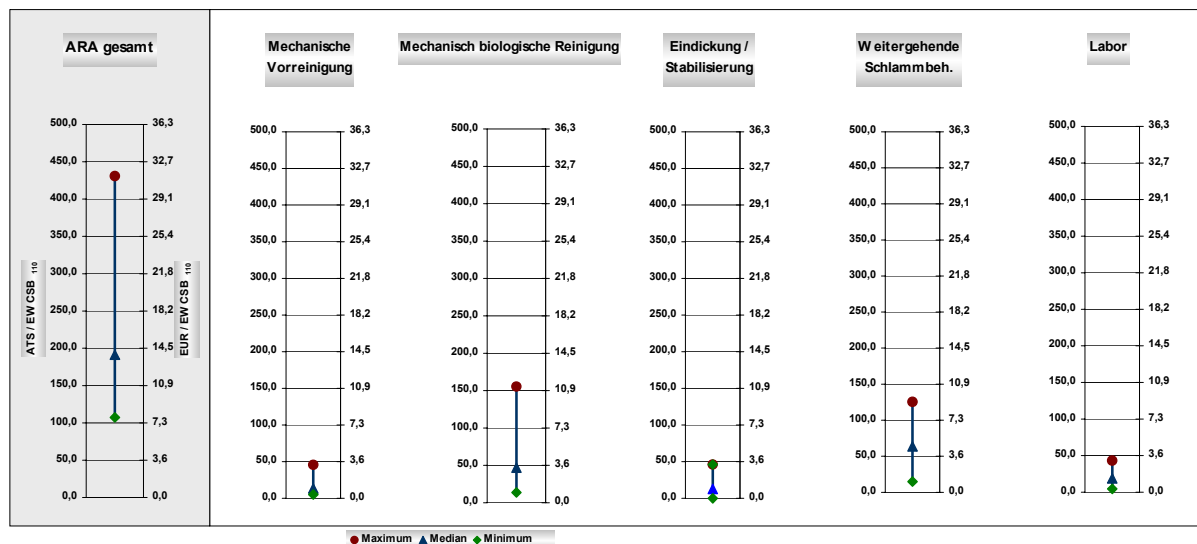


Abbildung 10-3: Größengruppe 3 - Prozessbetriebskosten - gesamt

ATS/EUR pro EW -CSB110	MIN		MAX		MEDIAN	
	ATS	EUR	ATS	EUR	ATS	EUR
Mechanische Vorreinigung	5,00	0,36	46,00	3,34	14,00	1,02
Mechanische biologische Reinigung	14,00	1,02	155,00	11,26	47,00	3,42
Eindickung/ Stabilisierung	0,00	0,00	46,00	3,34	13,00	0,94
Weitergehende Schlammbehandlung	15,00	1,09	126,00	9,16	64,00	4,65
Labor	4,00	0,29	43,00	3,12	19,00	1,38
ARA Gesamt	107,00	7,78	431,00	31,32	191,00	13,88

Tabelle 10-3: Größengruppe 3 - Kostenarten Prozessbetriebskosten - gesamt

10.4 Größengruppe 4 (ARA >25.000 und <50.000 EW-CSB110)

Der Vergleich der Größengruppe 4 – Kläranlagen größer 25.000 EW-CSB110 und kleiner 50.000 EW-CSB110 wurde - wie schon zuvor ausgeführt - auf Basis der Gesamtbetriebskosten exkl. Umlagekosten und auf Basis der Kostenarten durchgeführt.

Gesamtergebnis – Größengruppe 4

Aus dem Vergleich der Benchmarking-Teilnehmer ergibt sich für die Größengruppe 4 ein Einsparungspotenzial zwischen ca. ATS 20.000,-- p.a. (EUR 1.453,46) ca. 1 % und ca. ATS 2.690.000,-- p.a. (EUR 195.489,92) ca. 34 %.

Hinweis: Dabei ist hinzuweisen, dass dieses Gesamteinsparungspotenzial in Einzelfällen durch die vorhandene technische Ausstattung der Kläranlage nicht erreichbar ist.

10.4.1 Prozessbetriebskosten je EW-CSB110 – Größengruppe 4 - Gesamt

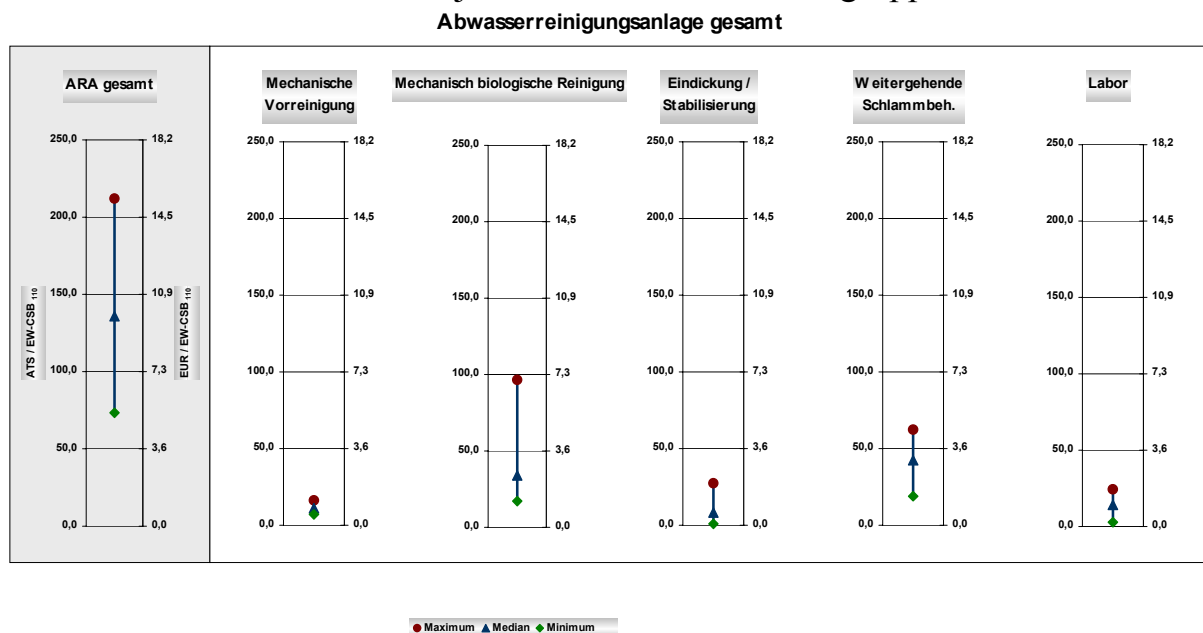


Abbildung 10-4: Größengruppe 4 - Prozessbetriebskosten - gesamt

ATS/EUR pro EW -CSB110	MIN		MAX		MEDIAN	
	ATS	EUR	ATS	EUR	ATS	EUR
Mechanische Vorreinigung	7,00	0,51	16,00	1,16	11,00	0,80
Mechanische biologische Reinigung	17,00	1,24	96,00	6,98	34,00	2,47
Eindickung/ Stabilisierung	1,00	0,07	27,00	1,96	8,00	0,58
Weitergehende Schlammbehandlung	19,00	1,38	62,00	4,51	42,00	3,05
Labor	3,00	0,22	24,00	1,74	14,00	1,02
ARA Gesamt	73,00	5,31	212,00	15,41	136,00	9,88

Tabelle 10-4: Größengruppe 4 - Kostenarten Prozessbetriebskosten - gesamt

10.5 Größengruppe 5 (ARA >50.000 EW-CSB110)

Der Vergleich der Größengruppe 5 – Kläranlagen größer 50.000 EW-CSB110 – wurde auf Basis der Gesamtbetriebskosten exkl. Umlagekosten und auf Basis der Kostenarten durchgeführt.

Gesamtergebnis – Größengruppe 5

Aus dem Vergleich der Benchmarking-Teilnehmer ergibt sich für die Größengruppe 5 ein Einsparungspotenzial zwischen ca. ATS 2.300.000,-- p.a. (EUR 167.147,52) ca. 14 % und ca. ATS 12.180.000,-- p.a. (EUR 885.155,12) ca. 58 %.

Hinweis: Dabei ist hinzuweisen, dass dieses Gesamteinsparungspotenzial in Einzelfällen durch die vorhandene technische Ausstattung der Kläranlage nicht erreichbar ist.

10.5.1 Prozessbetriebskosten je EW-CSB110 – Größengruppe 5 - Gesamt

Abwasserreinigungsanlage gesamt

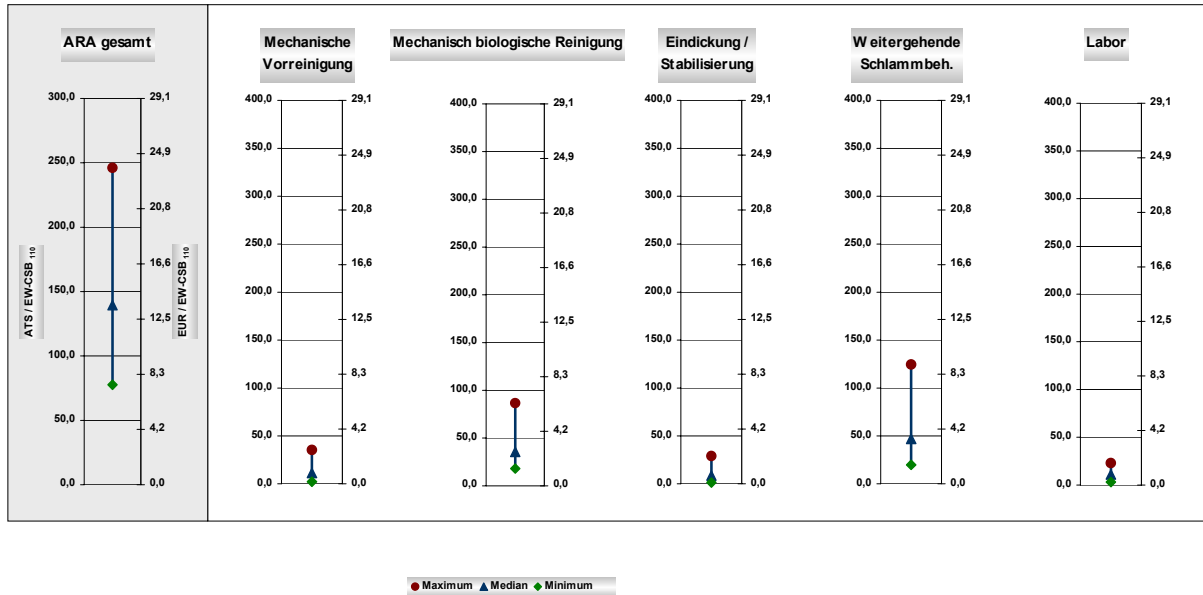


Abbildung 10-5: Größengruppe 5 - Prozessbetriebskosten - gesamt

ATS/EUR pro EW -CSB110	MIN		MAX		MEDIAN	
	ATS	EUR	ATS	EUR	ATS	EUR
Mechanische Vorreinigung	2,00	0,15	35,00	2,54	11,00	0,80
Mechanische biologische Reinigung	18,00	1,31	87,00	6,32	35,00	2,54
Eindickung/ Stabilisierung	1,00	0,07	29,00	2,11	9,00	0,65
W eitergehende Schlammbehandlung	20,00	1,45	125,00	9,08	47,00	3,42
Labor	3,00	0,22	23,00	1,67	11,00	0,80
ARA Gesamt	78,00	5,67	246,00	17,88	140,00	10,17

Tabelle 10-5: Größengruppe 5 - Kostenarten Prozessbetriebskosten - gesamt

11 Organisatorische Hilfskostenstellen

11.1 Allgemeines

Die organisatorischen Hilfskosten (wie z.B. Verwaltung, Werkstatt, Fuhrpark) wurden im Zuge der Datenerhebung gesondert erfasst und ausgewertet. In diesem Kapitel werden diese Kosten unter Berücksichtigung der definierten organisatorischen Gruppen einer näheren Betrachtung zugeführt.

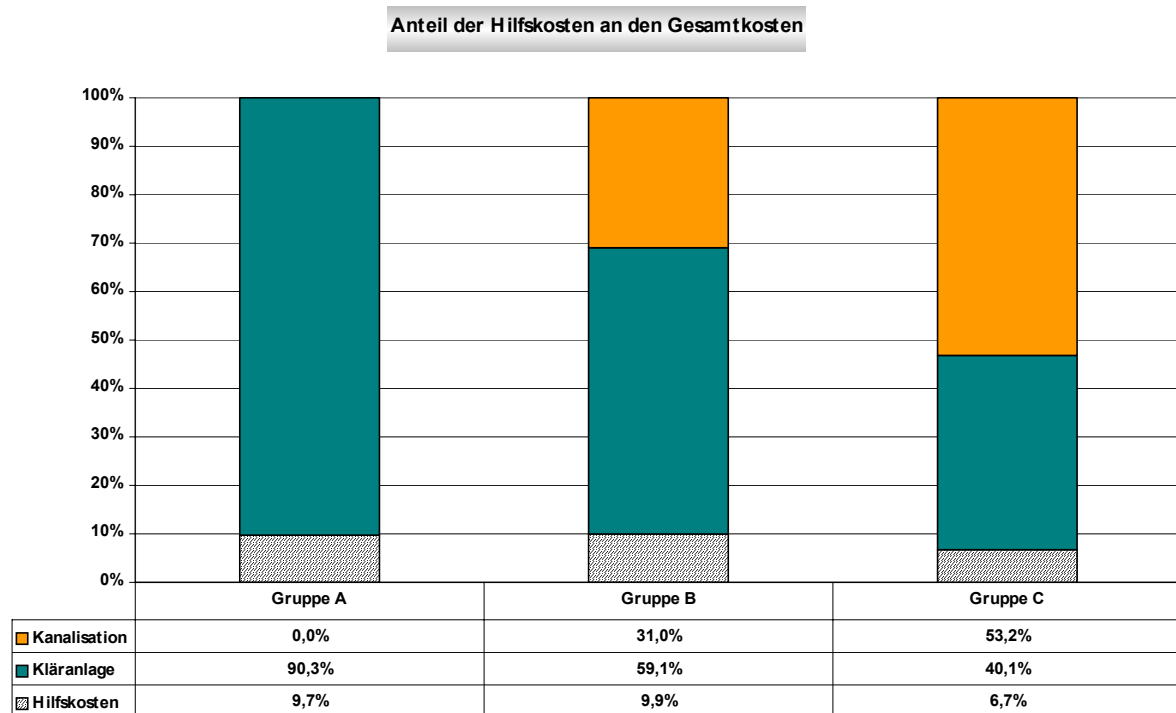


Abbildung 11-1: Anteil der Hilfskosten an den Gesamtkosten

Aus nachfolgender Grafik wird ersichtlich, dass sich der Anteil dieser Hilfskosten in Bezug zu den Gesamtkosten der Teilnehmer (Durchschnitt der Einzelwerte) in einem Rahmen zwischen 7 % bis 10 % bewegt.

Auffallend ist in Bezug auf die organisatorischen Gruppen, dass der Anteil der Hilfskosten im Bereich der Gruppe C (Errichtung und Betrieb der gesamten Abwasserentsorgung ARA, Sammler u. Ortskanal) mit 6,7 % doch deutlich geringer ist.

In der Detailanalyse der Hilfskosten ergibt sich nachfolgende Verteilung:

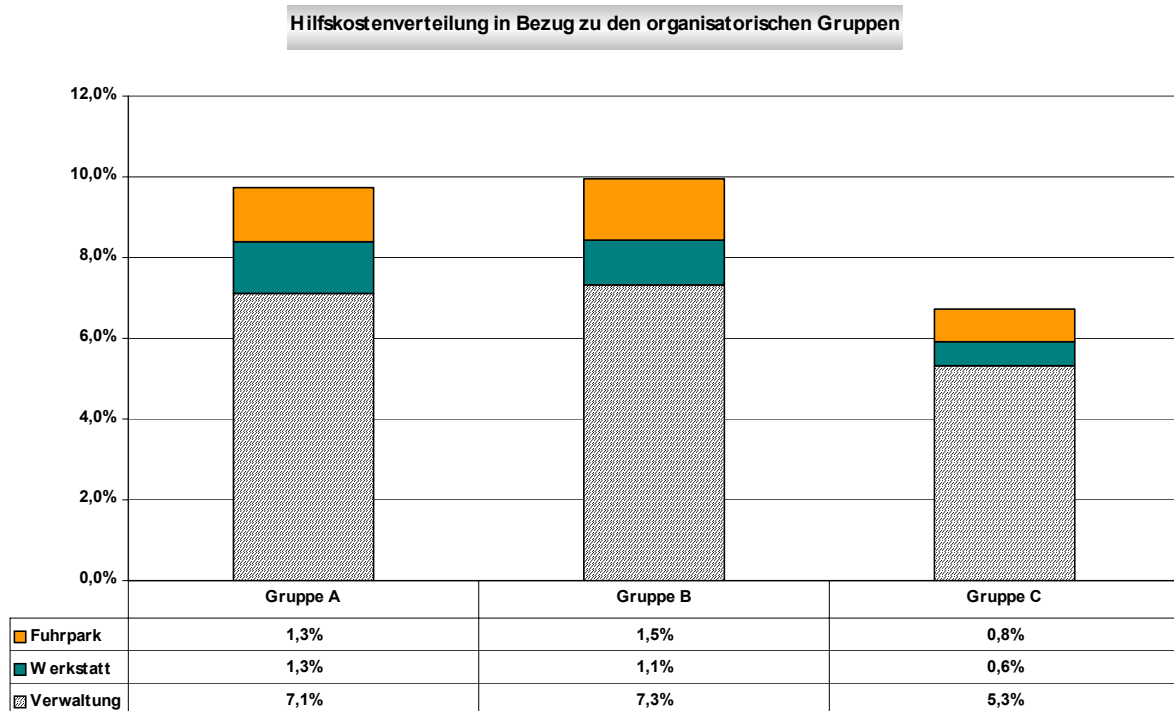


Abbildung 11-2: Hilfskostenverteilung in Bezug zu den organisatorischen Gruppen

Das Ergebnis der Detailauswertung ist insofern überraschend, als der Unterschied im Anteil der Hilfskosten der Gruppe C im Wesentlichen auf den geringen Verwaltungskostenanteil von 5,3 % zurückzuführen ist (nähere Ausführung siehe Kapitel 11.2 unten).

11.2 Verwaltungskosten

Nachfolgend werden die Verwaltungskosten innerhalb der Benchmarking-Stichprobe näher analysiert. Vorab erscheint dabei die Differenzierung der organisatorischen Einheiten als wesentlich. Die Darstellung erfolgt demnach je organisatorische Gruppe.

Nachfolgend wird der Anteil der Verwaltungskosten (Durchschnitt der Einzelwerte) im Verhältnis zu den Gesamtkosten der Teilnehmer dargestellt:

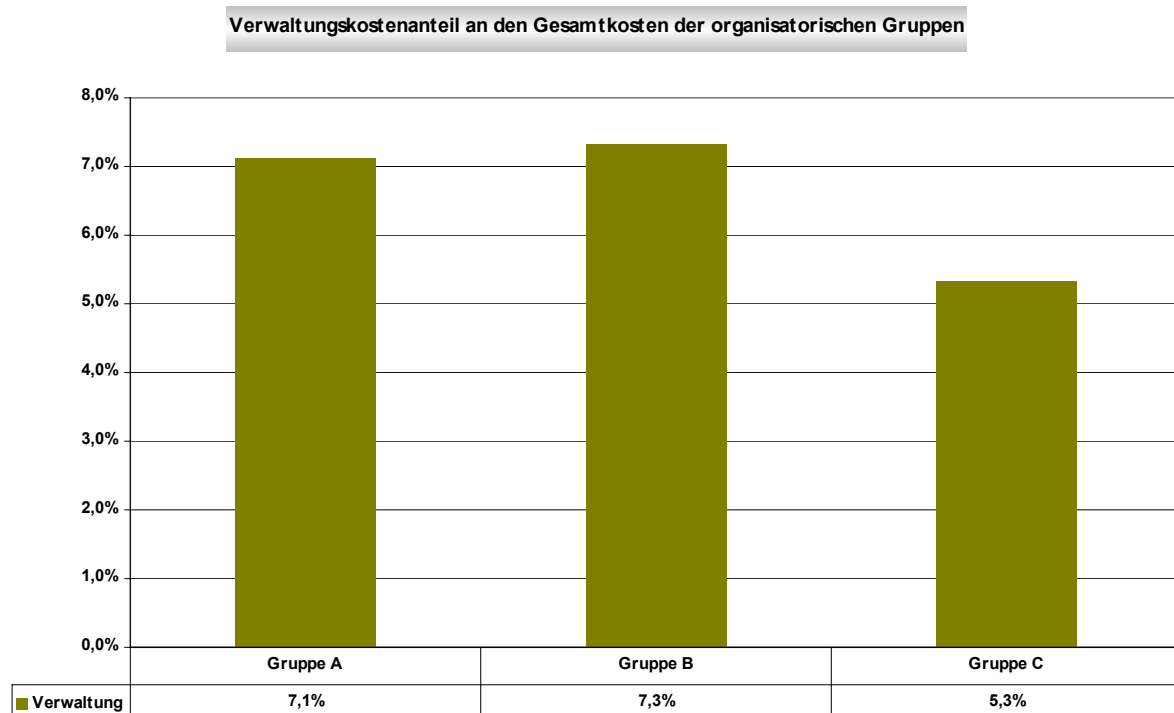


Abbildung 11-3: Verwaltungskostenanteil an den Gesamtkosten der organisatorischen Gruppen

Zunächst ist ersichtlich, dass der Verwaltungsanteil (bezogen auf die Betriebs- und Kapitalkosten) an den Gesamtkosten in etwa bei 7 % liegt. Bemerkenswert ist jedoch, dass der Verwaltungsanteil in der Gruppe C (Errichtung und Betrieb Reinigungsanlage und gesamte Kanalisation) mit 5,3 % doch deutlich niedriger ist.

Bei näherer Betrachtung wird dieser Unterschied sehr einfach nachvollziehbar und gleichzeitig relativiert. Der Gruppe C sind auch einzelne Gemeinden zugeordnet, welche per Definition die gesamte Abwasserableitung und Abwasserreinigung durchführen. Tatsache ist, dass sich die Kosten für Verwaltungsleistungen innerhalb einer Gemeinde nicht unmittelbar und exakt abgrenzen bzw. zuordnen lassen.

Nimmt man demnach für diese Auswertung die Kostenanteile der Gemeinden heraus, stellen sich die Verwaltungskostenanteile wie folgt dar:

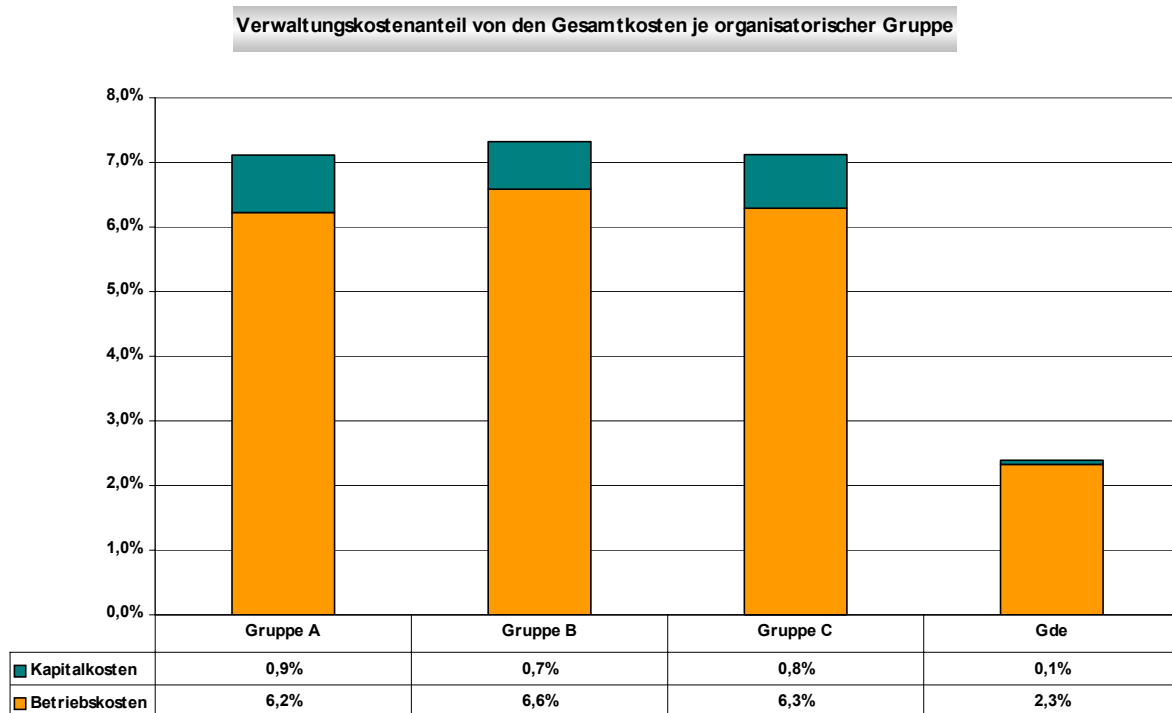


Abbildung 11-4: Verwaltungskostenanteil von den Gesamtkosten je organisatorischer Gruppe

Nun wird deutlich, dass der Verwaltungskostenanteil auch bei der Gruppe C ohne Einzelgemeinden bei rund 7 % liegt. Der Verwaltungskostenanteil innerhalb der Gemeindegruppe ist **mit 2,4 % wesentlich geringer**. Dies ist unserer Ansicht nach auf das **teilweise Fehlen von nicht unmittelbar abgrenzbaren Verwaltungsleistungen** (sowohl Kapital- als auch Betriebskosten) zurückzuführen.

Dieser Umstand wird auch zukünftig bei der Erstellung von Kosten- und Leistungsrechnungen für den Bereich Abwasser innerhalb einer Gemeinde zu berücksichtigen sein.

Korrespondenz an:

Josef Habich

Quantum Institut für betriebswirtschaftliche Beratung GmbH
Walther v.d. Vogelweide Pl. 4

A-9020 Klagenfurt
Tel.: 0463/32612-44
Fax: 0463/32612-45
Email: habich@quantum-gmbh.at

Benchmarking für Abwasserableitungsanlagen

Th. Ertl, M. Starkl, K. Sleytr, R. Haberl

Institut für Wasservorsorge, Abt. Siedlungswasserwirtschaft, BOKU Wien

Kurzfassung: Im vorliegenden Projekt wurde das Benchmarking auf die Abwasserableitung angewandt. Dabei erfolgte die Untersuchung im Hinblick auf Errichtung und Betrieb. Zur vergleichenden Beurteilung der Anlagen zur Abwasserableitung wurden Verbands- und Ortsnetze erfasst und jeweils unterteilt in Leitungen und Sonderbauwerke. Zur Ermittlung von repräsentativen Kennzahlen mussten die Kosten mit relevanten Bezugsgrößen verknüpft werden. Die Bezugsgrößenanalyse für die Abwasserableitung ergab, dass die Leitungslänge die beste Bezugsgröße darstellt.

Die angegebenen Benchmarks müssen im Lichte der bereits ausführlich diskutierten Randbedingungen wie der eingeschränkten Datengrundlage und dem zusätzlich sehr kurzen Betrachtungszeitraum bei den betrieblichen Auswertungen gesehen werden.

Keywords: Abwasserableitung, Benchmarking, Controlling, Kanalisation, Kosteneffizienz

1 Methodische Vorgangsweise

1.1 Vergleich der Anlagen über Prozesse

Die Auswahl der Prozesse orientiert sich einerseits an deren unterschiedlichen, definierbaren Leistungen und andererseits an der kostenmäßig getrennten Erfassbarkeit.

In Abbildung 1-1 sind die Prozesse „Sammlung“, „Transport“ und „Behandlung“ für die Errichtung der Kanalisation ersichtlich.

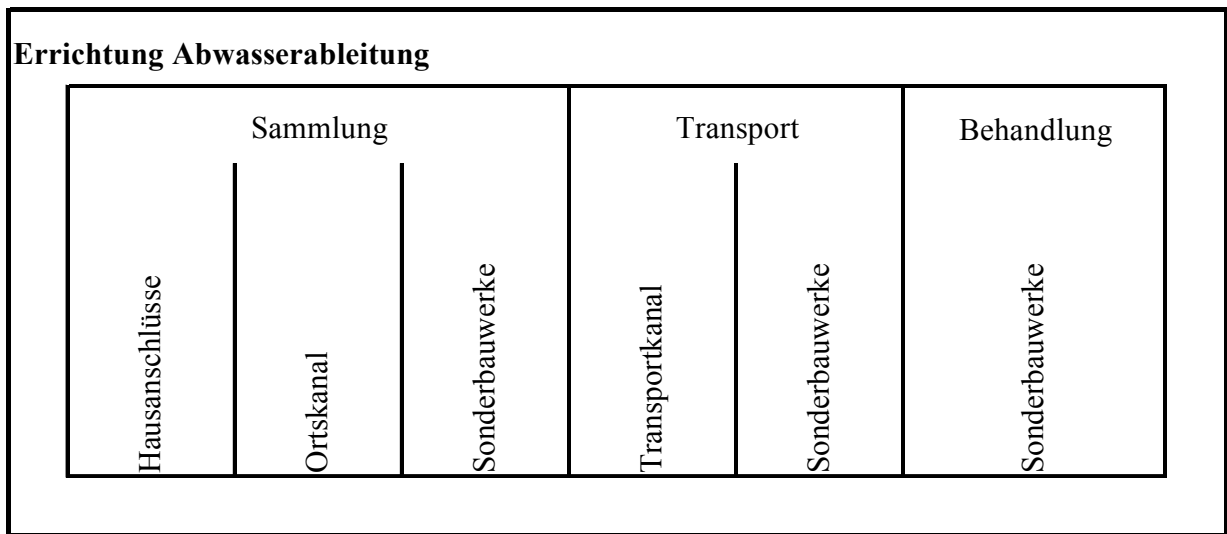


Abbildung 1-1: Definition der Prozesse der Errichtung der Abwasserableitung

Im Sinne einer definierbaren Leistung und der kostenmäßigen Erfassbarkeit wurde die Unterteilung in Verbandsnetz und Ortsnetz jeweils unterteilt in Leitungen & Sonderbauwerke gewählt.

1.1.1 Kostenstellen Verbandsnetz / Ortsnetz

Die Unterscheidung Verbandsnetz / Ortsnetz wird aus organisatorischen Gründen benötigt, um den Betriebsaufwand des Betreibers dem richtigen Umfang an Kanalanlagen gegenüberzustellen (Abb. 1-2).

1.1.2 Transportkanal / Ortskanal

Die Unterscheidung **Ortskanal** / **Transportkanal** zielt auf die Funktion des Kanals (Sammeln oder Transport) ab und in weiterer Folge auf den betrieblichen Aufwand den dieser Kanal erzeugt. (Abb. 1-3)

In diesem Sinne wird als **Ortskanal** eine Freispiegelleitung mit *Hausanschlusskanälen*, die in das Rohr einmünden, definiert.

Beim **Transportkanal** münden eventuelle Hausanschlusskanäle nicht in das Rohr sondern in die Schächte. Wenn ein Transportkanal als **Druckleitung** ausgeführt ist, dann muss er als Druckleitung erfasst werden.

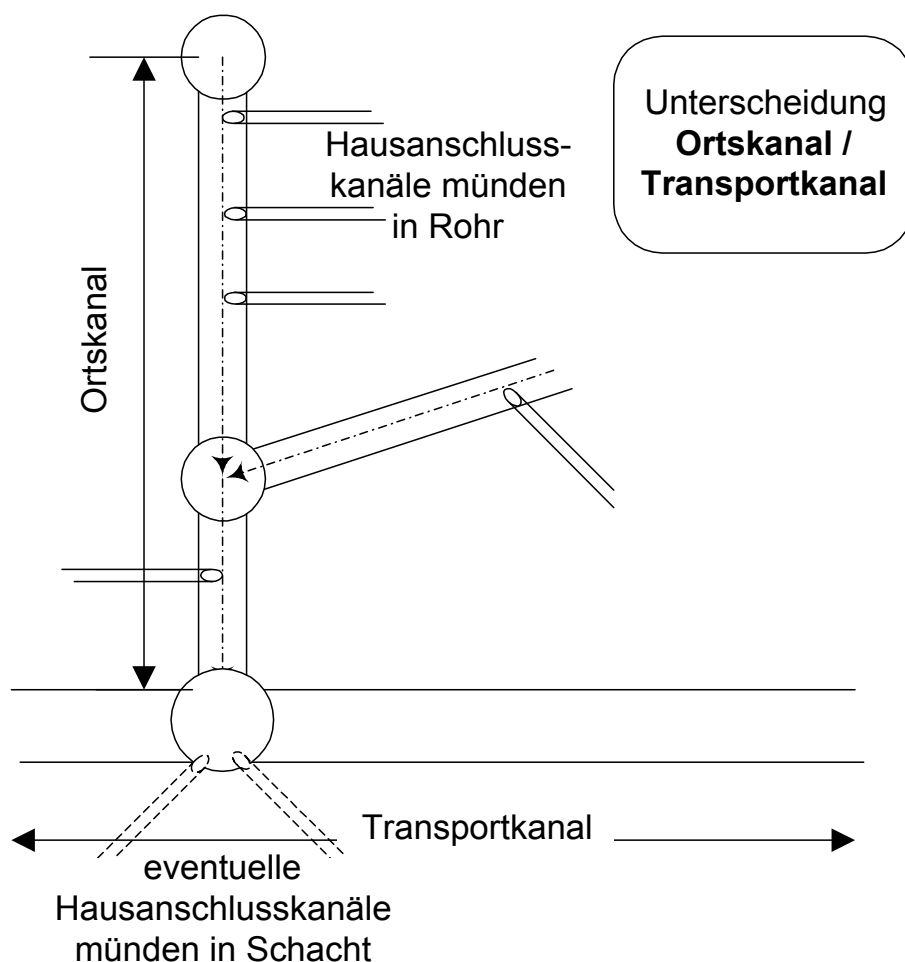


Abbildung 1-3: Definition Ortskanal / Transportkanal

1.1.3 Prozesseinteilung Kanalbetrieb

Der Kanalbetrieb wird üblicherweise in die 4 Haupt-Prozesse **Inspektion, Wartung, Instandsetzung** und **Sonstige Aufgaben** eingeteilt. Bei der Erhebung der Kosten wurden diese Prozesse so weit wie möglich in die Kostenarten „Laufender Betrieb“ und „Reparatur & Instandhaltung“ getrennt (sh. Abbildung 1-4).

- a) **Laufender Betrieb:** Unter laufendem Betrieb werden alle Tätigkeiten verstanden, die durch gesetzliche Regelungen bzw. aus betrieblichen Gründen turnusmäßig verrichtet werden.
- b) **Reparatur und Instandhaltung:** Darunter werden ereignisbezogene Tätigkeiten verstanden, welche nicht vorhersehbar sind und zum überwiegenden Teil Reparaturaufwendungen zuzuordnen sind. Wenn Reparaturen von Fremdfirmen getätigt werden (und mehr als 50.000,- ÖS betragen), werden diese nach projektsinterner Vereinbarung dem Prozess Instandsetzung zugeordnet und damit kostenrechnerisch „aktiviert“ (siehe Abschnitt 5).

Kommentar: Der Begriff „Instandhaltung“ wird in der Fachliteratur üblicherweise als Überbegriff für alle betrieblichen Maßnahmen verwendet. Hier wird der Ausdruck „Reparatur und Instandhaltung“ als in Österreich gängige Bezeichnung für Wartungsarbeiten zur Störungsbeseitigung übernommen.

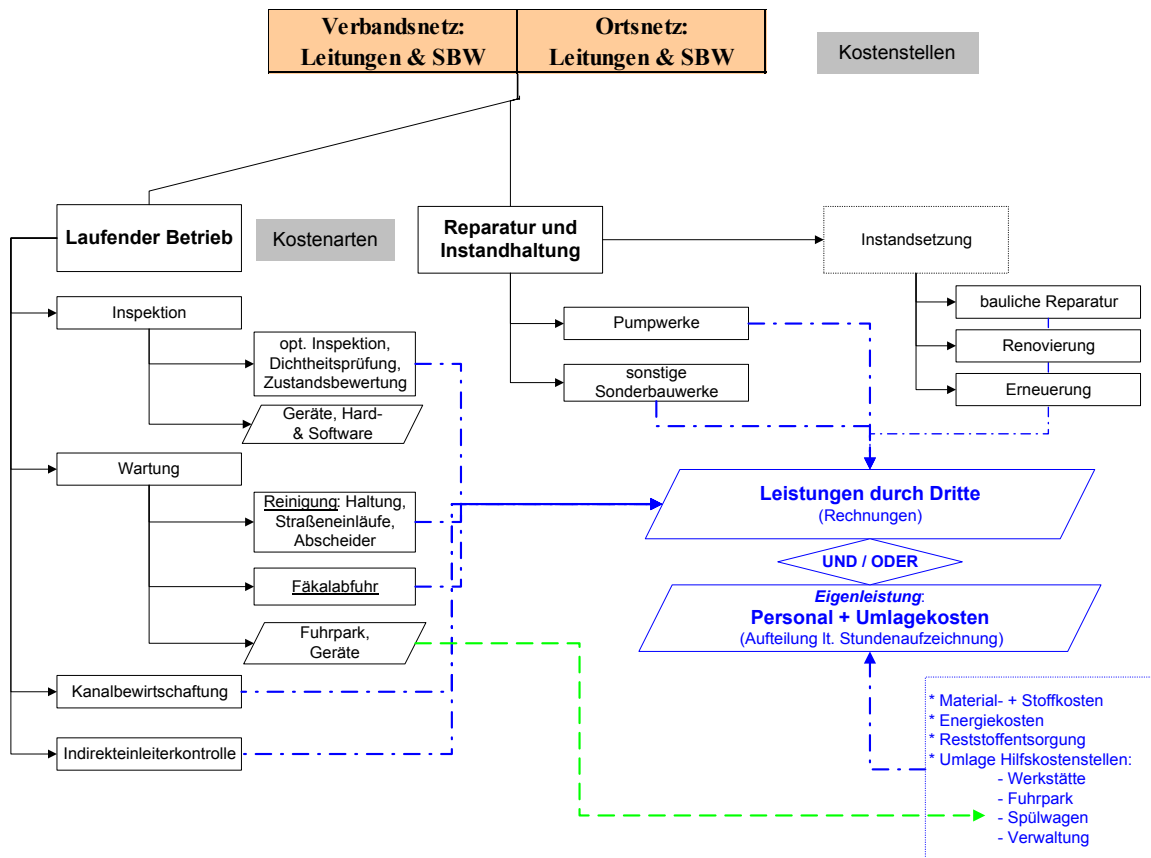


Abbildung 1-4: Prozesseinteilung Kanalbetrieb (adaptiert für Benchmarking SWW)

Für den "Detail-Prozess" Kanalbau werden die detaillierten Betrachtungen in Kap. 1.7 dargestellt.

1.2 Datenerfassung

Für jedes Bundesland wurde 1 Zivilingenieur-Büro per Werkvertrag verpflichtet, die Erhebung der technischen Daten und deren Prüfung auf Plausibilität bei den Anlagen (eine Kläranlage mit angeschlossenem Kanalnetz) im jeweiligen Bundesland durchzuführen.

Die Erhebung der technischen Daten erfolgte auf Basis der zur Verfügung gestellten Erhebungsbögen, welche vom Anlagenbetreiber vorausgefüllt wurden. Vom ZI wurden die Erhebungsbögen vervollständigt und die angegebenen Daten auf Plausibilität vor Ort geprüft. Danach wurden die vollständig ausgefüllten Erhebungsbögen an das Institut für Wassergüte der TU Wien gesendet.

1.3 Plausibilitätsprüfung

Die Plausibilitätsprüfung erfolgte in folgenden 3 Stufen:

Stufe 1 - Formale Überprüfung: auf Vollständigkeit und auf Rechenfehler

- zB Summen-Kontrolle der Längen

Stufe 2 - Technische Kontrolle:

- Plausibilität von bestimmten Kenngrößen zB lfm/E, lfm/HA,
- Gibt es für die angegebenen Tätigkeiten die passende Ausrüstung?

Kontrolle:

- Gibt es zB. “Kapitalkosten Fuhrpark” bzw. “Kapitalkosten Spülfahrzeug” für die angegebenen Fahrzeuge?
- Stimmt die Aufteilung der Kosten auf Verbands- und Ortsnetz mit der Aufteilung der Kanallängen überein?

Nach jeder Stufe wurden bei Unklarheiten Rückfragen an die ZI bzw. direkt an die Kontaktpersonen der Teilnehmer gerichtet.

1.4 Bezugsgrößen

1.4.1 Mögliche Bezugsgrößen

Prinzipiell kommen als Bezugsgrößen für Errichtung und Betrieb von Kanalisationen die Länge des Kanalnetzes, die Abwassermenge, die Einwohner(werte) und die Hausanschlüsse in Betracht, wobei bei genauerer Analyse natürlich auch die Art und Anzahl der Sonderbauwerke Berücksichtigung finden muss. Auf die Auswertung der Sonderbauwerke alleine wurde verzichtet, u.a. weil der betriebliche Aufwand nicht für die unterschiedlichen Arten der Sonderbauwerke (SBW) zu differenzieren war und auf diese verschiedene Bezugsgrößen (zB kW, m³, EZG_{MWÜB}) anzuwenden sind.

1.4.2 Bezugsgrößenanalyse

Im Folgenden werden beispielhaft die Korrelationen zwischen den Kapitalkosten und den Leitungslängen dargestellt. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen einen relativ guten Korrelationskoeffizienten, der die Bezugsgröße Leitungslänge bestätigt.

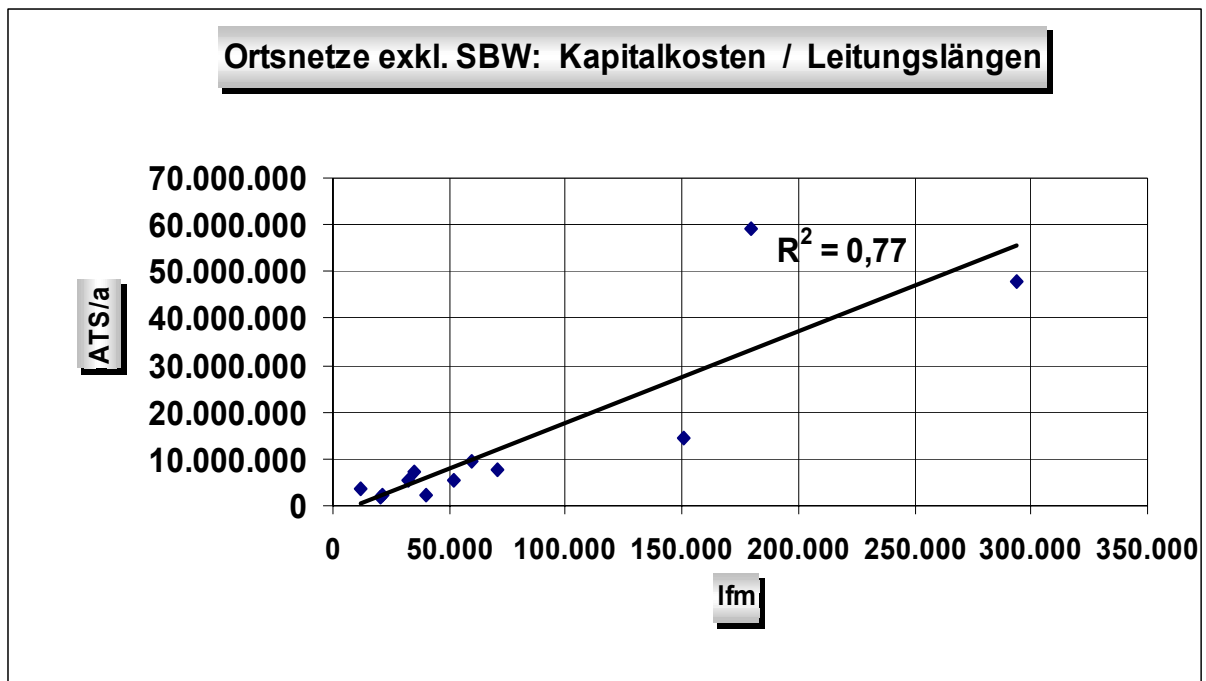


Abbildung 1-5: Korrelation zw. Kapitalkosten und Leitungslängen bei Ortsnetzen exkl. SBW

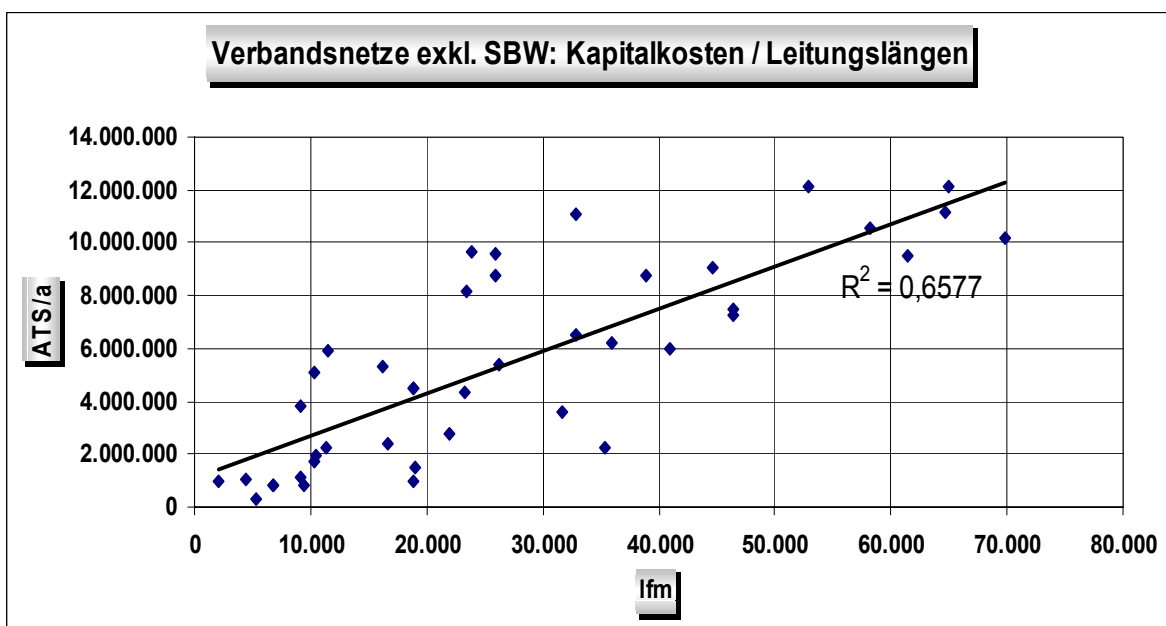


Abbildung 1-6: Korrelation zw. Kapitalkosten u. Leitungslängen bei Verbandsnetzen exkl. SBW

1.4.3 Wahl der Bezugsgrößen

Aufgrund obiger Analyse wurden die Auswertungen primär auf die Kanallängen (Laufmeter) bezogen durchgeführt, wobei bei den Ortsnetzen für die wirtschaftlichen Betrachtungen auch auf die Einwohner (E) bezogen ausgewertet wurde.

Prinzipielle Unterscheidung in

- **errichtete / finanzierte Kanallängen**
Die meisten Verbände (46) haben nur ihre eigenen Verbandsanlagen errichten lassen. Einige Verbände (4) haben einzelne Ortsnetze errichtet und müssen auch diese finanzieren.
- **betriebene Kanallängen**
Das Kanalnetz, das betrieben wird, kann sich dahingehend von obigem unterscheiden, dass für einzelne Ortsnetze der Betrieb von einigen Verbänden (5) zur Gänze übernommen wird.

Sehr wichtig ist die exakte Zuordnung der jeweiligen Kostenarten (Aufteilung der Betriebskosten) zu den richtigen Kostenstellen (auf Verbands- bzw. Ortsnetz und jeweils aufgeteilt nach Leitungen und Sonderbauwerke).

Bei der Erfassung der technischen Daten und deren Zuordnung auf die Kostenstellen ist die Unterscheidung in Ortsnetz und Verbandsnetz entscheidend, damit die Betriebsaufwendungen richtig zugeordnet werden können.

1.5 Gruppeneinteilung

Insgesamt nahmen 78 Gemeinden und Verbände am Benchmarking SWW teil. Davon lieferten 52 Teilnehmer ausreichende Unterlagen über die Gesamtkanalisation.

Die übergeordnete organisatorische Einteilung ergab, dass 8 Teilnehmer als Ortsnetz (Gruppe ON) und 44 als Verbandsnetz inkl. eventueller Ortsnetze (Gruppen VN I, VN II, VN III) ausgewertet werden können. Eine weitere Unterteilung der Gruppe der Ortsnetze wurde nicht durchgeführt.

Die Einteilung der Verbandsnetze in Gruppen soll eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb der Gruppen gewährleisten. Bei der Betrachtung der Errichtungskosten sollte demnach in Gruppen ähnlicher Tiefenlage, mittl. Schachtabstand, Rohrprofil, Untergrundverhältnisse etc. aufgeteilt werden. Bei der Auswertung der Kapitalkosten der Gesamt-Kanalisationen ist dies aufgrund der unzureichenden Datenlage jedoch nicht möglich. Um die Darstellung in den Diagrammen zu vereinheitlichen, wird aber die Gruppeneinteilung auch bei den Auswertungen der Kapitalkosten und Jahreskosten durchgeführt.

Bei der betrieblichen Auswertung spielt die Gesamtlänge und das Alter der Leitungen und die Anzahl der Sonderbauwerke eine bedeutende Rolle. Die Bezugsgrößenanalyse bestätigte, dass sich die Einteilung anhand der Leitungslängen am besten eignet. Aufgrund der Stichprobengröße hat sich die Einteilung in 3 Gruppen als günstig erwiesen. Als Teilungsgrenzen wurden 15.000 und 40.000 lfm gewählt. Dies ergab bei den Auswertungen der Kapitalkosten Gruppengrößen von 13 Teilnehmer mit weniger als 15 km (Gruppe VN I), 19 Teilnehmer zwischen 15 und 40 km (Gruppe VN II) und 13 Teilnehmer mit errichteten Leitungslängen über 40 km (Gruppe VN III). Einige wenige Teilnehmer sind bei der Auswertung der Betriebskosten in einer anderen Gruppe, weil sich die errichteten Längen von den zu betreibenden Kanallängen unterscheiden.

1.6 Detailanalyse Kanalbau

1.6.1 Vorgehensweise

Ursprünglich sollte im Rahmen dieses Projektes je ein Detailbauabschnitt für 70 Kanalisationsanlagen hinsichtlich der Investitionskosten untersucht werden. Jedoch sind alle erforderlichen Daten für die jeweiligen Detailbauabschnitte innerhalb der gesetzten zeitlichen Frist nur für 40 Kanalisationsanlagen eingelangt. Von diesen 40 Anlagen mussten 5 ausgeschieden werden, da sie die unten angeführten Soll-Charakteristiken nicht aufwiesen. Auch konnten für sie keine eigenen Gruppen gebildet werden, da die Teilnehmerzahl je Gruppe zu gering gewesen wäre.

Um die Investitionskosten für die betrachteten Kanalisationsanlagen vergleichen zu können, wurden die untersuchten Anlagen in 2 Gruppen eingeteilt. Auch

wurden bereits bei der Auswahl der zu betrachtenden Kanalisationsanlagen gewisse Soll-Charakteristiken der Kanalisation (bevorzugt Schmutz- oder Regenwasserkanäle, Kanaldurchmesser DN 200 – DN 400, und keine Sonderverfahren in der Errichtung und Oberflächeninstandsetzung) vorgegeben, die allerdings nur zum Teil eingehalten wurden.

Naturgemäß waren die erforderlichen Ingenieurmaßnahmen und damit zum Teil auch die Kosten für die Errichtung der Kanäle größtenteils von den lokalen Gegebenheiten, insbesondere von den Boden-, Grundwasser-, Oberflächenverhältnissen, den vorhandenen Einbauten und den Platzverhältnissen, abhängig und daher sehr unterschiedlich. Um ein sinnvolles Vergleichen der Investitionskosten der betrachteten Kanalisationsanlagen trotzdem zu ermöglichen, wurden anhand der Schlussrechnungen alle Leistungen die lokal bedingt waren (z.B. Künettenaushub in felsigem oder fließenden Böden, Pressvortriebe, Wasserhaltungen, Gewässerquerungen, erforderliche Baustraßen) oder für andere Bauwerke bestimmt waren (z.B. Betonarbeiten für Pumpwerke) von den Gesamtinvestitionskosten des jeweiligen Bauabschnittes abgeschlagen. Diese Maßnahme ermöglichte es, dass alle Investitionskosten auf ähnliche erbrachte Leistungen bezogen und somit vergleichbar sind. Jedoch konnten Einflussfaktoren wie Spekulationen seitens der Baufirmen, jeweilige Konjunkturlage zur Zeit der Angebotslegung und besondere lokale und regionale Marktverhältnisse auf die Preisbildung nicht berücksichtigt werden. Inwieweit eine Benchmarkfindung trotz dieser nicht quantifizierbaren Einflüsse möglich war, ist in Kap. 2.7 Ergebnisse Detailanalyse Kanalbau dargestellt.

1.6.2 Datenerfassung

Die Erhebung der technischen Daten erfolgte auf Basis der zur Verfügung gestellten Erhebungsbögen, welche vom Anlagenbetreiber vorausgefüllt wurden. Vom ZI wurden die Erhebungsbögen vervollständigt und die angegebenen Daten auf Plausibilität vor Ort geprüft.

Zusätzlich wurden die einzelnen Verbände ersucht, für jeden Kanalbauabschnitt die zugehörige Schlussrechnung zu übermitteln, um eine Plausibilitätsprüfung und Detailanalyse durchführen zu können.

1.6.3 Plausibilitätsprüfung

Die für die kostenmäßige Auswertung erforderlichen Daten (Kanallänge, Durchmesser, Schachanzahl, Erschwernisse, Investitionskosten, etc.) der betrachteten Detailbauabschnitte wurden größtenteils den zugehörigen Schlussrechnungen entnommen. Damit wurde sichergestellt, dass die Eingangsgrößen in die Benchmarkfindung der Realität entsprechen, denn es musste festgestellt werden, dass die seitens der Verbände ursprünglich angegebenen Daten zum Teil ungenau waren bzw. grobe Fehler aufwiesen.

1.6.4 Gruppeneinteilung

Die betrachteten Kanalisationsabschnitte wurden in 2 Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe umfasst jene Bauabschnitte die größtenteils aus Ortskanälen bestehen und die zweite Gruppe jene die größtenteils aus Transportkanälen bestehen. Diese Einteilung wurde auf Grund der Erfahrung getroffen, dass die Baupreise für Kanäle im Ortsbereich bei sonst ähnlichen Voraussetzungen wesentlich teurer sind, als für Transportleitungen im Überlandbereich. Eine weitere Gruppierung konnte nicht vorgenommen werden, da sonst die Anzahl der Teilnehmer pro Gruppe zu gering gewesen wäre um eine sinnvolle Auswertung vorzunehmen.

1.6.5 Bezugsgrößenanalyse

Um die Investitionskosten für die einzelnen Kanalisationsabschnitte vergleichen zu können, wurde als Bezugsgröße Investitionskosten/Laufmeter Kanal gewählt.

2 Ergebnisse - Abwasserableitung

2.1 Allgemeines

Für 8 Teilnehmer, die ein Kanalnetz vollständig zumindest in einer Gemeinde errichteten und betreiben, ist es sinnvoll die Auswertungen speziell bezüglich der Ortsnetze durchzuführen. Diese Teilnehmer errichteten in Summe 446 km Kanalisation und 135 Sonderbauwerke, davon 61 Pumpwerke und haben diese auch zu betreiben.

Bei den Auswertungen der Ortsnetze wurde aufgrund der geringen Anzahl auf statistische Analysen verzichtet.

52 Teilnehmer errichteten und betreiben zumindest das Verbandsnetz. Bei jenen Teilnehmern, die Ortsnetze errichteten bzw. betreiben, werden diese mit ausgewertet. Diese Teilnehmer errichteten in Summe 1742 km Kanalisation und 1232 Sonderbauwerke, davon 412 Pumpwerke und haben 2468 km Kanalisation zu betreiben.

Prinzipielle Bezugsgröße ist, wie bereits vorne ausführlich beschrieben, die Länge des Kanalnetzes.

Auf eine getrennte Auswertung der Sonderbauwerke wurde verzichtet, u.a. weil der betriebliche Aufwand nicht für die unterschiedlichen Arten d. SBW zu differenzieren war und auf diese verschiedene Bezugsgrößen (zB kW, m³, EZG_{MWÜB}) anzuwenden sind. Es wurde der Weg gewählt jeweils eine Auswertung der Leitungen und eine Auswertung Leitungen inkl. Sonderbauwerke zu erstellen. Das heisst, dass die Aufwendungen für die Sonderbauwerke auf die selbe Bezugsgrösse Länge der Leitungen umgelegt wurden.

Die Problematik der Aufteilung der Kosten der Sonderbauwerke auf die Länge des Netzes ist den Bearbeitern bewusst, da kleinere Netze natürlich benachteiligt sind, deshalb werden diese Kostenanteile auch extra in der Darstellung ausgewiesen, um zu erkennen, ob diese massgebend sind oder nicht. Ebenso dämpft die Gruppeneinteilung nach der Grösse der Netze diesen Einfluss.

2.2 Betrachtungen zur Benchmarkfestlegung

2.2.1 Welche Anlagen können Benchmark werden

Zur Festlegung der Benchmarks muss generell angemerkt werden, dass auf Grund der Vielzahl an Randbedingungen und standortspezifischen Besonderheiten vor allem im Bereich Abwasserableitung mit den hier verfügbaren Daten die ermittelten Benchmarkbereiche mit einer dementsprechenden Unsicherheit behaftet sind.

Nichtsdestotrotz gibt es eine Auswertung der Kapitalkosten auf die gesamte Kanalisation (inkl. und exkl. Sonderbauwerke), bei der aber die maßgeblichen Einflüsse auf die Errichtungskosten (wie zB Tiefenlage, mittl. Schachtabstand

etc) aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht berücksichtigt werden konnten.

Zur Beurteilung des Kanalbetriebes müssen die **Anforderungen** an den Kanalbetrieb in Österreich betrachtet werden. Für den in diesem Projekt bundesweit durchgeführten Vergleich von Anlagen gibt es leider keine bundesweiten Regelungen. Die folgenden Punkte sind ein komprimierter Querschnitt aus verschiedenen Richtlinien der Bundesländer und ÖWWV-Regelblatt 22 (1989):

- ⇒ TV-Inspektion: bei Bauabnahme und alle 10 – 15 Jahre
- ⇒ Kanal-Reinigung: mind. alle 5 Jahre
- ⇒ Inspektion der Sonderbauwerke: 1x pro Monat

Folgerungen für die Ermittlung der Benchmarks:

- ⇒ erforderlicher Inspektionsaufwand ist für Kanalanlagen älter als 10 Jahre gegeben
- ⇒ erforderlicher Reinigungsaufwand für Kanalanlagen älter als 5 Jahre gegeben
- ⇒ gewisser Minimalaufwand je Pumpwerk und sonstiger Sonderbauwerke (altersunabhängig)

Bei kleinen Kanalnetzen ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass die erforderlichen Reinigungs- und Inspektionsleistungen für das gesamte Netz konzentriert innerhalb von Wochen bzw. Tagen erbracht werden. Damit ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass diese Leistungen nicht im Betrachtungsjahr 1999 angefallen sind.

Wenn Teilnehmer mit kleinen Kanalnetzen noch dazu keine bzw. sehr wenige Sonderbauwerke zu betreuen haben, kann auch bei verschwindenden Betriebskosten ein ordnungsgemäßer Betrieb geführt werden.

2.2.2 „AUSSAGEKRAFT bezüglich Benchmarking“

Da keine Daten über den Zustand und die Umweltauswirkungen der Kanalisationen vorliegen und der Betrachtungszeitraum mit nur 1 Jahr viel zu kurz ist, kann keine „Leistungskennzahl“ vergeben werden, die einen ordnungsgemäßen Betrieb bestätigt und die die Teilnehmer als mögliche

Benchmark qualifiziert. Um trotzdem eine Einstufung der Teilnehmer durchzuführen, wurde die „AUSSAGEKRAFT“ bezüglich Benchmarking entwickelt.

Eine **geringe** „AUSSAGEKRAFT“ bedeutet aber keineswegs, dass ein Teilnehmer keinen ordnungsgemässen Kanalbetrieb führt - dazu ist der Betrachtungszeitraum viel zu kurz. Eine **hohe** AUSSAGEKRAFT bedeutet dies auch nicht, aber die Wahrscheinlichkeit, dass die Kennzahl dieser Teilnehmer eine Benchmark eines ordnungsgemässen Betriebs ist, ist hoch.

Die Abb. 2-1 zeigt ein Schema über die Einstufung der „AUSSAGEKRAFT“

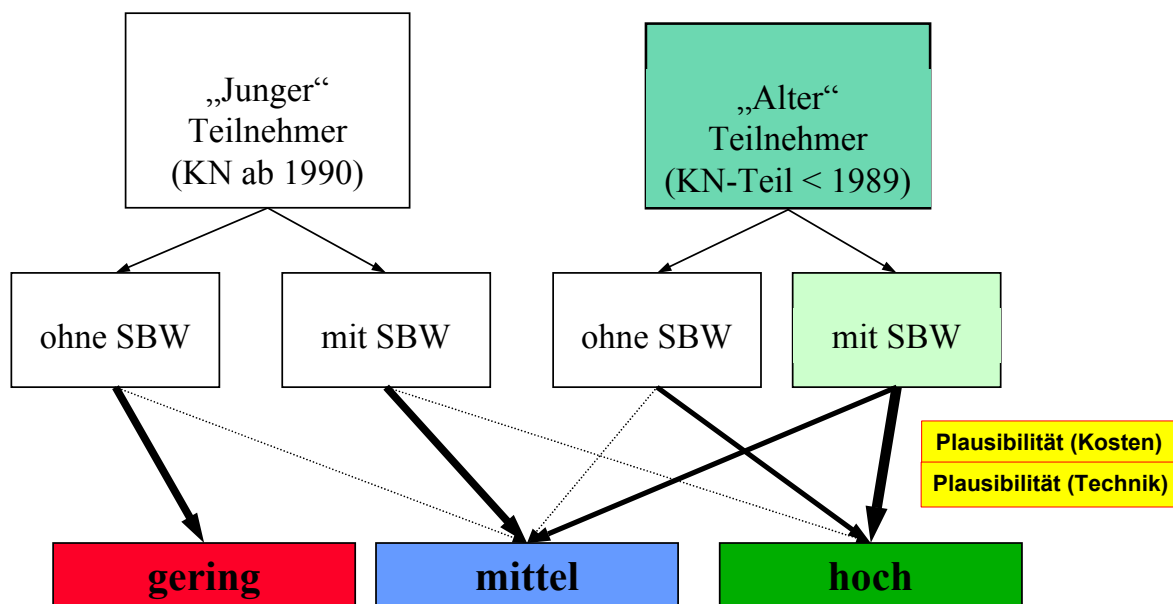


Abbildung 2-1: Schema zur Einstufung der „AUSSAGEKRAFT“ bez. Benchmarking

Es gibt in Summe 3 Einstufungen:

- ⇒ Aussagekraft, die sich nur auf den Betrieb der Leitungen bezieht
- ⇒ Aussagekraft, die sich auf den Betrieb der Sonderbauwerke bezieht
- ⇒ Aussagekraft für die Einstufung des gesamten Kanalbetriebes

Im folgenden werden die Kriterien zur Einstufung der Aussagekraft erläutert:

- ⇒ Plausibilität Technische Daten:
 - Stufe 1 - Formale Überprüfung
 - Stufe 2 - Technische Kontrolle

- ⇒ Plausibilität der Kostenaufteilung:
Stufe 3 - Techn. & wirtschaftlich kombinierte Kontrolle
- ⇒ Alter des Kanalnetzes:
Anteilige Länge älter als 10 Jahre bzw. 5 Jahre
- ⇒ Reinigung:
wenn Teile d. Kanalnetzes älter als 5 Jahre wird geprüft, ob eigene Ausrüstung vorhanden und /oder Fremdvergabe erfolgt, sowohl für Leitungen als auch für SBW
- ⇒ Inspektion:
wenn Teile d. Kanalnetzes älter als 10 Jahre wird geprüft, ob eigene Ausrüstung vorhanden und /oder Fremdvergabe erfolgt
- ⇒ Pumpwerke:
Anzahl der Pumpwerke: Inspektionsaufwand je PW in gewisser Regelmässigkeit notwendig; wenn die Wartung durch Eigenpersonal erfolgt, sollte 1 Fahrzeug vorhanden sein
- ⇒ Sonderbauwerke:
Anzahl der SBW, wenn die Wartung durch Eigenpersonal erfolgt, sollte 1 Fahrzeug vorhanden sein
- ⇒ Indirekteinleiter:
Anzahl der Indirekteileiter: wenn die Überwachung und Kontrolle durch Eigenleistung erfolgt, müssen auch die dafür notwendigen Meßgeräte vorhanden sein
Kommentar: Durch die IVO (1998) ist ein nicht zu vernachlässigender Verwaltungs- und Überwachungsaufwand für die Kanalisationsunternehmen entstanden.

Weiters wird bei einem sehr hohen Anteil von Reparatur & Instandhaltungskosten an den einzelnen Kostenarten dies bei der Einstufung in eine niedrigere Wertung berücksichtigt.

Es gibt keine mathematisch nachvollziehbare Wertung, sondern die Einstufung passiert aufgrund des Gesamteindruckes über alle Kriterien aufgrund der Erfahrung des wissenschaftlichen Bearbeiters des Instituts für Wasservorsorge.

Zusammenfassend werden deshalb als Benchmark-tauglich nur Anlagen

eingestuft, deren

- Datenlage als **plausibel** und **abgesichert** beurteilt wird,
- Und deren „Aussagekraft“ **hoch** ist (für die Betriebskosten + Jahreskosten Benchmarks)

2.3 Ergebnisse der Kapitalkostenauswertungen

Wie bereits ausführlich betont, sind durch die Vielzahl an Randbedingungen und standortspezifischen Besonderheiten vor allem im Bereich Abwasserableitung mit den hier verfügbaren Daten die ermittelten Benchmarkbereiche mit einer dementsprechenden Unsicherheit behaftet. Deshalb wurde bei den Auswertungen der Kapitalkosten der Benchmarkbereich auch relativ hoch über den jeweils günstigsten Werten angesetzt.

2.3.1 Ortsnetze

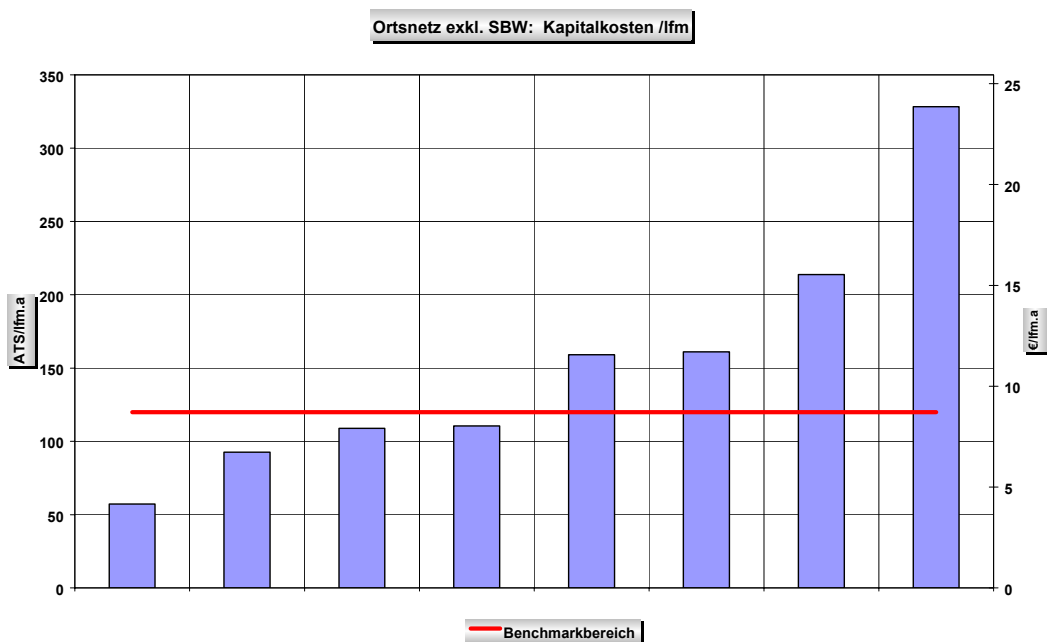


Abbildung 2-2: spezifische Kapitalkosten Ortsnetze exkl. SBW

In Abbildung 2-2 ist der Benchmarkbereich für spezifische Kapitalkosten Ortsnetze exkl. SBW mit 120 ATS/lfm.a (8,7 €/lfm.a) festgelegt. Die relativ grosse Bandbreite der Werte innerhalb dieser Gruppe ist auffällig und passt aber ganz gut zu den Auswertungen der Investitionskosten in Kap. 2.7.

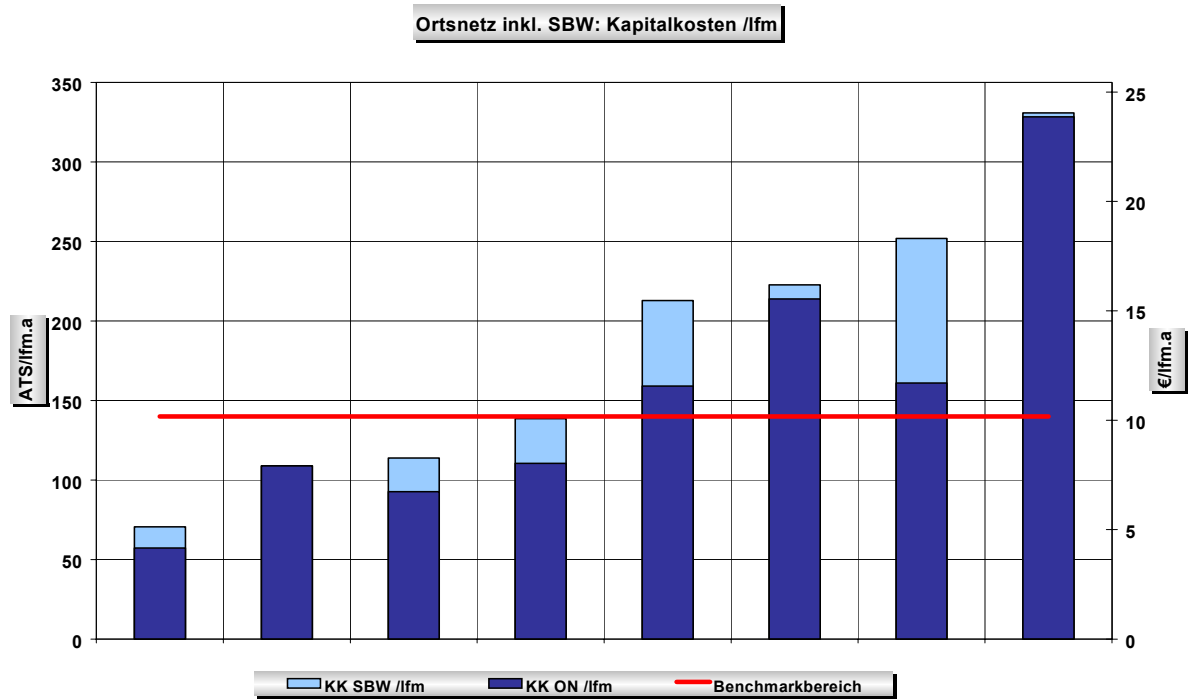


Abbildung 2-3: spezifische Kapitalkosten Ortsnetze inkl. SBW

In Abbildung 2-3 ist der Benchmarkbereich für spezifische Kapitalkosten Ortsnetze inkl. SBW mit 140 ATS/lfm.a (10,2 €/lfm.a) festgelegt.

2.3.2 Verbandsnetze

In Abbildung 2-4 ist der Benchmarkbereich für spezifische Kapitalkosten Verbandsnetze exkl. SBW für alle Gruppen - da die Gruppeneinteilung primär für die betrieblichen Auswertungen gewählt wurde - ebenso wie bei den Ortsnetzen mit 120 ATS/lfm.a (8,7 €/lfm.a) festgelegt.

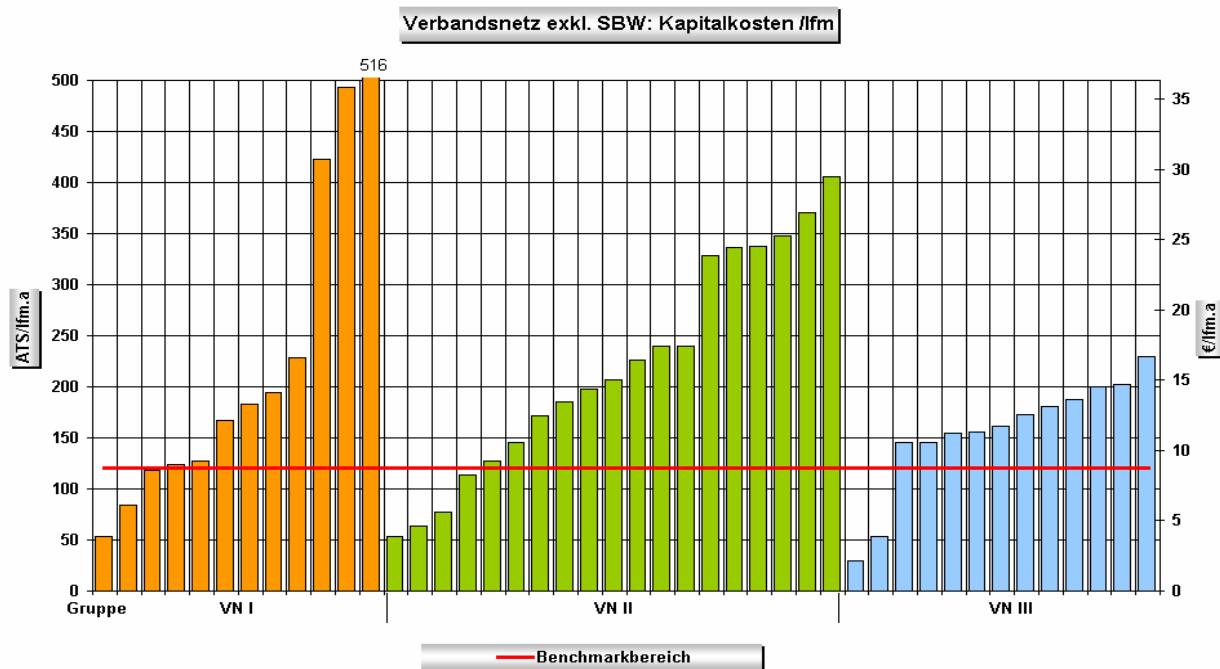


Abbildung 2-4: spezifische Kapitalkosten Verbandsnetze exkl. SBW

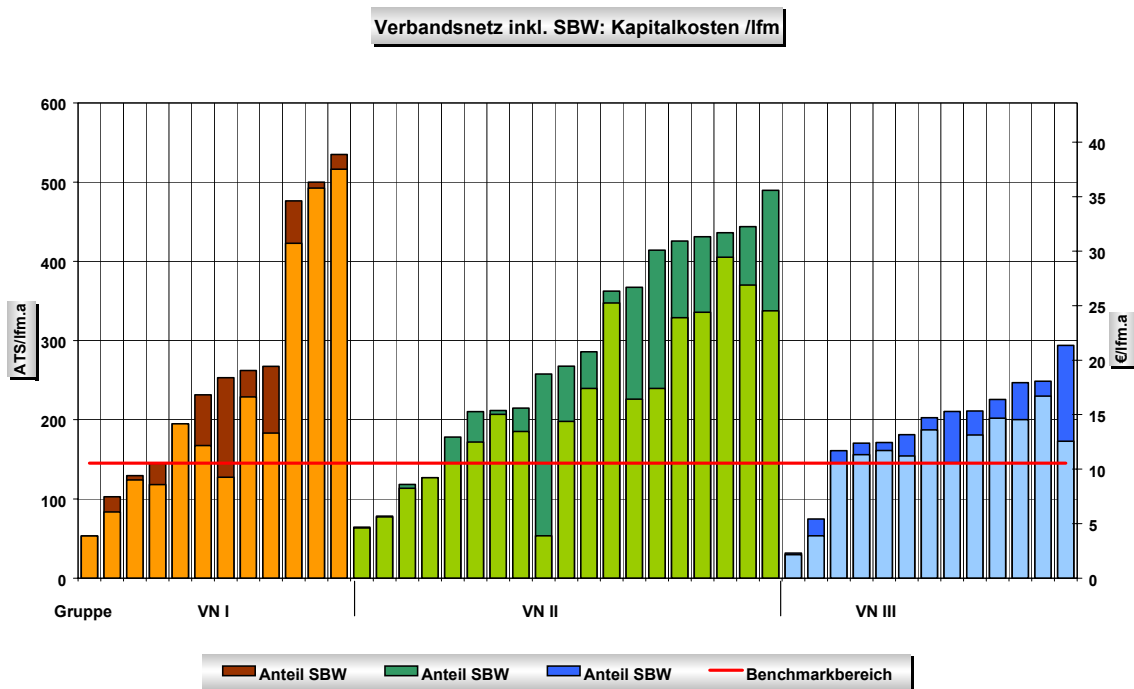


Abbildung 2-5: spezifische Kapitalkosten Verbandsnetz inkl. SBW aufgeteilt nach Anteil der Leitungen (VN) und Anteil der Sonderbauwerke (SBW)

Der Benchmarkbereich für spezifische Kapitalkosten der Verbandsnetze inkl. SBW wurde für alle Gruppen mit 145 ATS/lfm.a (10,5 €/lfm.a) festgelegt.

2.4 Ergebnisse der Betriebskostenauswertung

Achtung: Ab hier werden in den Diagrammen Abstufungen in der Helligkeit der einzelnen Balken bzw. Balkenteile entsprechend der „AUSSAGEKRAFT“ bezüglich Benchmarking der jeweiligen Teilnehmer gemacht. Das heisst, nur bei Teilnehmern mit hoher Aussagekraft haben die Balken bzw. Balkenteile die gleiche Farbe wie in der Legende angezeigt, bei mittlerer Aussagekraft erscheint sie etwas heller und bei geringer Aussagekraft sehr hell!

2.4.1 Ortsnetze

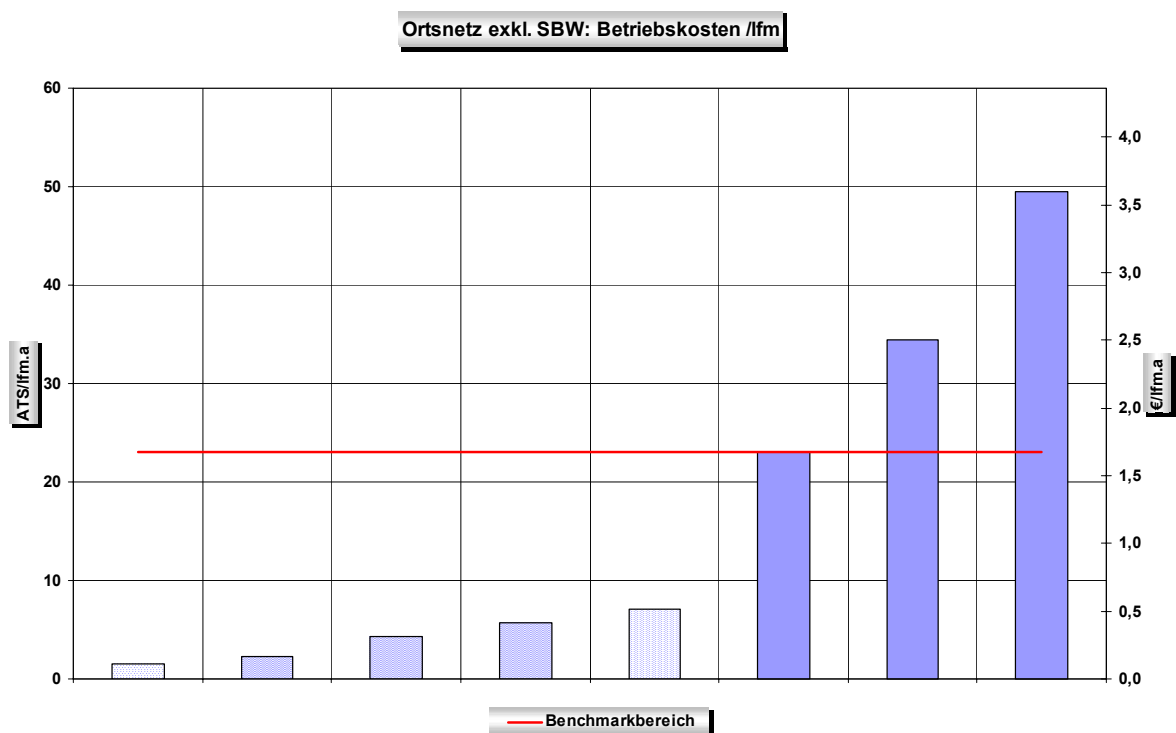


Abbildung 2-6: spezif. Betriebskosten Ortsnetz exkl. SBW

In Abb. 2-6 ist zu erkennen, dass die Teilnehmer mit den günstigsten Werten mit einer geringen bzw. mittleren Aussagekraft eingestuft wurden. Der Benchmarkbereich wurde beim besten Teilnehmer mit einer hohen Aussagekraft mit 23 ATS/lfm.a (1,7 €/lfm.a) festgesetzt.

Bei der Abb. 2-7 ist ersichtlich, dass bezüglich des Betriebes der Sonderbauwerke wesentlich mehr Teilnehmer mit einer hohen Aussagekraft eingestuft wurden. Dies hängt damit zusammen, dass dies mehrheitlich durch

eigenes Personal durchgeführt wird. Der Benchmarkbereich wurde beim günstigsten Teilnehmer festgelegt, der bei beiden Anteilen mit einer hohen Aussagekraft eingestuft wurde und beträgt 44 ATS/lfm.a (3,2 €/lfm.a).

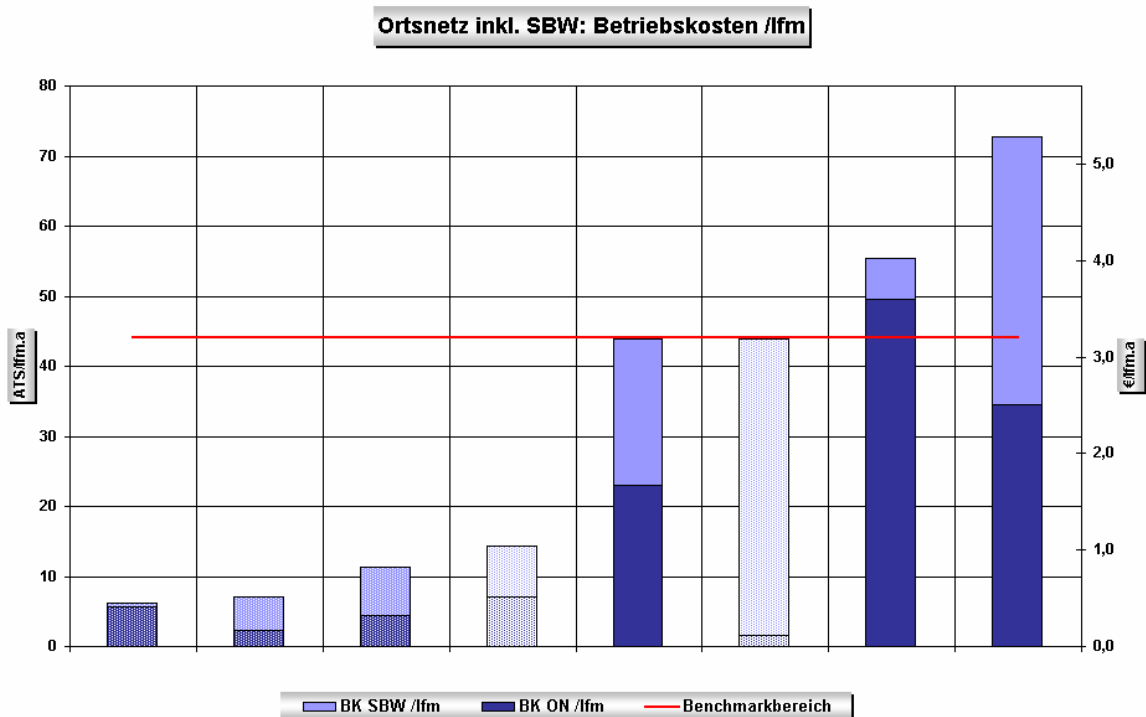


Abbildung 2-7: spezif. Betriebskosten Ortsnetz inkl. SBW

2.4.2 Verbandsnetze

In Abb. 2-8 ist zu ersehen, dass mit größer werdendem Kanalnetz der Anteil der Teilnehmer mit einer hohen Aussagekraft zunimmt. In Gruppe 1 (Leitungslänge kleiner 15000m) wird der Benchmarkbereich wieder beim günstigsten Teilnehmer mit hoher Aussagekraft mit 16 ATS/lfm.a (1,2 €/lfm.a) festgelegt. Bei den Gruppen 2 und 3 wird der Benchmarkbereich etwas niedriger angesetzt jedoch wird nicht beim günstigsten mit hoher Aussagekraft sondern etwas darüber hinaus die Marke mit 11 bzw. 7 ATS/lfm.a (0,8 bzw. 0,5 €/lfm.a) festgelegt.

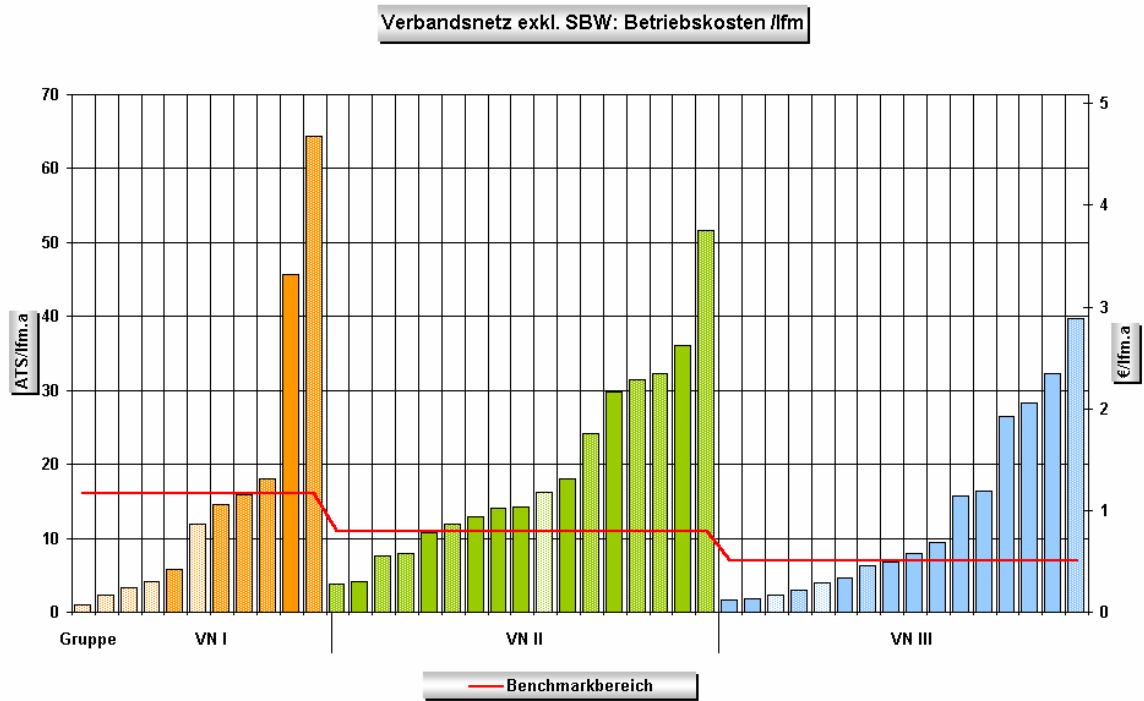


Abbildung 2-8: spezif. Betriebskosten Verbandsnetz exkl. SBW

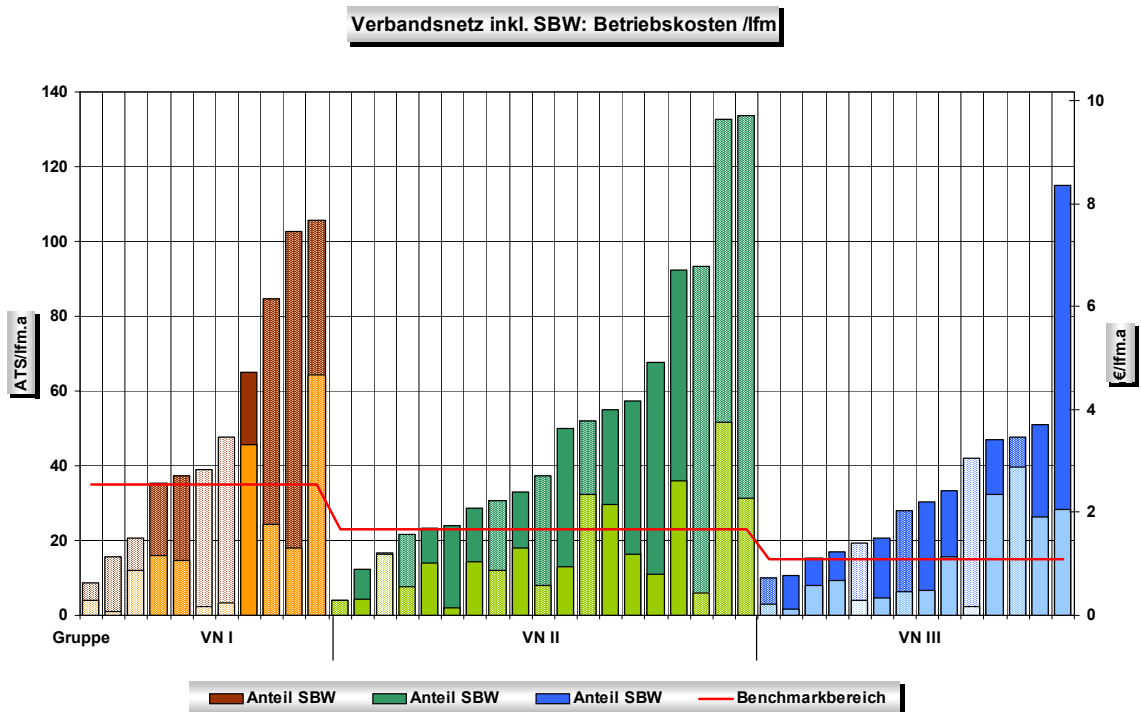


Abbildung 2-9: spezif. Betriebskosten der Verbandsnetze inkl. SBW

Bei den Ausreißern mit den sehr hohen Werten könnte man vermuten, dass etwaige Reparatur- oder Sanierungsarbeiten dies auslösen. Weiter hinten im Bericht in Abbildung 2-26 wird diese Vermutung jedoch nicht bestätigt.

In Abbildung 2-9 ist bei der Gruppe 1 im Gegensatz zu den anderen Gruppen zu erkennen, dass keiner der Teilnehmer bei beiden Anteilen (BK SBW und BK Leitungen VN) eine hohe Aussagekraft hat. Deshalb wurde der Benchmarkbereich in dieser Gruppe relativ hoch mit 35 ATS/lfm.a (2,5 €/lfm.a) angesetzt. Weiters ist zu ersehen, dass der Anteil der Betriebskosten für die Sonderbauwerke bei den meisten Teilnehmern massgebend ist, wobei sich dieser Einfluss verständlicherweise bei der Gruppe 3 durch die längeren Leitungslängen reduziert.

2.5 Ergebnisse der Jahreskostenauswertung

In den folgenden Abbildungen werden jeweils die Anteile der Betriebs- und der Kapitalkosten und bei der Auswertung der Gesamtkanalisation zusätzlich die Anteile der Leitungen und der Sonderbauwerke an den Jahreskosten dargestellt.

2.5.1 Ortsnetze

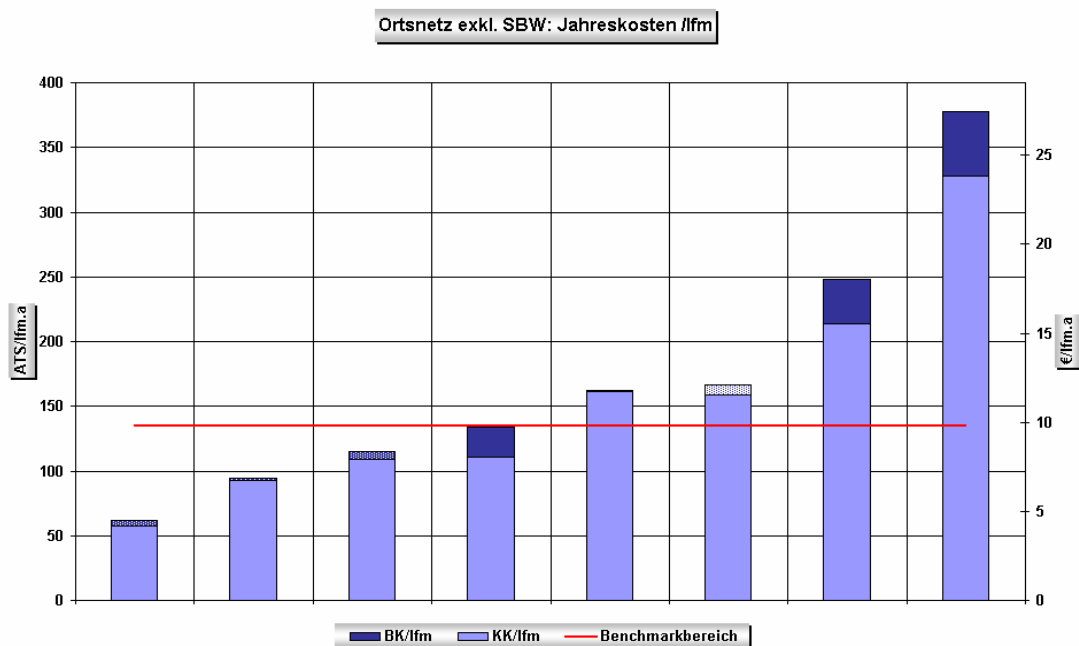


Abbildung 2-10: spezif. Jahreskosten Ortsnetz exkl. SBW aufgeteilt nach Betriebs- und Kapitalkosten

In Abb. 2-10 ist wieder eine sehr grosse Bandbreite der Werte zu ersehen. Der Benchmarkbereich mit 135 ATS/lfm.a (9,8 €/lfm.a) ist in Anlehnung an die Kapitalkosten beim Wert des günstigsten Teilnehmers mit hoher Einstufung der Aussagekraft gewählt.

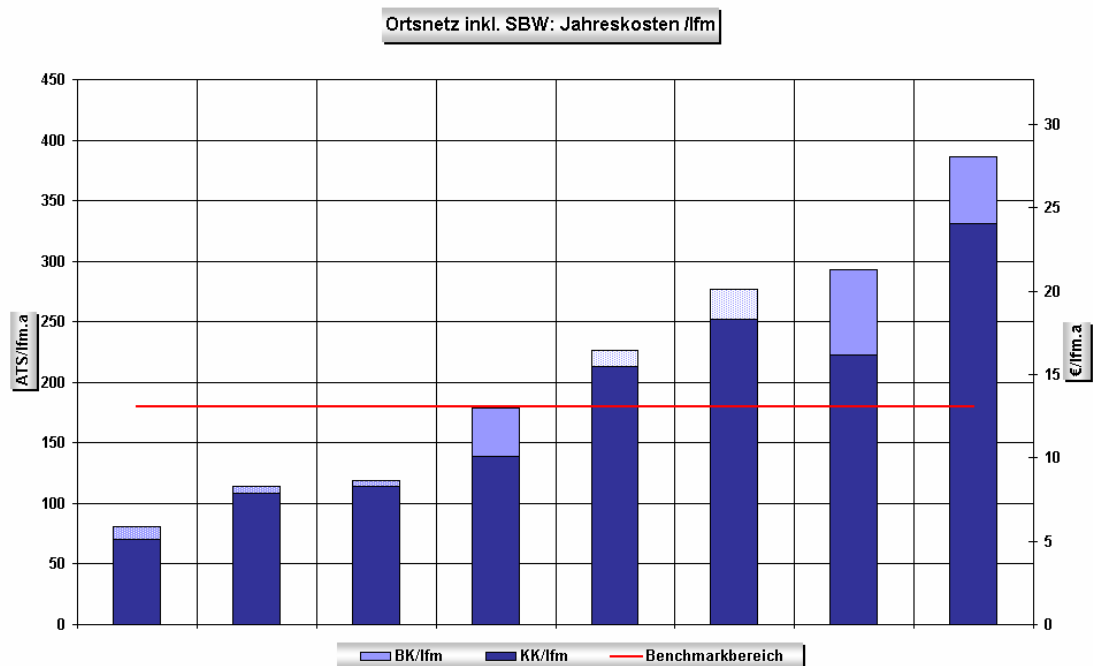


Abbildung 2-11: spezif. Jahreskosten Ortsnetz inkl. SBW aufgeteilt nach Betriebs- und Kapitalkosten

Der Benchmarkbereich der Ortsnetze inkl. SBW mit 180 ATS/lfm.a (13,1 €/lfm.a) ist ebenso beim Wert des günstigsten Teilnehmers mit hoher Einstufung der Aussagekraft gewählt. Abb. 2-12 enthält dieselben Werte, diesmal in Anteile SBW und Leitungen aufgeteilt.

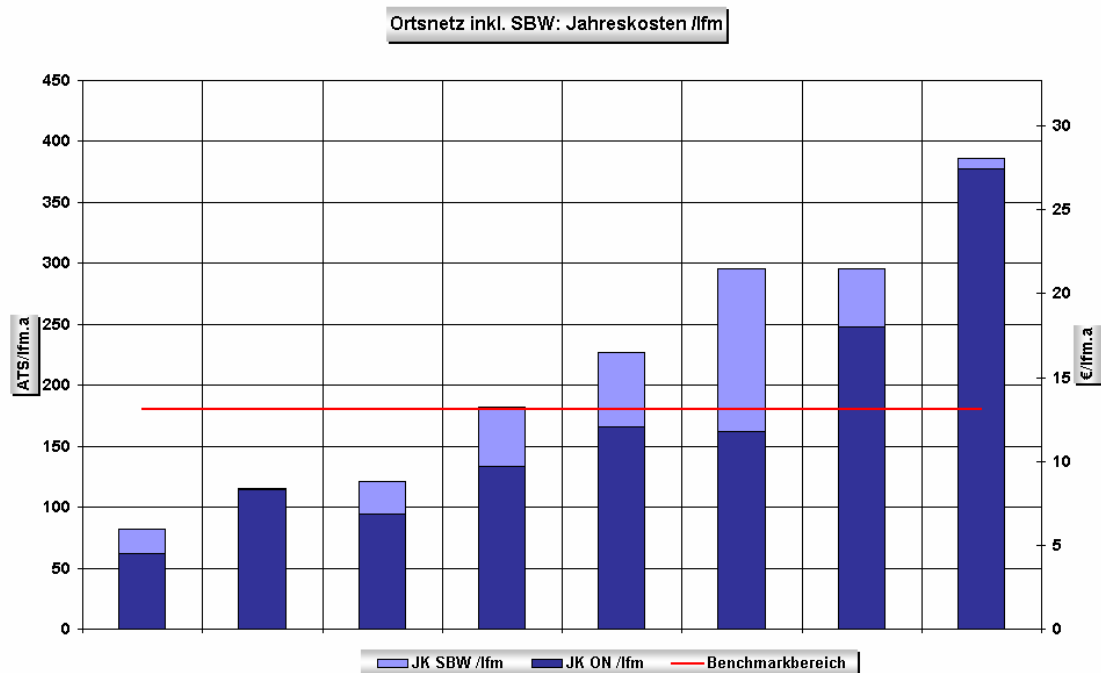


Abbildung 2-12 : spezif. Jahreskosten Ortsnetz inkl. SBW aufgeteilt nach SBW und Leitungen

2.5.2 Verbandsnetze

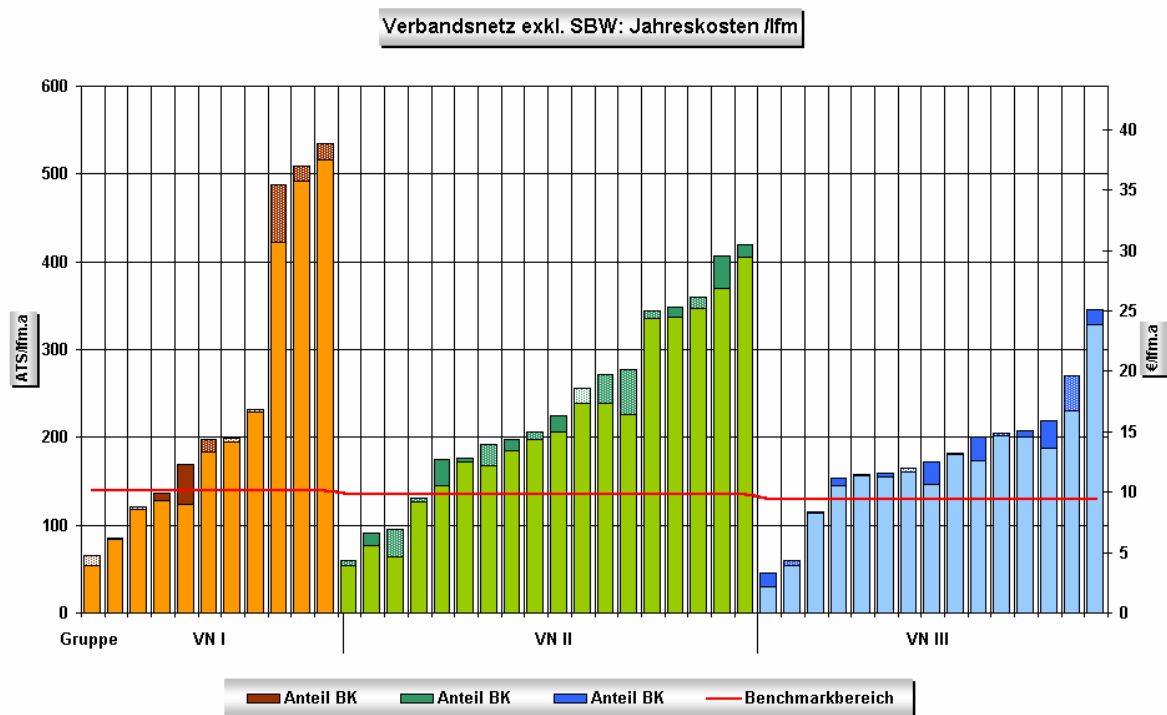


Abbildung 2-13: spezif. Jahreskosten der Verbandsnetze exkl. SBW aufgeteilt nach Betriebs- und Kapitalkosten

Bei den Jahreskosten der Verbandsnetze wurde der Benchmarkbereich in Anlehnung an die Summe der Kapital- und Betriebsbenchmarks unter Berücksichtigung der Aussagekraft bei den Auswertungen exkl. SBW mit 140 / 135 / 130 ATS/lfm.a (10,2 / 9,8 / 9,4 €/lfm.a) in Abb. 2-13 und bei den Auswertungen inkl. SBW mit 200 / 170 / 150 ATS/lfm.a (14,5 / 12,4 / 10,9 €/lfm.a) abgestuft (Abb. 2-14, 2-15).

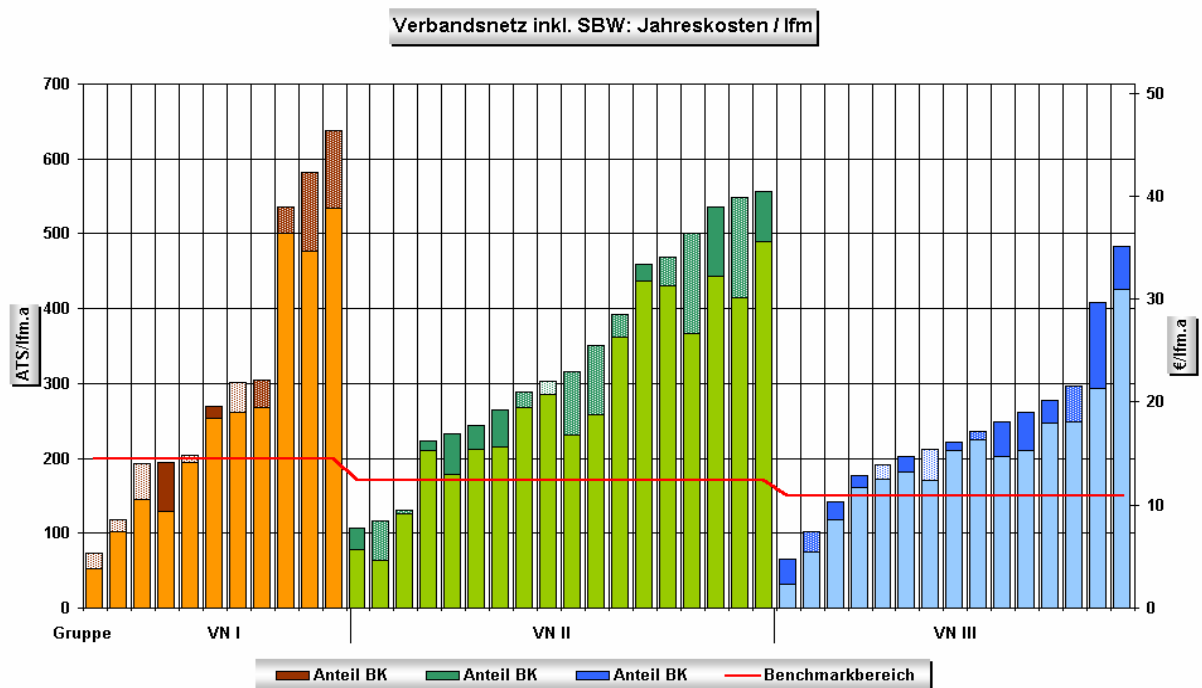


Abbildung 2-14: spezif. Jahreskosten der Verbandsnetze inkl. SBW aufgeteilt nach Betriebs- und Kapitalkosten

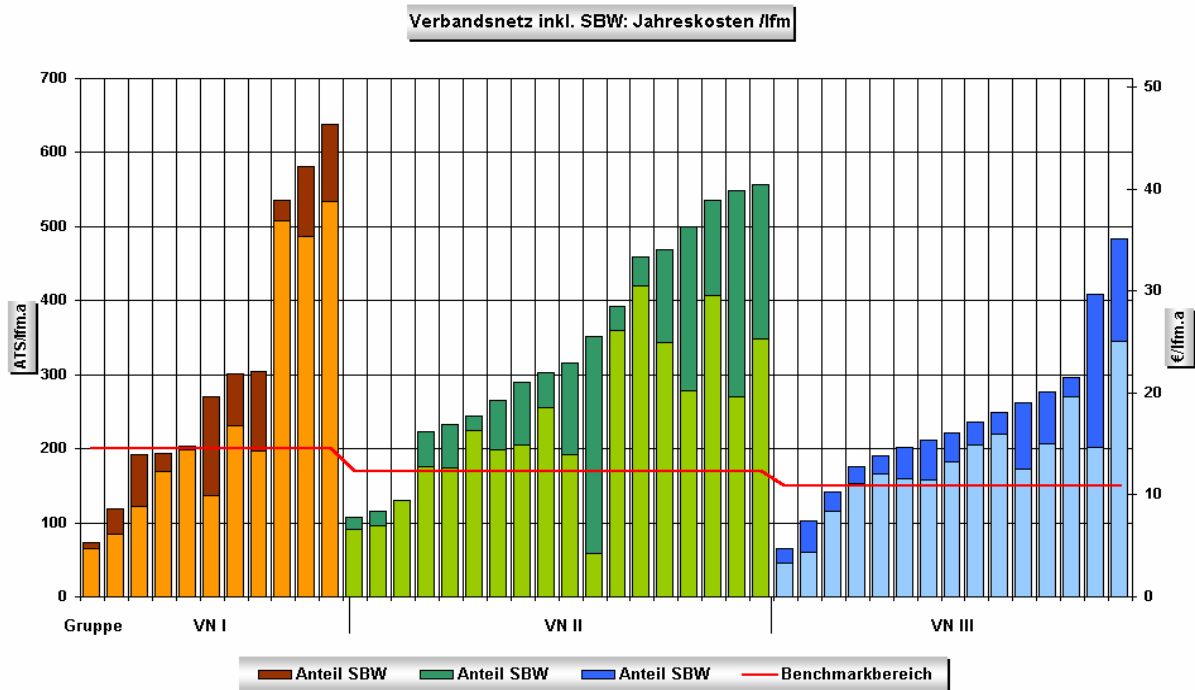


Abbildung 2-15: spezif. Jahreskosten der Verbandsnetze inkl.. SBW mit Anteil der Leitungen (VN) und Anteil der SBW

In Tabelle 2-1 sind alle Wertebereiche und Benchmarkbereiche der vorangegangenen Abbildungen der Ortsnetze und Verbandsnetze aufgeteilt in die Gruppen und jeweils exkl. und inkl. SBW nach Kapital-, Betriebs- und Jahreskosten nochmals in übersichtlicher Form dargestellt.

Tabelle 2-1: Übersicht über die Ergebnisse der Kapital- Betriebs- und Jahreskosten bei Orts- und Verbandsnetzen

		Ortsnetz				Verbandsnetz											
AT\$/lfm.a		exkl. SBW		inkl. SBW		exkl. SBW						inkl. SBW					
						< 15km		>15km <40km		> 40km		< 15km		>15km <40km		> 40km	
Kosten		von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
Kapital-	Wertebereich	60	330	70	330	55	520	55	405	30	230	55	535	65	490	35	295
	Benchmarkbereich		120		140		120		120		120		145		145		145
Betrieb-	Wertebereich	2	50	6	55	1	65	4	53	2	40	13	189	13	184	10	80
	Benchmarkbereich		23		44		16		11		7		35		23		15
Jahres-	Wertebereich	62	380	80	380	65	535	60	420	45	345	80	700	110	1190	50	480
	Benchmarkbereich		135		180		140		135		130		200		170		150

		Ortsnetz				Verbandsnetz											
€/lfm.a		exkl. SBW		inkl. SBW		exkl. SBW						inkl. SBW					
						< 15km		>15km <40km		> 40km		< 15km		>15km <40km		> 40km	
Kosten		von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
Kapital-	Wertebereich	4,4	24,0	5,1	24,0	4,0	37,8	4,0	29,4	2,2	16,7	4,0	38,9	4,7	35,6	2,5	21,4
	Benchmarkbereich		8,7		10,2		8,7		8,7		8,7		10,5		10,5		10,5
Betrieb-	Wertebereich	0,1	3,6	0,4	4,0	0,1	4,7	0,3	3,9	0,1	2,9	0,9	13,7	0,9	13,4	0,7	5,8
	Benchmarkbereich		1,7		3,2		1,2		0,8		0,5		2,5		1,7		1,1
Jahres-	Wertebereich	4,5	27,6	5,8	27,6	4,7	38,9	4,4	30,5	3,3	25,1	5,8	50,9	8,0	86,5	3,6	34,9
	Benchmarkbereich		9,8		13,1		10,2		9,8		9,4		14,5		12,4		10,9

2.6 Wirtschaftliche Betrachtungen

2.6.1 Auswertungen auf Einwohner (E) bezogen

Diese Auswertungen wurden nur für die Ortsnetze durchgeführt. E ist die Anzahl der angeschlossenen Einwohner in genau diesen Ortsnetzen. Die Ergebnisse sollten dazu dienen, die Ausbaukosten der restlichen in Österreich noch zu entsorgenden Gebiete besser abschätzen zu können. Jedoch zeigt sich in den Diagrammen, dass die Schwankungsbreite der Kapitalkosten bei Ortsnetzen exkl. SBW von ca. 1000 bis 3000 ATS/E.a (72,7 bis 218 €/E.a) und inkl. SBW von 1000 bis 4000 ATS/E.a (72,7 bis 290,7 €/E.a) sehr hoch ist, sodass man eine sehr grosse Bandbreite an Ausbauvolumen bekommen würde (Abb. 2-16, 2-17).

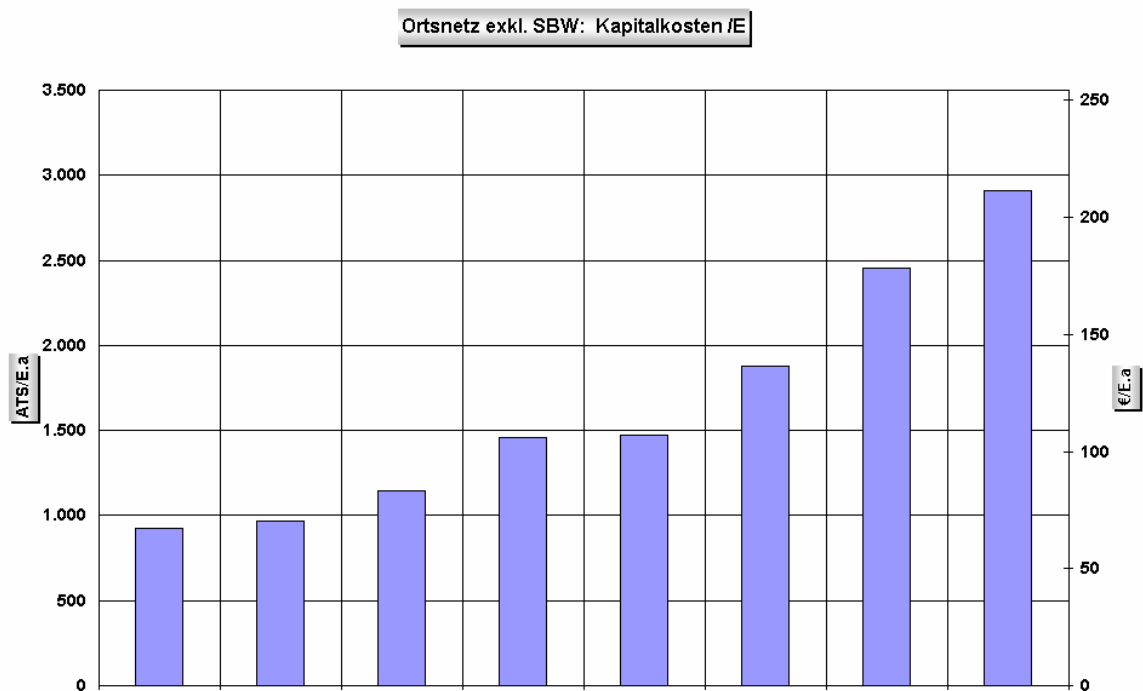


Abbildung 2-16: Spezifische Kapitalkosten Ortsnetze exkl. SBW /E

Die spezif. Betriebskosten schwanken in einem noch grösserem Masse, exkl. SBW von 25 bis 440 ATS/E.a (1,8 bis 32 €/E.a) bzw. inkl. SBW von 80 bis 540 ATS/E.a (5,8 bis 39,2 €/E.a) (Abb. 2-18, 2-19).

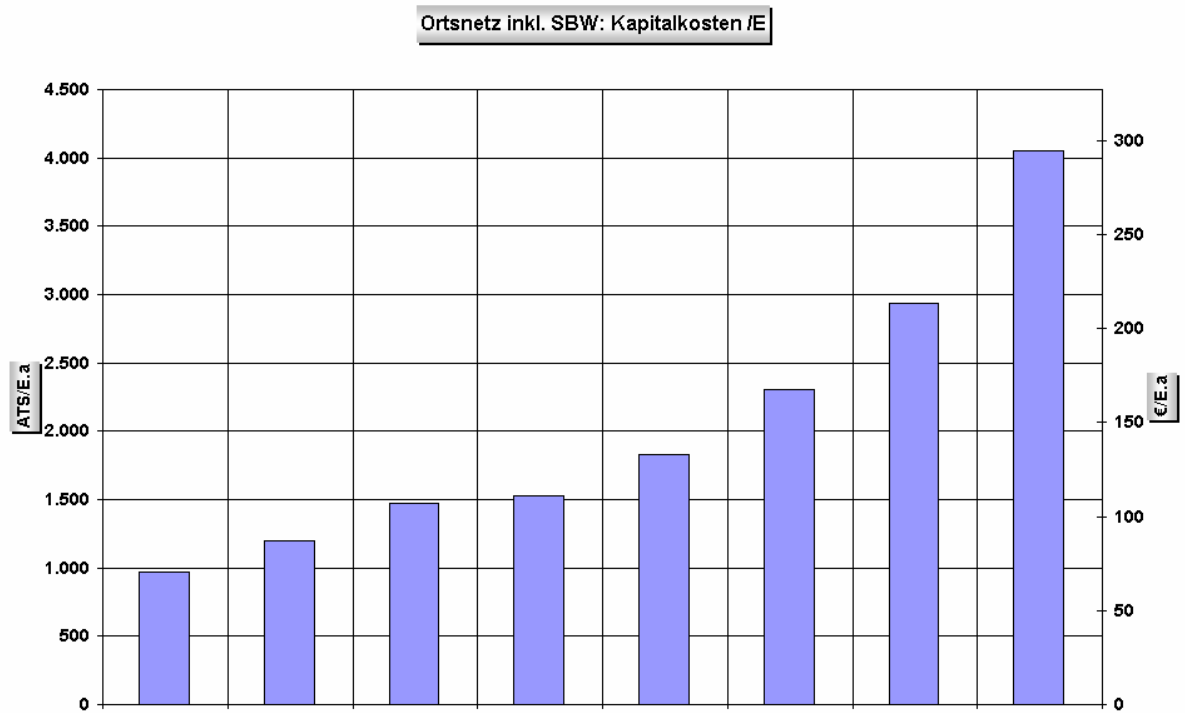


Abbildung 2-17: Spezifische *Kapitalkosten Ortsnetze inkl. SBW /E*

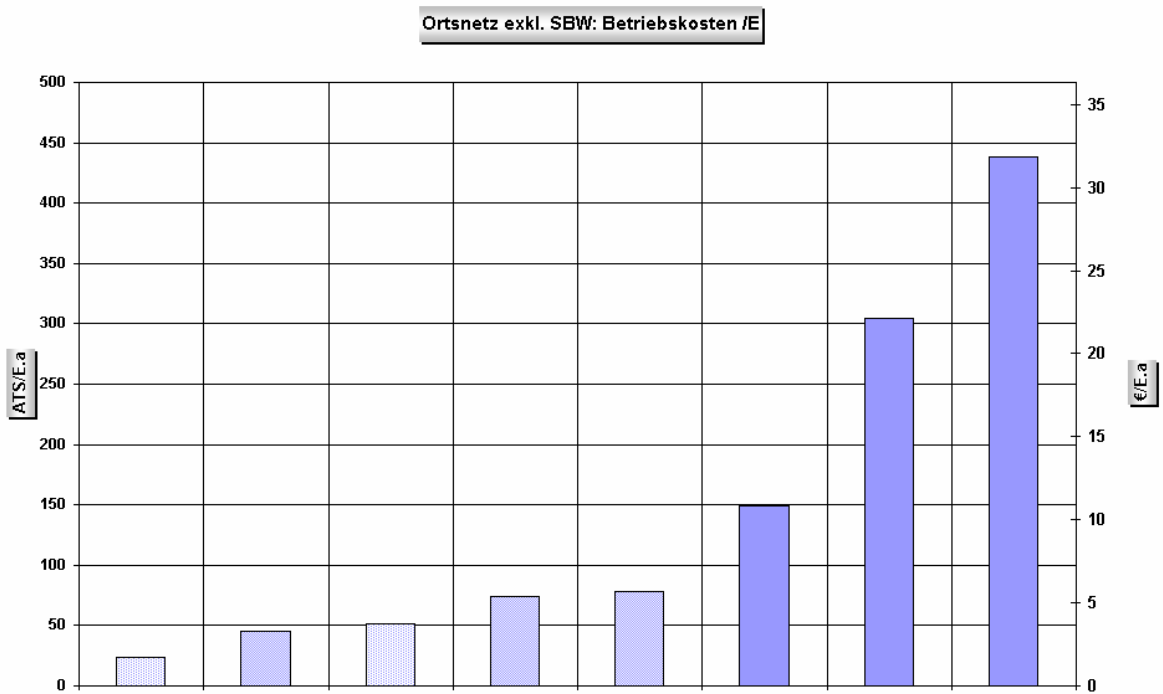


Abbildung 2-18: Spezifische *Betriebskosten Ortsnetze exkl. SBW /E*

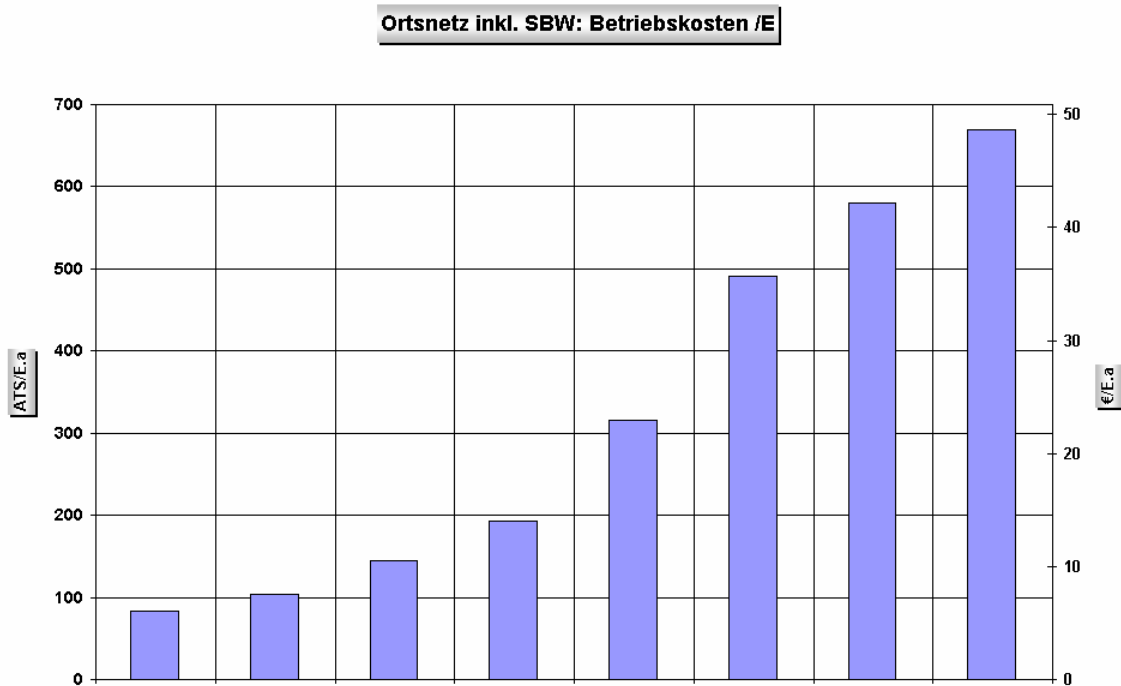


Abbildung 2-19: Spezifische Betriebskosten Ortsnetze inkl. SBW /E

Die Bandbreiten der Jahreskosten ergeben sich aus der Summe der Kapital- und Betriebskosten folglicherweise bei Auswertung exkl. SBW zu ca. 1000 bis 3400 ATS/E.a (72,7 bis 247,1 €/E.a) und 1100 bis 4500 ATS/E.a (79,9 bis 327 €/E.a) (Abb. 2-20, 2-21).

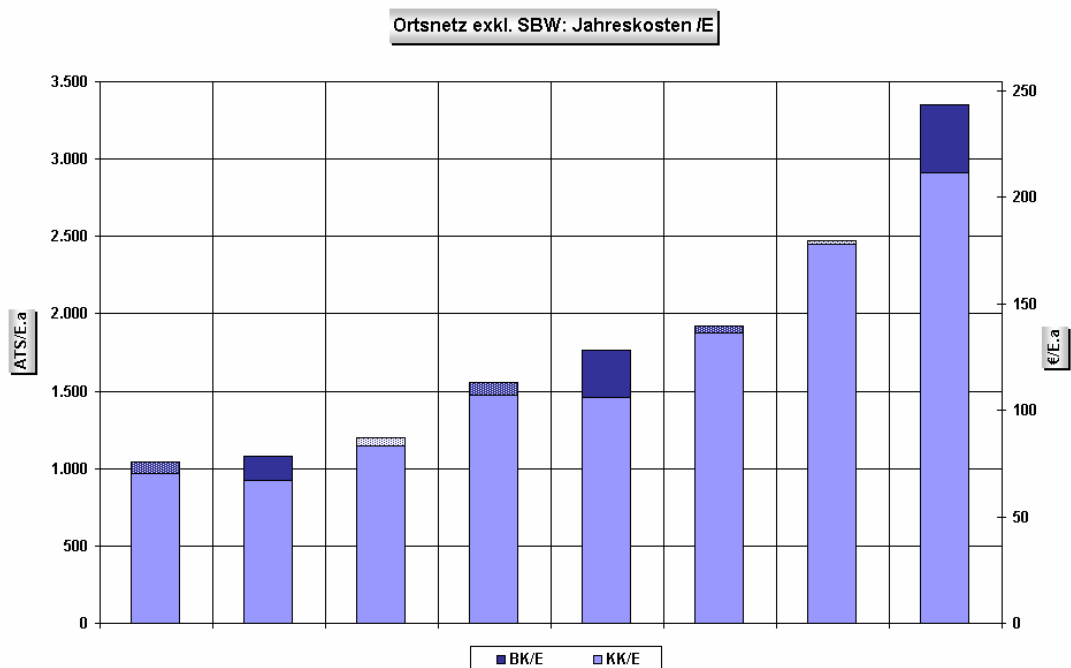


Abbildung 2-20: Spezifische Jahreskosten Ortsnetze exkl. SBW /E

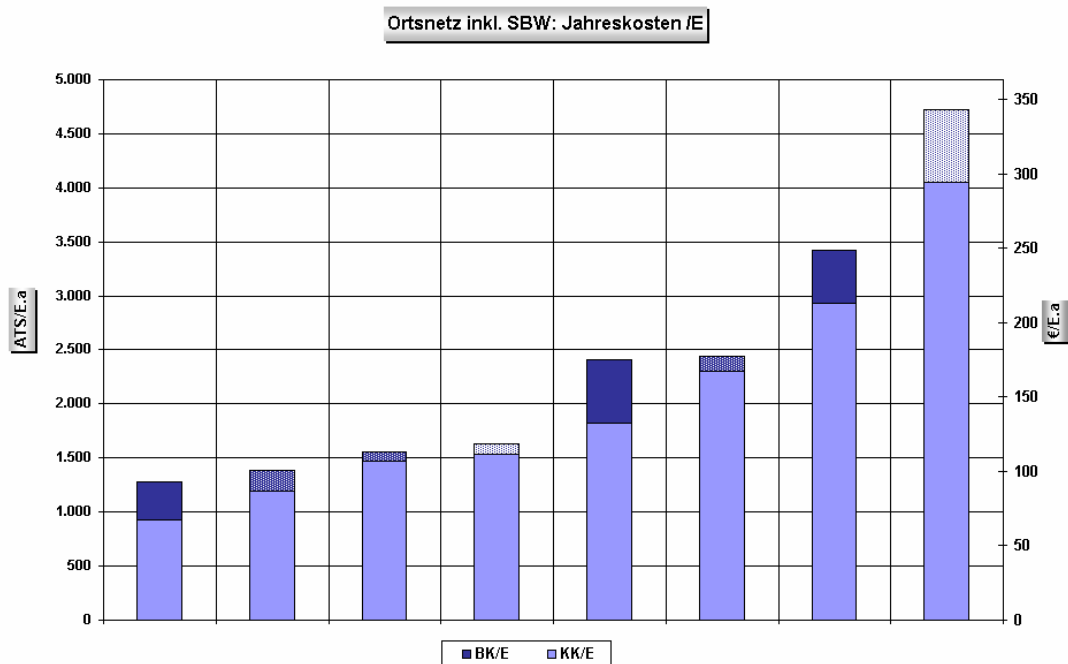


Abbildung 2-21: Spezifische Jahreskosten Ortsnetze inkl. SBW /E

2.6.2 Auswertungen bezüglich der Betriebskostenarten

Diese Auswertungen geben einerseits Aufschluss über den Anteil der zu erbringenden betrieblichen Leistungen, der an Fremdfirmen vergeben wird und andererseits zeigt sich daraus, ob im Betrachtungsjahr 1999 erhöhter Aufwand für Reparatur und Instandhaltung erbracht werden musste. Da bei den Ortsnetzen die Stichprobe sehr klein ist, werden diese Auswertungen nur für die Verbandsnetze durchgeführt.

Aus Abb. 2-22 ist zu ersehen, dass die Teilnehmer mit höheren spezifischen Gesamtaufwänden bei der Gruppe 1 und 3 relativ geringe Anteile an spezifischen Reparatur- und Instandhaltungskosten hatten, hingegen bei Gruppe 2 diese teilweise durch den erhöhten Reparaturaufwand erklärt werden können. Es kann auch kein Trend hinsichtlich Fremdvergabe bei höheren spezifischen Gesamtwerten erkannt werden.

Bei Betrachtung derselben Darstellung für Verbandsnetze inkl. SBW in Abb. 2-23 wird der Anteil an Rep. & Instandhaltung nochmals kleiner, was sich durch den erhöhten laufenden Betriebsaufwand für die Sonderbauwerke im allgemeinen erklären lässt.

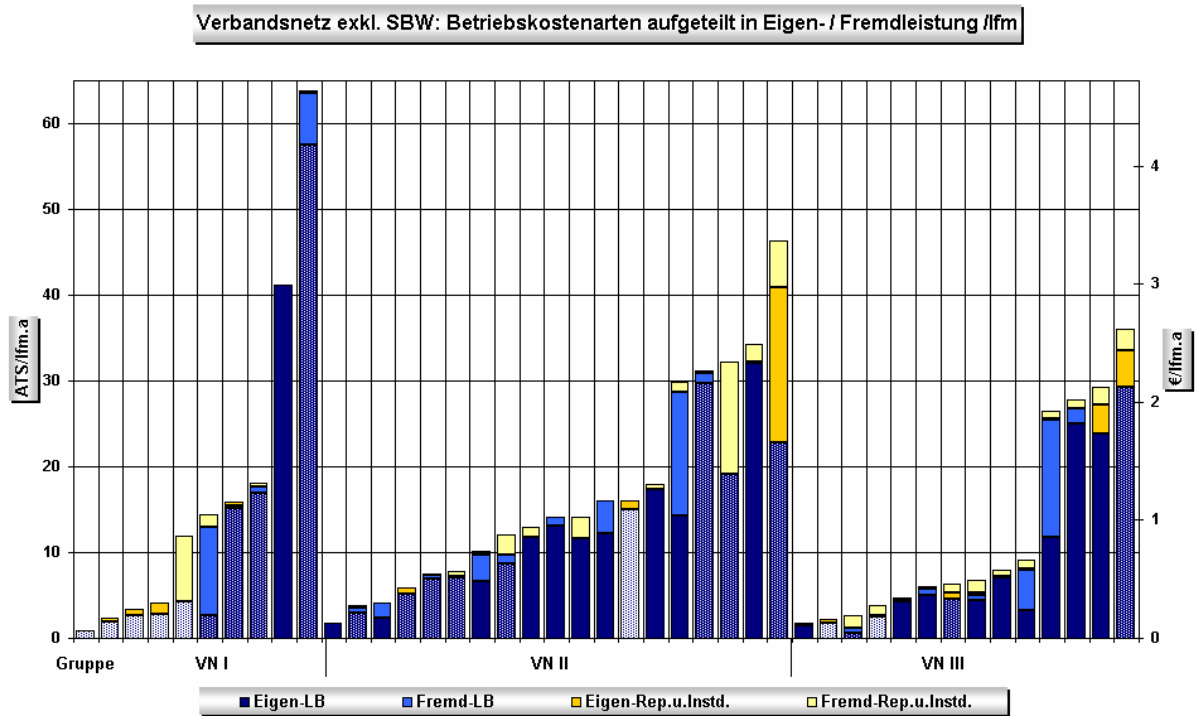


Abbildung 2-22: Betriebskostenanteile Verbandsnetz exkl. SBW aufgeteilt nach Eigen / Fremd und Laufender Betrieb / Rep. & Instandhaltung

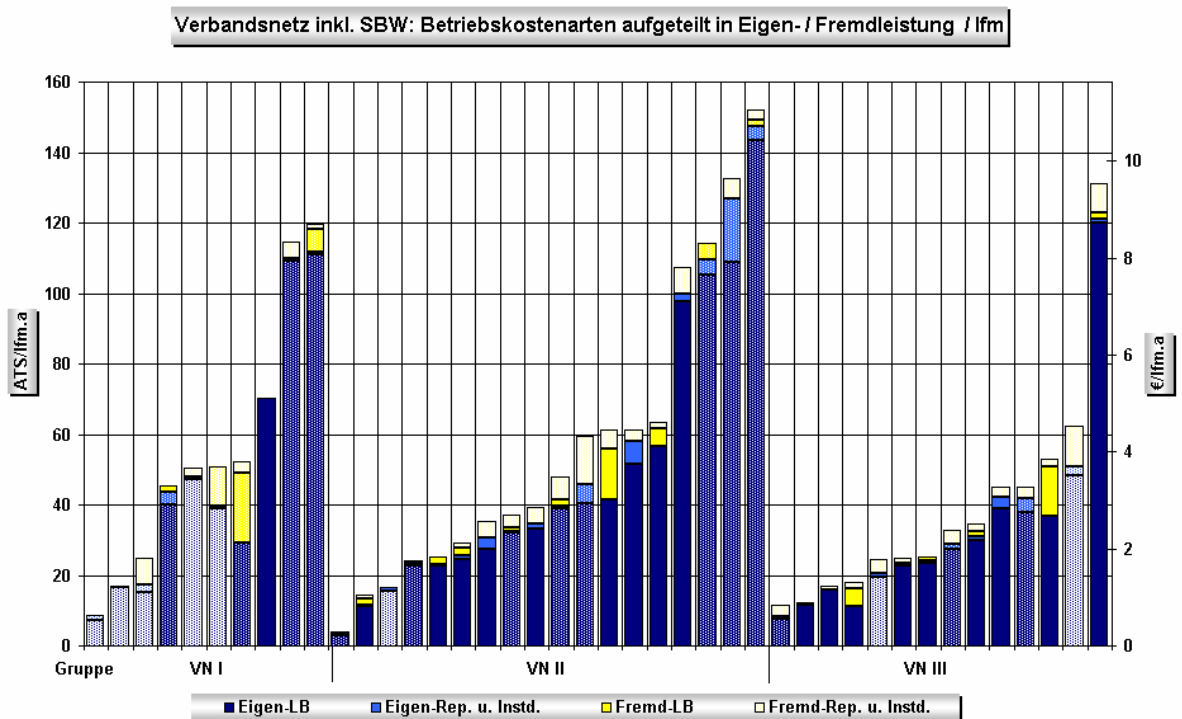


Abbildung 2-23: Betriebskostenanteile Verbandsnetz inkl.. SBW aufgeteilt nach Eigen / Fremd und Laufender Betrieb / Rep. & Instandhaltung

In den Abb. 2-24 und 2-25 werden die spezifischen Betriebskosten der Verbandsnetze in Eigen- und Fremdleistung aufgeteilt. In beiden Abbildungen ist klar zu erkennen, dass die betrieblichen Aufgaben überwiegend in Eigenleistung erbracht werden. Der Prozentsatz erhöht sich bei Hinzunahme der Sonderbauwerke nochmals beträchtlich.

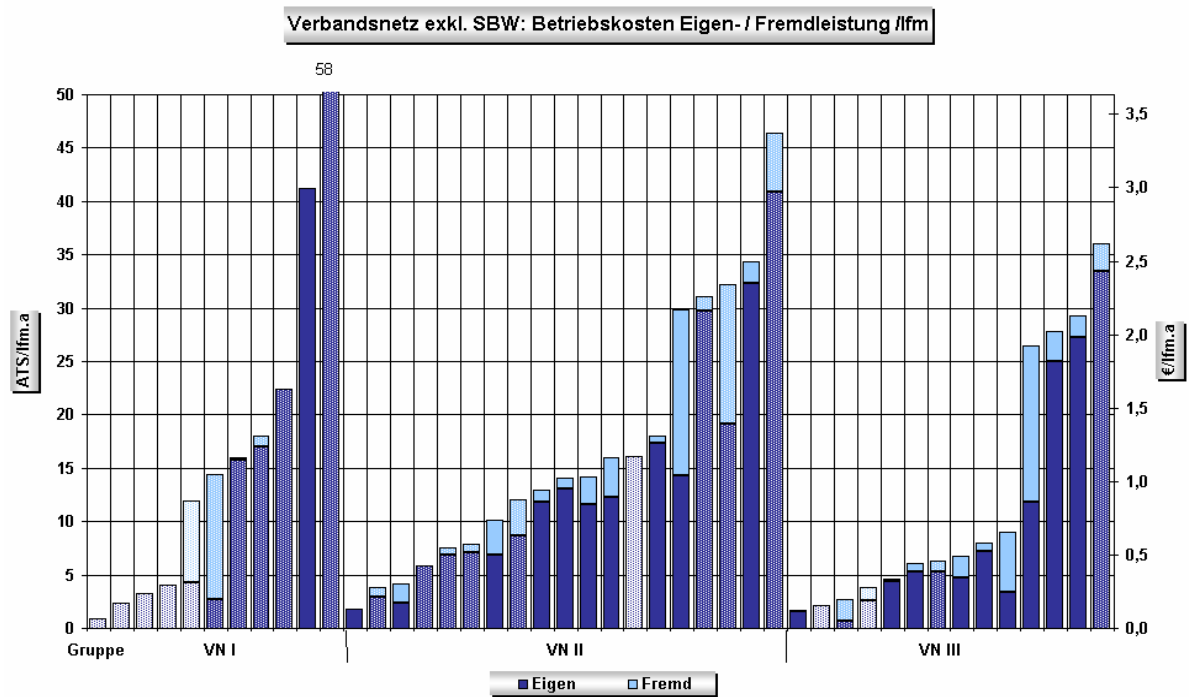


Abbildung 2-24: Aufteilung der spezifischen Betriebskosten der Verbandsnetze exkl. SBW in Eigen- und Fremdleistung

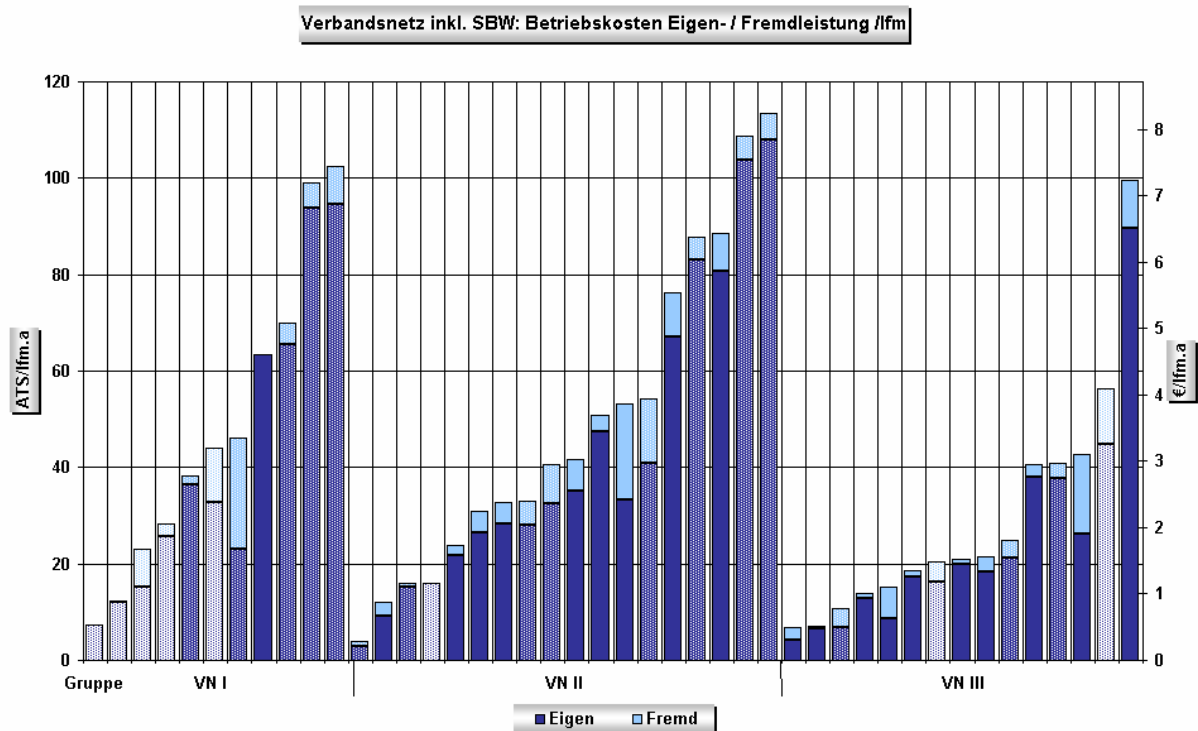


Abbildung 2-25: Aufteilung der spezifischen Betriebskosten der Verbandsnetze inkl. SBW in Eigen- und Fremdleistung

In den Abb. 2-26 und 2-27 wird jeweils die Eigen bzw. Fremdleistung bei Verbandsnetzen exkl. SBW in Laufenden Betrieb und in Reparatur & Instandhaltung aufgeteilt.

In Abb. 2-26 ist klar ersichtlich, dass die Eigenleistung beim Betrieb der Leitungsnetze vorwiegend für den laufenden Betrieb eingesetzt wird und in der Abb. 2-27 ist ersichtlich, wenn Arbeiten an Firmen vergeben werden, dann überwiegend für Reparatur und Instandhaltung.

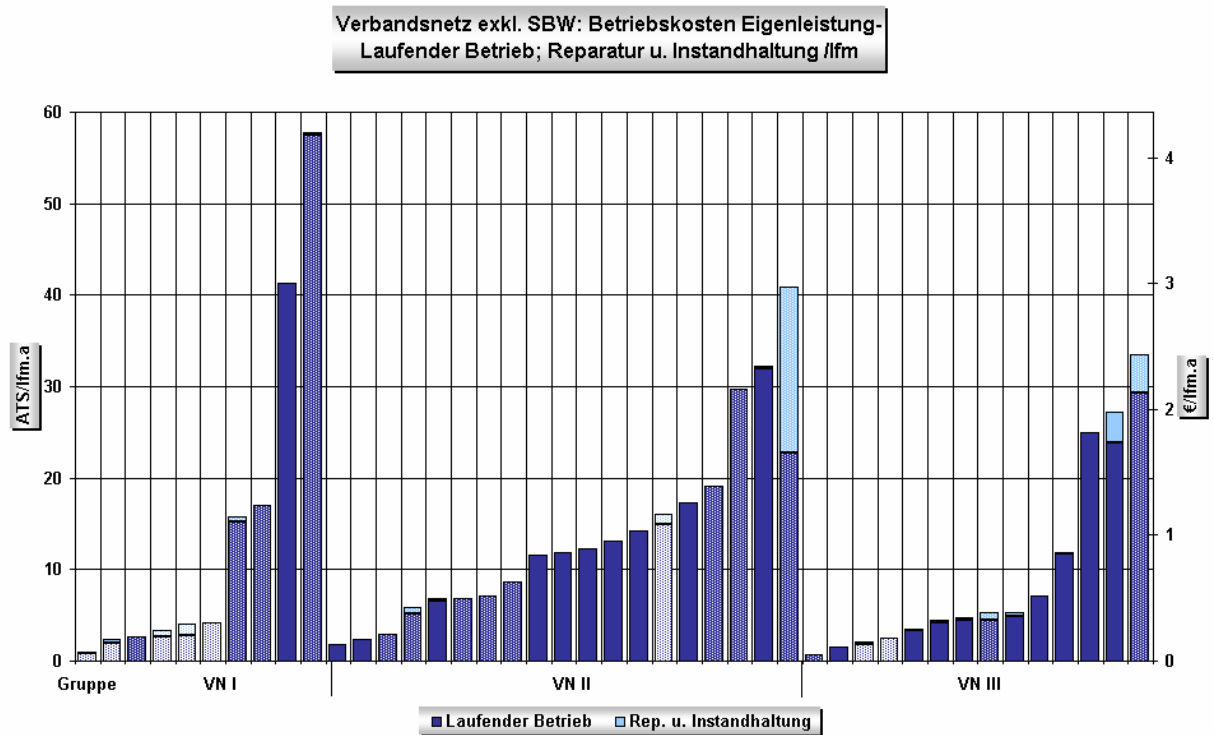


Abbildung 2-26: Eigenleistung bei Verbandsnetzen exkl. SBW aufgeteilt in Laufenden Betrieb und in Reparatur & Instandhaltung.

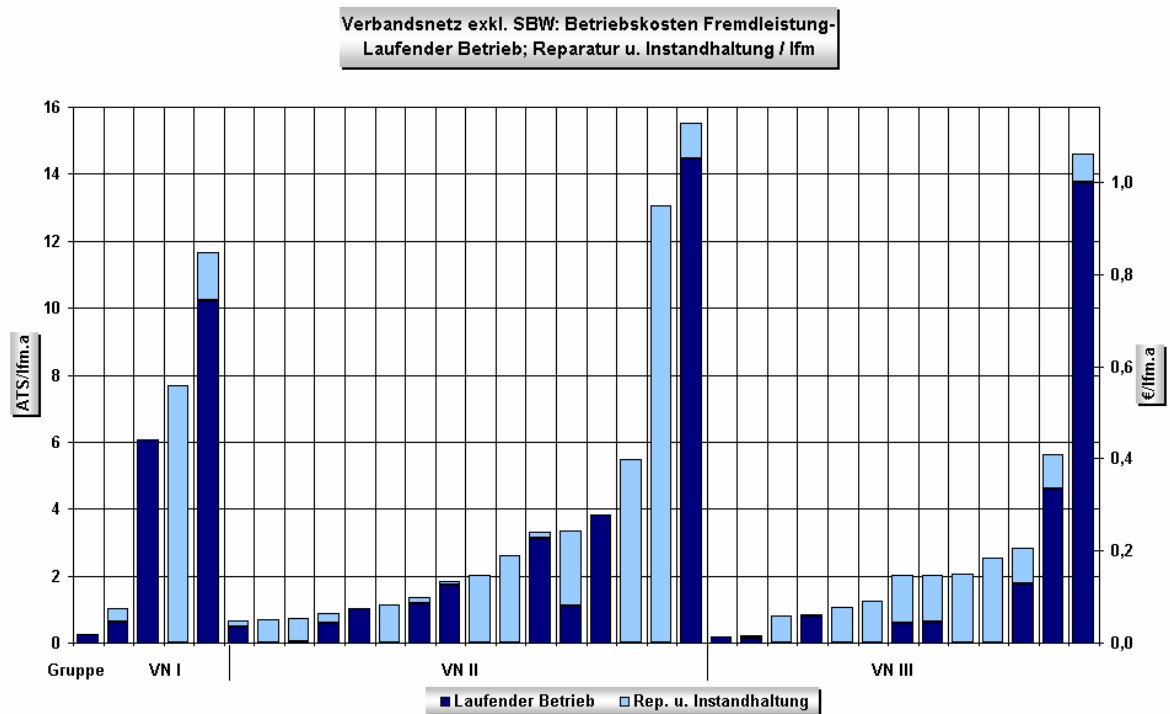


Abbildung 2-27: Fremdleistung bei Verbandsnetzen exkl. SBW aufgeteilt in Laufenden Betrieb und in Reparatur & Instandhaltung

2.7 Ergebnisse der Detailanalyse Kanalbau

2.7.1 Einleitung

Im Folgenden sind die Investitionskosten / Laufmeter Kanal für die gruppierten Kanalisationsabschnitte dargestellt. Von diesen Investitionskosten wurden bereits, wie oben erwähnt, Kosten, die durch lokale Gegebenheiten bedingt sind, soweit wie möglich abgeschlagen, um zu gewährleisten, dass alle Teilnehmer verglichen werden können. Für jede Gruppe wurde auch der Median dargestellt. Diese Mediane können aufgrund der erwähnten Gründe nicht als Benchmarks angesehen werden. Vielmehr sind sie mit einem Toleranzintervall versehen als Richtwerte für Investitionskosten im Kanalbau zu verstehen.

Aufgrund der jeweiligen Verhältnisse können diese Richtpreise aber über- oder unterschritten werden und trotzdem "angemessen" sein. Die Beurteilung, ob ein Preis angemessen ist, bedarf dem Urteil einer Fachperson die mit den lokalen und regionalen Verhältnissen bestens vertraut ist.

2.7.2 Investitionskosten für Ortskanäle

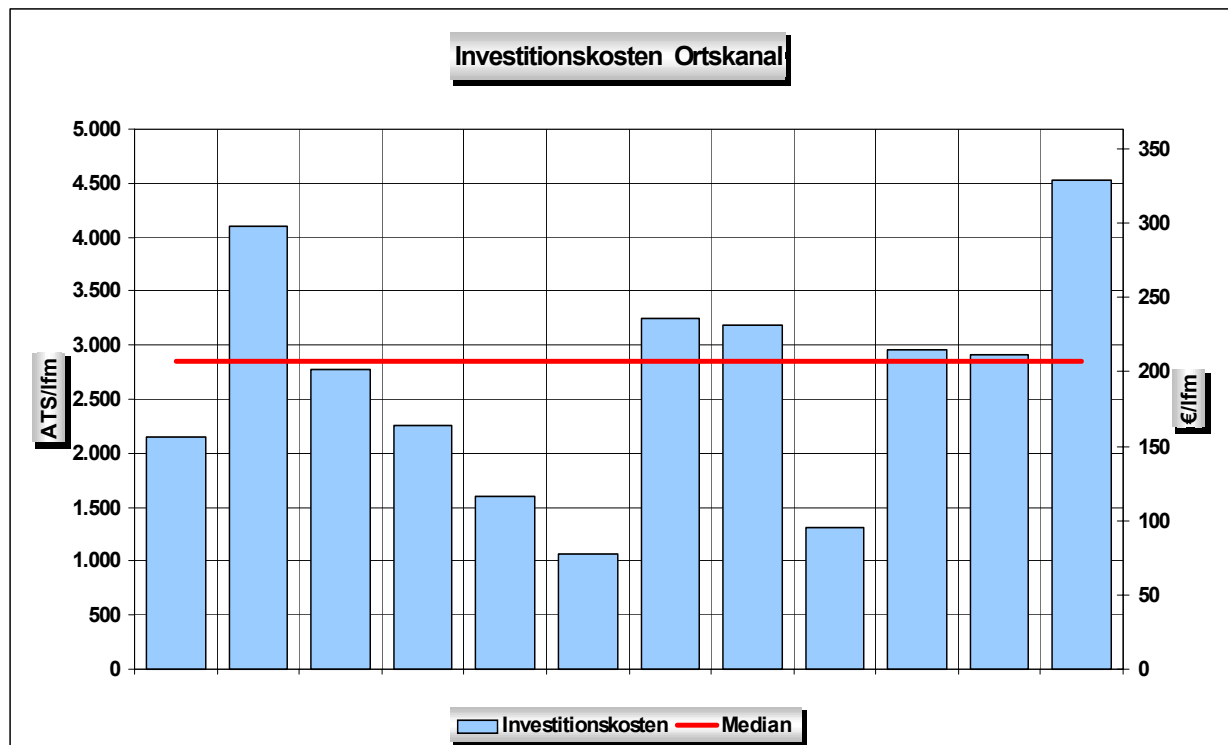


Abbildung 2-28: Darstellung der Investitionskosten für Ortskanäle

In obiger Abbildung sind die Investitionskosten für Kanalisationsabschnitte, die größtenteils im Ortsgebiet liegen, für die in Kap. 1.6.1 angegebenen Verhältnisse dargestellt. Die Anordnung der Teilnehmer ist chronologisch, links ist der älteste Teilnehmer und rechts der Jüngste angeordnet. Der Durchmesser dieser Kanäle beträgt durchschnittlich DN 150 – DN 300. Der Median beträgt rd. 2850,- ATS (207,12 €).

Der Grossteil an den Gesamtkosten fällt auf die Leistungsgruppen Kanalrohre und Wasserversorgung (Median rd. 28%). Die verwendeten Rohrmaterialien sind PVC, GF-UP, Steinzeug und Beton. Für den Teilnehmer mit Investitionskosten von über 4500,- ATS (327 €) sind außergewöhnlich hohe Rohrkosten verantwortlich. Für einen weiteren Teilnehmer sind Kosten von rd. 500,- ATS (36,3 €) für eine Betonummantelung von PVC Rohren angefallen. Für die Rohrmaterialien konnte in dieser Gruppe keine Korrelation mit den Kanalrohrpreisen hergestellt werden, da die Anzahl der Kanalisationsabschnitte in der Gruppe zu gering ist.

Ansonsten sind die hohen Preisunterschiede in dieser Gruppe durch unterschiedliche Preise in den Leistungsgruppen Kanalrohre & Wasserversorgung, Straßenwiederherstellung, Erd- und Aufbrucharbeiten, und Baustellengemeinkosten bedingt. Eine signifikante Korrelation zwischen diesen Leistungsgruppen und den Investitionskosten konnte nicht ermittelt werden. Der Grund dafür ist, wie bereits erwähnt, die Vermutung, dass Baufirmen die Investitionskosten für eine Kanalisationsanlage oft nach dem “Top Down approach” ermitteln, d.h. zuerst werden die Gesamtkosten geschätzt und diese dann auf die einzelnen Positionen aufgeteilt. Zusätzlich konnten auch Einflussfaktoren auf die Preisbildung wie Spekulationen seitens der Baufirmen und besondere lokale und regionale Marktverhältnisse nicht berücksichtigt werden. Auf den Einfluss der Konjunktur auf die Baupreise wird in Kap.2.7.4 näher eingegangen.

Wenn man den angegebenen Median für die Investitionskosten mit einem Toleranzintervall von 10% versieht, ergeben sich Richtwerte von rd. 2550 - 3100 ATS / lfm Kanal (185,3 – 225,3 €) für die in Kap. 1.6.1 angegebenen Verhältnisse.

In verschiedenen Auswertungen wurde noch versucht, die Investitionskosten mit der Anzahl der Bieter, dem mittleren Schachtabstand, der relativen Kanaltiefe

(Länge der Schachtringe) und dem durchschnittlichen Rohrdurchmesser zu korrelieren. Es ergeben sich jedoch nur schwach signifikante Zusammenhänge. Am höchsten ist jener zwischen den Investitionskosten und dem mittleren Schachtabstand ($R^2 = 0,63$), wobei die Anzahl der erforderlichen Schächte wiederum von der Anzahl der Hausanschlusschächte abhängt (Ortskanal).

2.7.3 Investitionskosten für Transportkanäle

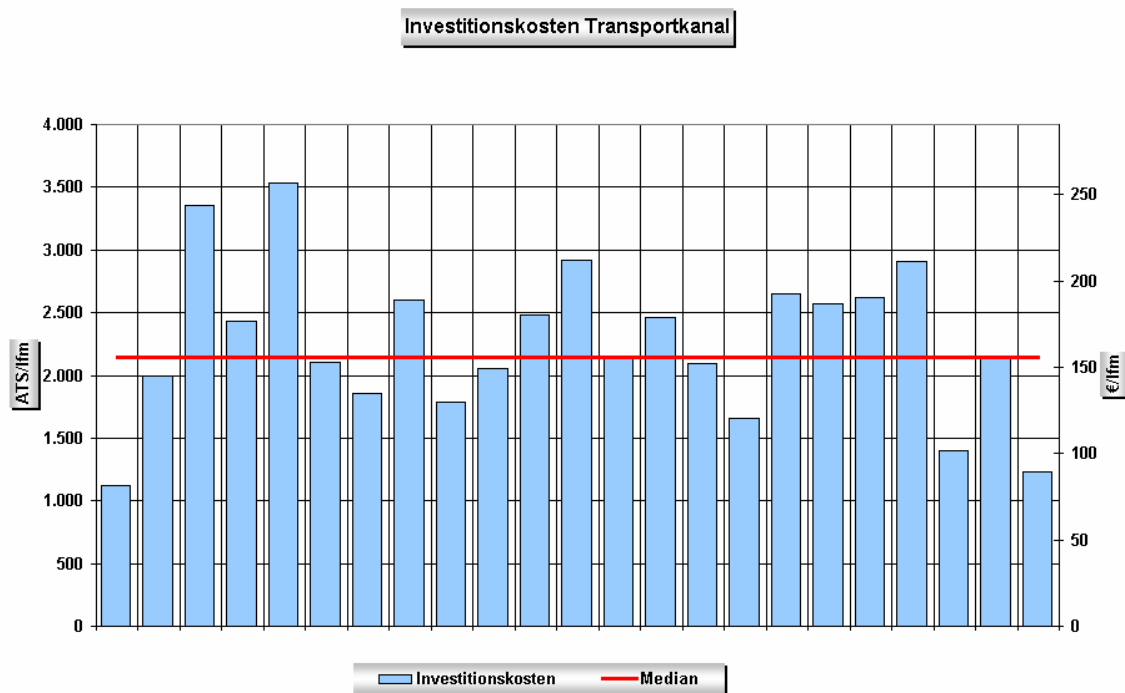


Abbildung 2-29: Darstellung der Investitionskosten für Transportkanäle

In Abb. 2-29 sind die Investitionskosten für Kanalisationsabschnitte, die großteils aus Transportkanälen bestehen, für die in Kap. 1.6.1 angegebenen Verhältnisse dargestellt. Die Anordnung der Teilnehmer ist chronologisch, links ist der älteste Teilnehmer und rechts der Jüngste angeordnet. Der Durchmesser dieser Kanäle beträgt durchschnittlich DN 150 – DN 400. Der Median beträgt rd. 2150,- ATS (156,2 €).

Grundsätzlich gelten für die Investitionskosten für Transportkanäle die gleichen Aussagen wie sie für die Investitionskosten für Ortskanäle getroffen wurden. Wie erwartet liegen die Investitionskosten für Transportkanäle beträchtlich (um ca. 700 ATS / 50,9 €) unter jenen für Ortskanäle.

Wenn man den angegebenen Median der Investitionskosten mit einem Toleranzintervall von +/-10% versieht ergeben sich Richtwerte von rd. 1900 - 2400 ATS / lfm Kanal (138,1 – 174,4 €), für die in Kap. 1.6.1 angegebenen Verhältnisse. Aufgrund der größeren Stichproben für diese Gruppe können diese Zahlen als gefestigter angesehen werden als jene für die Ortskanäle.

Es wurden die Investitionskosten mit der Anzahl der Bieter, dem mittlerem Schachtabstand, der relativen Kanaltiefe (Länge der Schachtringe), dem Anteil an befestigter Oberfläche und dem Rohrdurchmesser korreliert. Jedoch ergibt sich für keinen dieser Fälle ein signifikanter Zusammenhang. Nur für die Korrelation der Investitionskosten mit dem meist verwendeten Rohrmaterial (Abbildung 2-30) ist ersichtlich, dass die Wahl des Rohrmaterials einen Einfluß auf die Investitionskosten hat. Daraus allgemeine Empfehlungen zu geben, ist allerdings schwer, da auch noch andere Faktoren, wie z.B. Einbau- und Verlegekriterien, berücksichtigt werden müssen.

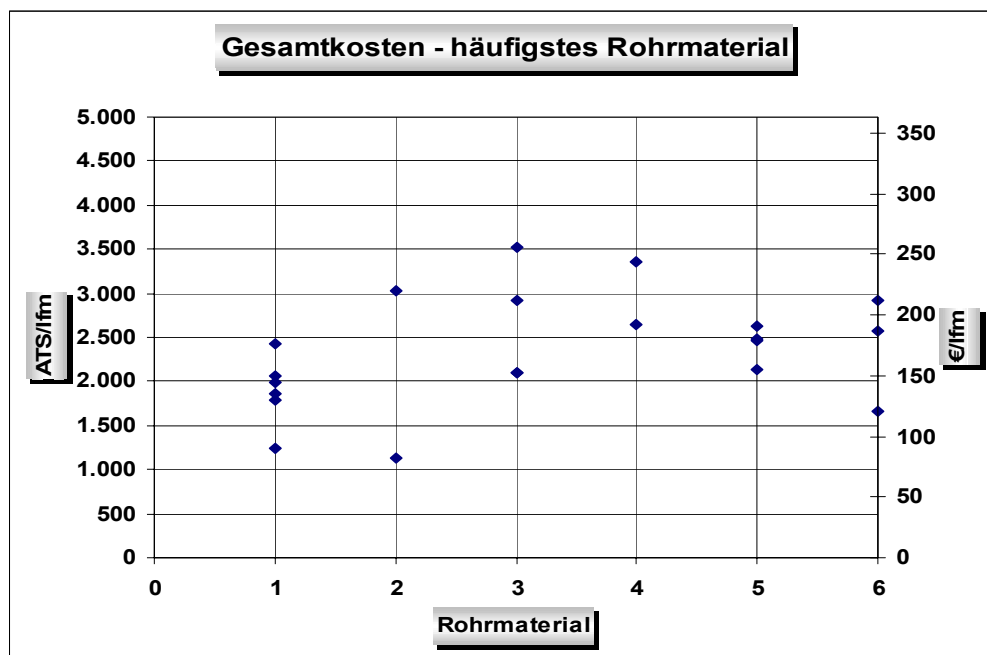


Abbildung 2-30: Korrelation der Investitionskosten mit dem häufigsten verwendeten Rohrmaterial

Legende: 1 = PVC; 2 = Beton; 3 = FZ/AZ; 4 = Steinzeug; 5 = GFUP; 6 = GGG;

Branche Rohrleitungs- und Kabelbau, abgesehen vom Jahr 1999 kontinuierlich um ca. 23% gestiegen (Daten lt. Statistik Austria).

In Abbildung 2-29, die die Investitionskosten für die im Rahmen dieses Projektes betrachteten Bauabschnitte chronologisch geordnet zeigt, ist ein Einfluß dieser konjunkturellen Schwankungen nicht signifikant ersichtlich. Der Grund dafür ist wahrscheinlich die zu weite Streuung der untersuchten Bauabschnitte hinsichtlich technischer Besonderheiten, die aus den Schlussrechnungen aufgrund der in Kap. 1.6.1 erwähnten Gründe nicht vollkommen herausgerechnet werden konnten, und vor allem auch hinsichtlich wirtschaftlicher Regionalräume.

Die Baupreise im Kanalbau sind den allgemeinen Erfahrungen zufolge ausgehend von einem Höchstwert Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre bis heute, entgegen der Entwicklung des Tiefbauindex, gefallen und haben in den letzten Jahren Tiefstwerte erreicht. Diese Entwicklung wird z. B. auch in Reicherter und Günthert (1997) beschrieben. Diese Beobachtung deckt sich insofern mit dem obigen Konjunkturlagebericht, als seit Anfang der 90er Jahre, abgesehen von der kurzzeitigen Trendwende im Jahr 1995, die Anzahl der Pessimisten die Anzahl der Optimisten immer überstieg. In diesem Zeitraum fanden auch ausgeprägte Konkurrenzkämpfe der im Tiefbau tätigen Unternehmen statt, die zu Preiskämpfen und zu einer Reduktion der am Markt befindlichen Unternehmen führten und somit einen wesentlichen Grund für die fallenden Preise darstellten bzw. immer noch darstellen. Der Einfluß der Konjunkturlage auf das Preisniveau ist z. B. in Pöchhacker (2001) ausführlich beschrieben und es stellt sich somit die Frage, inwieweit ein Benchmark (hier besser Richtwert), der aus Werten der Vergangenheit bestimmt wurde, auch in der Zukunft seine Aussagekraft bewahrt. Eine regelmäßige Kontrolle und allfällige Anpassung der ermittelten Richtwerte anhand der aktuellen Situation scheint daher unumgänglich.

2.7.5 Zusammenfassung Detailanalyse Kanalbau

Aufgrund der in Kap. 1.6.1 dargestellten Gründe ist die Angabe eines Benchmarks für Investitionskosten generell problematisch und es werden deshalb im Rahmen dieses Projektes nur Richtwerte angegeben.

Diese Richtwerte betragen für Ortskanäle 2550 – 3100 ATS / lfm (185,3 – 225,3 €) und für Transportkanäle 1900 - 2400 ATS/lfm (138,1 – 174,4 €), für die in Kap. 1.6.1 angegebenen Verhältnisse. Diese Richtwerte ergaben sich aufgrund der Auswertung von 35 Bauabschnitten von unterschiedlichen Kanalisationsanlagen, wobei 12 Bauabschnitte vorwiegend Ortskanäle und die restlichen Bauabschnitte vorwiegend Transportkanäle beinhalten. Eine weitere Gruppeneinteilung, z.B. nach dem Durchmesser, konnte aufgrund der geringen Stichprobe nicht durchgeführt werden.

Diese Richtwerte sollten nicht als absolut angesehen werden sondern können aufgrund der jeweiligen Verhältnisse über- oder unterschritten werden und trotzdem “angemessen” sein. Die Beurteilung, ob diese Preise dann angemessen sind, bedarf dem Urteil einer Fachperson, die mit den lokalen und regionalen Verhältnissen bestens vertraut ist.

Diese Richtwerte würden sich dann insbesondere dazu eignen, z. B. regionale “Hochpreisgebiete” oder die Wahl teurer Rohrmaterialien (wobei diese natürlich auch zweckmäßig sein können), etc. zu erkennen.

3 Zusammenfassung

Beim Benchmarking wird durch den systematischen Vergleich von Prozessen, Methoden und Produkten eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitssteuerung durch Identifizierung von Kosteneinsparungspotenzialen und Leistungseffizienzen geschaffen.

Im vorliegenden Projekt wurde das Benchmarking auf die Abwasserentsorgung, unterteilt in Abwasserableitung und Abwasserreinigung, angewandt. Dabei erfolgte die Untersuchung im Hinblick auf Errichtung und Betrieb.

Zur vergleichenden Beurteilung der Anlagen zur Abwasserableitung wurden Verbands- und Ortsnetze erfasst und jeweils unterteilt in Leitungen und Sonderbauwerke.

Von den 71 am Projekt teilnehmenden Gemeinden und Verbänden, konnten auf Grund der verfügbaren Daten nur 53 für den Teil „Abwasserableitung“

verwendet werden. Davon standen 45 Verbands- und 8 Ortsnetze zur Verfügung.

Zur Ermittlung von repräsentativen Kennzahlen mussten die Kosten mit relevanten Bezugsgrößen verknüpft werden. Die Bezugsgrößenanalyse für die Abwasserableitung ergab, dass die Leitungslänge die beste Bezugsgröße darstellt. Für die Ortsnetze bringt die Bezugsgröße „angeschlossene Einwohner“ wesentliche Zusatzinformationen.

Um einen aussagekräftigen Vergleich aller Verbandsanlagen zu ermöglichen erfolgte eine Einteilung in 3 Gruppen nach der Länge des bestehenden Kanalnetzes. Gruppe 1 sind Kanalnetze mit weniger als 15.000 lfm, Gruppe 2 sind Kanalnetze mit 15.000 – 40.000 lfm, Gruppe 3 sind Kanalnetze mit mehr als 40.000 lfm. Wegen der geringen Anzahl der Ortsnetze wurde hier keine Unterteilung vorgenommen.

Zur Festlegung der Benchmarks muss generell angemerkt werden, dass auf Grund der Vielzahl an Randbedingungen und standortspezifischen Besonderheiten vor allem im Bereich Abwasserableitung mit den hier verfügbaren Daten die ermittelten Benchmarkbereiche mit einer dementsprechenden Unsicherheit behaftet sind.

Wegen fehlender gesetzlicher Vorschriften kann bei der Abwasserabteilung deren Einhaltung nicht als Kriterium herangezogen werden.

Als Benchmark-tauglich werden deshalb nur Anlagen eingestuft, deren

- Datenlage als plausibel und abgesichert beurteilt wird,
- Und deren „Aussagekraft“ hoch sein muss (für die Betriebskosten-Benchmark)

	ATS/lfm.a	Ortsnetz				Verbandsnetz												
		exkl. SBW		inkl. SBW		exkl. SBW						inkl. SBW						
		von	bis	von	bis	< 15km		>15km <40km		> 40km		< 15km		>15km <40km		> 40km		
Benchmarkbereiche																		
Kapitalkosten		120		140		120		120		120		145		145		145		145
Betriebskosten		23		44		16		11		7		35		23		15		15
Jahreskosten		135		180		140		135		130		200		170		150		150

	€/lfm.a	Ortsnetz				Verbandsnetz												
		exkl. SBW		inkl. SBW		exkl. SBW						inkl. SBW						
		von	bis	von	bis	< 15km		>15km <40km		> 40km		< 15km		>15km <40km		> 40km		
Benchmarkbereiche																		
Kapitalkosten		8,7		10,2		8,7		8,7		8,7		10,5		10,5		10,5		10,5
Betriebskosten		1,7		3,2		1,2		0,8		0,5		2,5		1,7		1,1		1,1
Jahreskosten		9,8		13,1		10,2		9,8		9,4		14,5		12,4		10,9		10,9

Tabelle 3-1: Zusammenfassung der festgelegten Benchmarkbereiche Abwasserableitung

Die in obiger Tabelle angegebenen Benchmarks müssen im Lichte der bereits ausführlich diskutierten Randbedingungen wie der eingeschränkten Datengrundlage und dem zusätzlich sehr kurzen Betrachtungszeitraum bei den betrieblichen Auswertungen gesehen werden.

Die entwickelte Methodik des Benchmarking ist grundsätzlich für den Bereich Abwasserableitung tauglich. Mit noch auszuarbeitenden Adaptierungen für eine Fortsetzung dieses Projektes in der Siedlungswasserwirtschaft wird empfohlen den eingeschlagenen Weg weiterzugehen.

Korrespondenz an:

Dipl.Ing. Thomas Ertl

Abteilung Siedlungswasserbau, Inst. für Wasservorsorge, Univ. f. Bodenkultur Wien
Muthgasse 18
A-1190 Wien

Tel.: +43-1-36006-5812

Fax: +43-1-368 99 49

email: ertl@iwga-sig.boku.ac.at

Benchmarking für Abwasserreinigungsanlagen

Stefan Lindtner, Otto Nowak, Helmut Kroiß

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien

Kurzfassung: Für den Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen wurde ein Prozessmodell entwickelt, das es erlaubt, Anlagen unterschiedlicher Verfahrens- und Betriebsweisen miteinander zu vergleichen, indem vier Prozesse (*mechanische Vorreinigung, mechanische biologische Abwasserreinigung, Schlammeindickung und Stabilisierung und weitergehende Schlammbehandlung*) untersucht werden. Um einen Vergleich der sehr heterogenen Stichprobe von 76 Anlagen durchführen zu können, war es erforderlich, die Anlagen entsprechend ihrer Größe in Gruppen einzuteilen. Um aussagekräftige Kennzahlen berechnen zu können, wurden die erhobenen Kosten mit möglichst sensitiven Bezugsgrößen verknüpft.

Bei den Gesamtjahreskosten (= Summe der jährlichen Betriebs- und Kapitalkosten), bei den Gesamtkapitalkosten und den Gesamtbetriebskosten wurde je Gruppe ein Benchmarkbereich definiert. In diesen Bereichen wurden jene Anlagen Benchmark, welche den festgelegten Kriterien aus technischer Sicht entsprachen und deren spezifische Kosten innerhalb des ermittelten Benchmarkbereiches liegen. Bei den Betriebskosten der vier Prozesse wurde je Gruppe und Prozesse genau eine Benchmarkanlage eruiert. Benchmark der Gruppe für den jeweiligen Prozess ist jene Anlage, welche die festgelegten Kriterien erfüllt und die geringsten spezifischen Kosten im jeweiligen Prozess aufweist.

Für die Betriebskosten wurde außerdem ein theoretische Einsparungspotential berechnet, das der Summe der Abweichungen der tatsächlichen Kosten vom festgelegten Benchmarkbereich entspricht. Bei der Untersuchung der Kosteneffizienz für den Gewässerschutz hat sich gezeigt, dass es keinen statistischen Zusammenhang zwischen den Betriebskosten und der Qualität der Reinigungsleistung gibt.

Keywords: Abwasserreinigungsanlagen, Benchmarking, Controlling, Kosteneffizienz;

1 Methodische Vorgangsweise

1.1 Vergleich der Anlagen über Prozesse

Die Entwicklung eines Prozessmodells für Abwasserreinigungsanlagen (siehe Abbildung 1) ermöglicht es, Anlagen unterschiedlicher Verfahrensweisen miteinander zu vergleichen. So unterschiedlich einzelne Anlagen und deren Betriebsweisen sein können, so sind einzelne Prozesse immer ähnlich und damit vergleichbar. Durch die klare Definition von Prozessen und Teilprozessen ist daher ein Vergleich möglich.

Für den Bereich der Abwasserreinigungsanlagen wurden die vier Prozesse *mechanische Reinigung*, *biologische Reinigung*, *Schlammeindickung und Stabilisierung* und *weitergehende Schlammbehandlung und –entsorgung* sowohl in Hinblick auf deren Errichtung als auch im Betrieb untersucht. Um für bestimmte Prozesse Benchmarks ermitteln zu können, ist es Voraussetzung, dass die Kosten- und Leistungsrechnung an das jeweilige Prozessmodell angepasst ist.

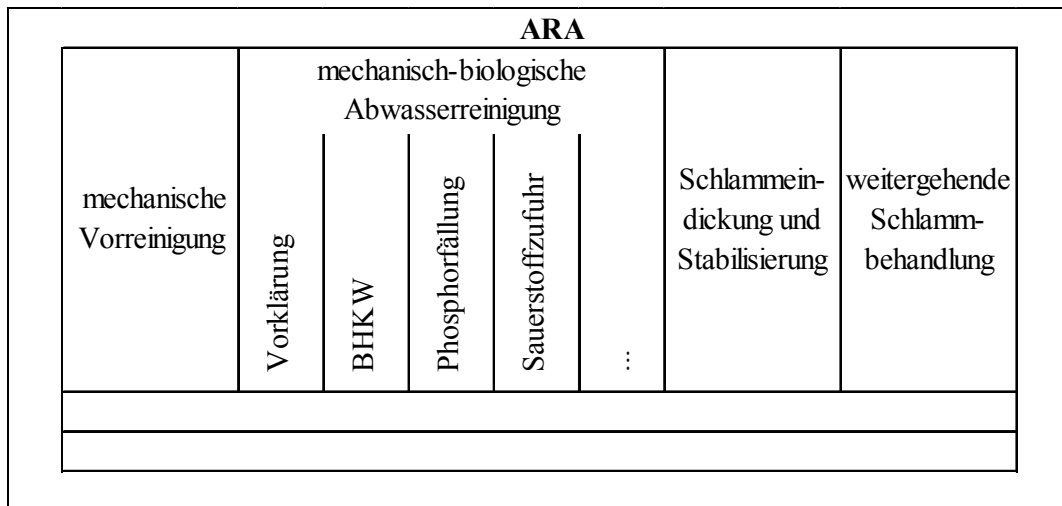


Abbildung 1: Prozessmodell der Abwasserreinigungsanlage

Für den Vergleich der Prozesse ist es erforderlich, diese zu definieren sowie kostenbeeinflussende Faktoren zu erfassen. Kostenbeeinflussende Faktoren können gesetzliche Vorgaben (Reinigungsziel), Entscheidungen bei Planung und Betrieb (Art der Einrichtung), standortspezifische Besonderheiten (hoher

Grundwasserstand) sowie die Input- (Schmutzfracht) und Outputgüter (Sandfanggut) des jeweiligen Prozesses sein.

Anschließend werden daher die vier untersuchten Prozesse und deren Abgrenzung voneinander kurz beschrieben.

1.1.1 Prozess 1 – Mechanische Vorreinigung

Die mechanische Vorreinigung gliedert sich in Einrichtungen für die Abtrennung von Sand, Fett und Grobstoffen und Übernahmestationen. Der Prozess mechanische Vorreinigung umfasst daher die Einrichtungen Rechen und Sandfang sowie Fäkalübernahmestation bzw. Kanalräumgutübernahmestation.

Die Investitions- und Betriebskosten des Zulaufpumpwerkes werden nicht dem Prozess der mechanischen Reinigung, sondern zur Gänze der Kanalisation zugeordnet. Ebenso werden Regenüberlaufbecken, die auf der Kläranlage angeordnet sind, der Kanalisation zugeordnet.

1.1.2 Prozess 2 – Mechanisch-biologische Abwasserreinigung

Der Prozess der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung umfasst das/die Vorklärbecken, das/die Belebungsbecken und das/die Nachklärbecken sowie jene maschinellen und elektrischen Einrichtungen, die diesen Becken zurechenbar sind. Auch die Einrichtungen zur Phosphorfällung sowie die Anlagenteile des/der BHKWs (Blockheizkraftwerk) und von Gasmotoren (für den Direktantrieb von Verdichtern) werden dem Prozess der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung zugeordnet. Der Zuordnung der Kosten des/der BHKWs bzw. von Gasmotoren zur mechanisch-biologischen Abwasserreinigung liegt die Überlegung zu Grunde, dass der Nutzen (= elektrische Energie) ebenfalls dem Prozess mechanisch-biologische Abwasserreinigung zuzurechnen ist.

1.1.3 Prozess 3 – Schlammverdickung und Stabilisierung

Es zählen jene Einrichtungen zu diesem Prozess, die der Voreindickung und Stabilisierung des Schlammes dienen, wie beispielsweise:

- maschinelle Überschussschlammverdickung (MÜSE)
- Voreindicker

- Faulraum des Emscherbrunnens
- beheizte Schlammfäulung
- getrennte aerobe Stabilisierung

Die Prozessgrenze ist dort zu sehen, wo ein stabilisierter Schlamm vorliegt, der ohne weitere Behandlung einer Verwertung zugeführt werden könnte.

Bei einem Verfahren mit simultaner aerober Schlammstabilisierung überlappen sich die Prozesse der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung und der Schlammeindickung und Stabilisierung. In diesem Fall werden alle Kosten dem Prozess der biologischen Abwasserreinigung zugerechnet.

1.1.4 Prozess 4 – weitergehende Schlammbehandlung und -entsorgung

Diesem Prozess sind Kläranlageneinrichtungen zuzuordnen, die der Eindickung bzw. Stapelung des stabilisierten Schlammes dienen, sowie jene Komponenten, die eine Entwässerung und/oder Trocknung ermöglichen. Bei Anlagen mit separatem Trübwasserspeicher zählt dieser ebenfalls zum Prozess *weitergehende Schlammbehandlung und -entsorgung*.

1.2 Datenerhebung

Die Datenerhebung wurde in Form eines Erhebungsbogens durchgeführt. Die erhobenen Daten sollen einerseits die Prozesse möglichst genau beschreiben, und andererseits die Kosteneinflussfaktoren der einzelnen Prozesse erfassen. Die zu erhebenden Daten leiten sich direkt von den unter Punkt 1.1 beschriebenen Prozessen ab. Um die Erhebung der Daten einer größeren Anzahl von Kläranlagen möglichst effizient zu gestalten, wurden die Erhebungsbogen in Anlehnung an die Formulare des Kläranlagenzustandsberichtes (ÖWAV Arbeitsbehelf 22) erstellt.

Besondere Berücksichtigung bei der Datenerhebung finden Investitionskosteneinflüsse durch standortspezifische Gegebenheiten. Diese werden getrennt nach der Notwendigkeit besonderer baulicher Maßnahmen (Verhinderung von Lärm- und Geruchsemissionen, Grundwasserschutzmaßnahmen, ...) und besonderer Kosteneinflüsse bei der Errichtung des Betriebsgebäudes (Architektur, städtebauliche Anordnung, ...) erfasst. Wird im technischen Erhebungsbogen angegeben, dass erhöhte Investitionskosten auf

Grund standortspezifischer Gegebenheiten erforderlich waren, muss für die jeweilige Maßnahme auch die Höhe der Investition erhoben werden.

Die Erhebungsbögen wurden den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt, um die technischen Daten vor Ort gemeinsam mit den erhebenden Zivilingenieuren zu erfassen.

1.3 Plausibilitätsprüfung

Bevor die technischen Daten für die Berechnung und Ermittlung von Bezugsgrößen herangezogen werden können, ist es erforderlich, diese Daten bezüglich ihrer Plausibilität zu prüfen. Der Vergleich von Messwerten und deren Verhältnissen zueinander mit Erfahrungswerten einerseits, und die Methode der Bilanzierung von geeigneten Parametern mittels Stoffflussanalyse andererseits bieten ein geeignetes Instrument für eine rasche und günstige Plausibilitätsprüfung der erhobenen technischen Daten. Für die genaue Beschreibung dieser Methoden wird auf die Literatur (Schweighofer, 1997; Nowak, 1998; Müller, 1999) verwiesen.

Als Ergebnis der Plausibilitätsprüfung wird die Datenqualität der einzelnen Anlagen getrennt für CSB, Stickstoff, Phosphor und die Trockensubstanz als hoch, mittel oder niedrig eingestuft. Diese Einstufung der Datengüte findet einerseits bei der Bezugsgrößenanalyse, und andererseits bei der Benchmarkfindung Verwendung.

1.4 Einteilung der Anlagen in Gruppen

Am Benchmarkingprojekt nahmen Kläranlagen verschiedener Verfahren und unterschiedlichster Belastung teil. Von den insgesamt 76 Kläranlagen können 23 Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung, 43 Kläranlagen mit mesophiler Faulung und 10 Anlagen mit getrennter aerober Stabilisierung bzw. Kaltfaulung unterschieden werden.

Um einen seriösen Vergleich dieser sehr heterogenen Stichprobe durchführen zu können, ist es erforderlich, die Anlagen in Gruppen einzuteilen. Es bietet sich einerseits eine Einteilung nach dem Kläranlagentyp, und andererseits nach der Anlagengröße bzw. der durchschnittlichen Belastung an.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, sind die spezifischen Kosten sehr stark von der Kläranlagengröße bzw. der mittleren Belastung abhängig. Dies gilt sowohl für Betriebskosten als auch für Kapitalkosten. Anlagen einer Gruppe sind nur dann miteinander vergleichbar, wenn keine Abhängigkeit der spezifischen Kosten von der Kläranlagengröße bzw. der mittleren Belastung innerhalb der Gruppe erkennbar ist. Aus der Analyse der Kostenkurve in Abbildung 2, wurde die Einteilung in fünf Gruppen abgeleitet.

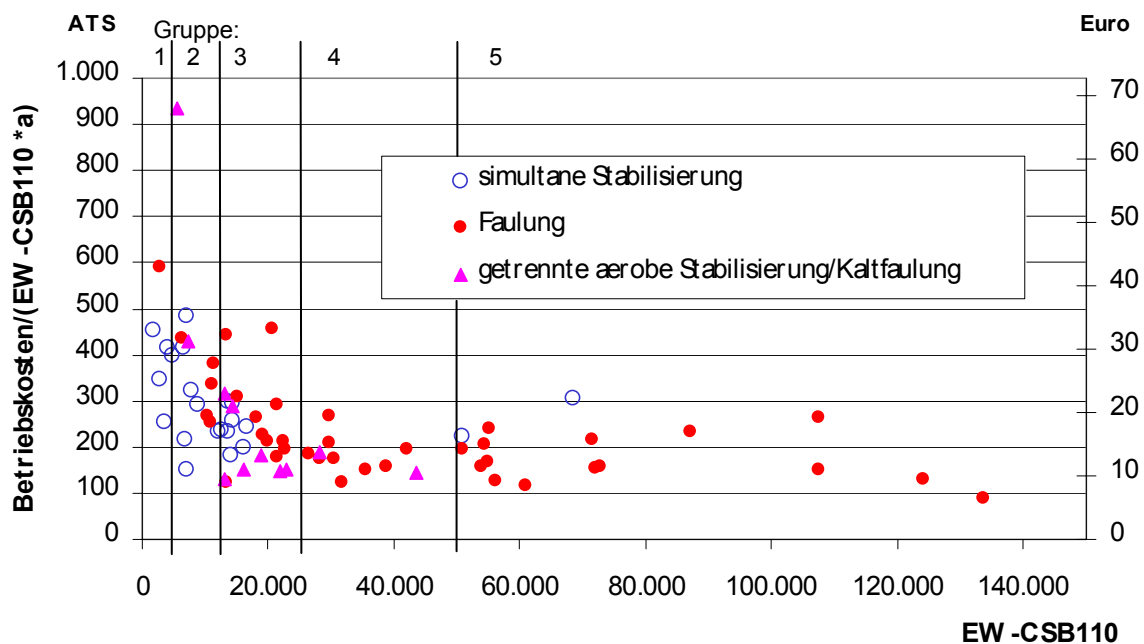


Abbildung 2: Jahresbetriebskosten je EW-CSB110 (= Einwohnerwert errechnet aus der durchschnittlichen CSB-Belastung) der drei Anlagentypen in Abhängigkeit zu den EW-CSB110

Würde man diese fünf Gruppen zusätzlich nach Anlagentypen unterscheiden, käme man auf insgesamt 15 mögliche Gruppen. Es stellt sich daher die Frage, ob und wann eine Unterscheidung nach Kläranlagentypen erforderlich ist. Aufgrund des gewählten Prozessmodells ist der Vergleich der Prozesse 1 und 4 - *mechanische Vorreinigung* und *weitergehende Schlammbehandlung und -entsorgung* - vom Anlagentyp vollkommen unabhängig. Die Vergleichbarkeit des Prozesses 2 - *mechanisch biologische Abwasserreinigung* - ist natürlich davon abhängig, ob bei einer Anlage simultan oder getrennt stabilisiert wird. Anlagen mit gleichzeitiger Stabilisierung sind im Vergleich zu jenen, die getrennt stabilisieren, benachteiligt. Sie können aber dennoch als Benchmark ausgewiesen werden, wenn die Summe der spezifischen Kosten von Prozess 2

und 3 als Maßstab herangezogen wird. Es ist dadurch auch ein besserer Vergleich der Anlagentypen möglich.

Die Vergleichbarkeit des Prozesses 3 *Schlammeindickung und Stabilisierung* ist grundsätzlich von der Art der getrennten Stabilisierung unabhängig und damit zulässig. Es hat sich aber im Verlauf des Projektes gezeigt, dass eine Kostenaufteilung, vor allem der Energiekosten bei getrennt aerob stabilisierenden Anlagen, nicht oder nur sehr schwer möglich ist. Aussagekräftig und im Sinne des Benchmarking (= vom anderen lernen) interessant, ist daher vor allem der Vergleich von Anlagen mit mesophiler Faulung.

Gruppeneinteilung:

Gruppe 1	..... Anlagen kleiner 5.000 EW-CSB110	6 Anlagen
Gruppe 2	..... Anlagen von 5.000 bis 12.000 EW-CSB110	14 Anlagen
Gruppe 3	..... Anlagen von 12.000 bis 25.000 EW-CSB110	27 Anlagen
Gruppe 4	..... Anlagen von 25.000 bis 50.000 EW-CSB110	11 Anlagen
Gruppe 5	..... Anlagen größer 50.000 EW-CSB110	18 Anlagen

1.5 Bezugsgrößen

1.5.1 Allgemeines

Unter Bezugsgröße wird jene Größe verstanden, die als Divisor der jeweiligen Kosten bei der Ermittlung einer Kennzahl fungiert. Die Wahl der Bezugsgröße hat daher einen wesentlichen Einfluss auf die ermittelte Kennzahl. Eine Größe ist dann als Bezugsgröße geeignet, wenn sie für die jeweiligen Kosten auch tatsächlich relevant ist. Für die Betriebskosten der Kläranlage ist es beispielsweise von untergeordneter Bedeutung, ob viel oder wenig Abwasser über die Anlage fließt, entscheidend ist vielmehr, welche Schmutzfracht gereinigt werden muss. Der Kubikmeter Abwasser wird daher als Bezugsgröße für die Betriebskosten keine geeignete Größe sein, sondern es wird die Schmutzfracht als Bezugsgröße zu wählen sein.

Das Ziel muss sein, möglichst wenige, dafür aber aussagekräftige Kennzahlen zu bilden. So einfach dies klingen mag, es liegt ein gewisser Widerspruch darin. Je höher die Datendichte, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit, eine sensitive Bezugsgröße zu finden.

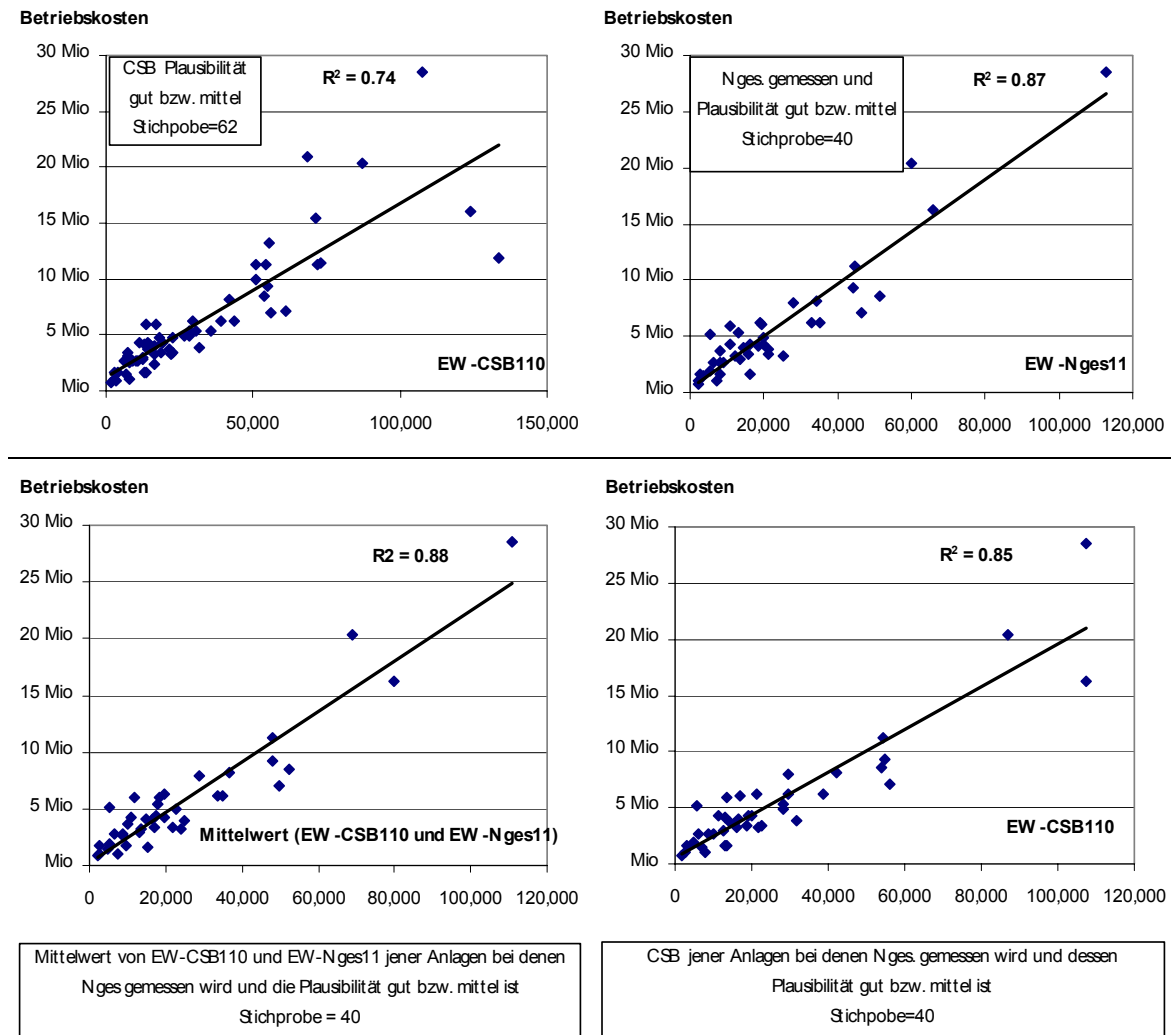


Abbildung 3: Korrelation der Betriebskosten mit Bezugsgrößen guter bzw. mittlerer Plausibilität

Es wurden daher mehrere mögliche Bezugsgrößen für Kapitalkosten, Betriebskosten und Jahreskosten auf deren Aussagekraft für einzelne Kostenpositionen mit Hilfe linearer Korrelationen untersucht.

Die Vorgehensweise bei der umfangreichen Bezugsgrößenanalyse wird in Folge anhand der Abbildung 3 erklärt: Verschiedene mögliche Bezugsgrößen unterschiedlicher Datengüte wurden den Kosten gegenübergestellt und die Güte

des linearen Zusammenhanges als Bestimmtheitsmaß ausgedrückt. Werden für die Korrelation die CSB Werte jener Anlagen verwendet, deren Plausibilität mit gut bzw. mittel eingestuft wurde (Abbildung 3), ist ein Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,74 gegeben. Schränkt man die Grundgesamtheit auch bei den Stickstoffwerten ein, sodass nur noch jene Werte akzeptiert werden, die einerseits tatsächlich gemessen, und andererseits bei der Plausibilitätsprüfung mit gut bzw. mittel eingestuft wurden, so erhöht sich das Bestimmtheitsmaß auf 0,87. Interessant ist, dass bei der Korrelation der CSB-Werte genau jener Anlagen, die die soeben genannten Bedingungen für Nges erfüllen (Plausibilität gut bzw. mittel und Nges. tatsächlich gemessen), ein ebenso hoher Zusammenhang ($R^2=0,85$) mit den Betriebskosten ermittelt wird wie mit Nges.

Zusammenfassend kann für die Betriebskosten gesagt werden, dass sich sowohl EW- CSB110 als auch EW-Nges11 als Bezugsgröße eignen.

1.5.2 Verwendete Bezugsgrößen

a) Ausbaugröße der Kläranlage in Einwohnerwerten (EW-Ausbau):

Die Ausbaugröße einer Kläranlage wird gegenwärtig häufig als Bezugsgröße für die Investitionskosten verwendet. Sehr viele Kostenangaben werden als Betrag je EW angegeben. Diese Größe hat den Vorteil, dass sie einerseits als allgemein verständlich gilt, und andererseits die Einwohnerwerte kostenrelevant sind. Der Nachteil liegt darin, dass die Ausbaugröße in EW keine Aussage über das angestrebte Reinigungsziel enthält, dieses die Investitionskosten jedoch wesentlich beeinflusst. Eine Kläranlage mit beispielsweise 10.000 EW Ausbaugröße, welche nur auf Kohlenstoffentfernung ausgelegt wurde, bedingt geringere Investitionskosten als eine Anlage derselben Ausbaugröße, welche auch auf Nährstoffentfernung bemessen wurde. Dies gilt insbesondere für den Prozess 2. Bei den Kapitalkosten der Prozesse 1, 3 und 4 ist das Reinigungsziel nicht von Bedeutung, weshalb bei diesen Prozessen EW-Ausbau als Bezugsgröße verwendet wurde.

b) Normierte Ausbaugröße (EWnorm-Ausbau):

Um das Problem der unterschiedlichen Reinigungsziele zu lösen, wird eine normierte Ausbaugröße der biologischen Reinigungsstufe errechnet. Dabei wird ermittelt, welche theoretische Leistungsfähigkeit in EW die vorhandenen Reaktionsvolumina unter Einhaltung der Grenzwerte nach 1.AEVkA aufweisen. Laut A131 sind für ein Standardabwasser (BSB60, Nges11, Pges1,7, Q-TW200, Q-RW(Q-TW*2/14)) bei einem Schlammalter von 25 Tagen ein Volumen von 670 Liter je Einwohnerwert und bei einem Schlammalter von 12,5 Tagen rund 400 Liter je Einwohnerwert erforderlich. Bei simultan aerob stabilisierenden Anlagen wurde daher das vorhandene Volumen des Prozesses 2 (Vorklärung, Belebungsbecken und Nachklärung) durch 0,67 m³ geteilt, um die EWnorm-Ausbau zu bestimmen. Bei Anlagen mit getrennter Stabilisierung wurden zusätzlich zu den 400 l/EW noch 60 l/EW als erforderliches Stabilisierungsvolumen angesetzt und das vorhandene Volumen der Prozesse 2 und 3 (Stabilisierungsbecken bzw. Faulraumvolumen) durch 0,46 m³ geteilt und somit die EWnorm-Ausbau ermittelt. Die aus dem Volumen errechneten EWnorm-Ausbau werden bei den Gesamtkapitalkosten und bei den Kapitalkosten des Prozesses 2 als Bezugsgröße herangezogen.

c) Mittlere Belastung, ausgedrückt in Einwohnerwerten (EW-CSB110):

Die mittlere Belastung, ausgedrückt in Einwohnerwerten, errechnet aus der CSB-Zulaufkraft unter der Annahme, dass ein Einwohnerwert 110 g CSB je Tag entspricht, wird als Bezugsgröße bei den Gesamtjahreskosten, Gesamtbetriebskosten und den Betriebskosten der vier Prozesse verwendet.

	Kapitalkosten	Betriebskosten	Jahreskosten
Gesamt	EWnorm-Ausbau	EW-CSB110	EW-CSB110
Prozess 1	EW-Ausbau		
Prozess 2	EWnorm-Ausbau		
Prozess 3	EW-Ausbau		
Prozess 4			

Tabelle 1: Verwendete Bezugsgrößen

1.6 Festlegung des Benchmarkbereiches und der Benchmarks

1.6.1 Welche Anlagen können Benchmark werden

In Bezug auf die Kriterien, ob eine Anlage Benchmark werden kann oder nicht, muss unterschieden werden, ob man von Kapitalkosten, oder von Betriebs- und Jahreskosten spricht. Da die Kapitalkosten auf EWNorm-Ausbau bezogen werden bzw. die Kapitalkosten der Prozesse 1, 3 und 4 auf EW-Ausbau, ist es für den Vergleich der spezifischen Kapitalkosten irrelevant, ob die Grenzwerte aktuell eingehalten werden oder nicht.

Im Gegensatz dazu kommen als Benchmarkanlagen bei den Betriebs- und Jahreskosten nur Kläranlagen in Frage, die:

- die Grenzwerte der 1. Abwasser Emissionsverordnung (1.AEVkA) einhalten.
- deren Datenlage als plausibel und abgesichert beurteilt wird.
- deren Abwassercharakteristik als vorwiegend kommunal bezeichnet werden kann.

Die Datenlage ist aus zwei Gründen sehr wichtig. Erstens werden die spezifischen Kosten mit Hilfe der Zulauffrachten ermittelt, und ein 20%iger Fehler bei der Erfassung des Zulauf-CSB wirkt sich im selben Maße auf die Berechnung der spezifischen Kosten aus. Zweitens ist Benchmarking nicht nur ein Kennzahlenvergleich, sondern es soll vom Besten und nicht vom Billigsten gelernt werden. Sind die Input- und Outputgüter der Prozesse aufgrund der Datenlage nicht klar, so ist der Vergleich streng genommen nicht zulässig.

Die Festlegung, dass Kläranlagen mit Abwasser stark gewerblicher bzw. industrieller Charakteristik nicht Benchmarkanlagen sein können, (beruht auf der Tatsache, dass) ist in der Tatsache zu suchen, dass ein Vergleich mit kommunalen Anlagen aufgrund der Abwasserzusammensetzung wenig sinnvoll ist. Außerdem sind Anlagen mit starkem gewerblichen bzw. industriellen Anteil meist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an leicht abbaubarem CSB, der jedoch nicht in dem Maße höhere Kosten verursacht, wie er die spezifischen Kosten bezogen auf EW-CSB110 verringert. Aus diesem Grund wurde festgelegt, dass Anlagen mit einem N/CSB-Verhältnis im Zulauf von kleiner als 0,07 (in den Abbildungen mit N/CSB gekennzeichnet) nicht Benchmarkanlagen

sein können. Da bei kleinen Anlagen der Gesamtstickstoff meistens nicht gemessen wird, kann dieses Kriterium für Anlagen der Gruppen 1 bis 3 nicht angewandt werden. Außerdem muss betont werden, dass bei Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung das N/CSB-Verhältnis eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die Kosten spielt.

1.6.2 Festlegung des Benchmarkbereiches

Bei den Gesamtkosten der Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten wird je Gruppe nicht nur eine Anlage als Benchmark angegeben, sondern ein Benchmarkbereich. Benchmarkanlagen sind jene Anlagen, die aufgrund der angeführten Kriterien als Benchmark in Frage kommen und geringere spezifische Kosten aufweisen, als durch den Benchmarkbereich festgelegt wurde.

Als Benchmarkbereich wurden die niedrigsten spezifischen Kosten der potentiellen Benchmarkanlagen jeder Gruppe zuzüglich eines Prozentsatzes definiert, der die Datenungenauigkeit berücksichtigt. Die Höhe dieses Prozentsatzes wurde je nach Kostenart (Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten) und Anlagengröße unterschiedlich festgelegt.

	Gruppen 1 und 2	Gruppen 3,4 und 5
Betriebskosten	20 %	10 %
Kapitalkosten	10 %	10 %
Jahreskosten	15 %	10 %

Tabelle 2: Prozentsätze zur Berechnung des Benchmarkbereiches

Die festgelegten Prozentsätze zur Ermittlung des Benchmarkbereiches sollen datenbedingte Unsicherheiten ausgleichen, jährliche Schwankungen der Zulaufdaten und Unsicherheiten bei der Kostenzuordnung – z.B. von Personalkosten, aber auch von Reparatur- und Instandhaltungskosten – beinhalten. Bei kleinen Anlagen (Gruppe 1 und 2) sind die Schwankungen und Unsicherheiten der Daten stärker ausgeprägt als bei großen Anlagen, weshalb der Ausgleichsprozentsatz bei den Betriebskosten mit 20 % angesetzt wurde und bei großen Anlagen mit 10 %. Datenbedingte Unschärfen der Kapitalkosten sind von der Anlagengröße unabhängig und wurden daher bei allen Größenklassen mit 10 % angesetzt. Daraus kann für die Jahreskosten ein mittlerer Wert von 15 % bei den Anlagen der Gruppe 1 und 2 und von 10 % für die Anlagen der Gruppen 3 bis 5 abgeleitet werden.

Die angegebenen Prozentsätze können nicht logisch eindeutig abgeleitet werden. Sie wurden auf Basis der Erfahrung des Institutes für Wassergüte festgelegt, um bei der Interpretation von Einsparungspotentialen keine unzulässig hohen Erwartungen hervorzurufen, die zufolge der Datenunsicherheit nicht gerechtfertigt sind.

1.6.3 Festlegung von Benchmarks

Wie bereits dargestellt wurde, wird bei den Gesamtkosten der Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten je Gruppe nicht nur eine Anlage als Benchmark ausgewiesen, sondern ein Benchmarkbereich festgelegt. Alle Anlagen, die den Kriterien entsprechen, und niedrigere Kosten aufweisen, als durch den Benchmarkbereich festgelegt, sind demnach Benchmarkanlagen.

Für die einzelnen Prozesse wird bei den Betriebskosten je Gruppe genau eine Benchmark festgelegt. Benchmark der Gruppe und des jeweiligen Prozesses ist jene Anlage, die den unter 1.6.1 angeführten Kriterien entspricht und die geringsten spezifischen Kosten aufweist.

Wie die Analyse der Daten gezeigt hat, ist die Datendichte plausibler Daten in den einzelnen Prozessen bei den Kapitalkosten so gering, dass die Festlegung von Benchmarks als wenig sinnvoll erachtet werden muss.

Auf den ersten Blick ist es möglicherweise nicht ganz verständlich, warum bei den Gesamtkosten von Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten ein Benchmarkbereich angegeben wurde, wohingegen bei den Prozessen einzelne Benchmarks definiert wurden.

Bei den Gesamtkosten geht es beim Benchmarkingprojekt darum, herauszufinden, welche Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten als minimal erreichbar angesehen werden können.

Anders verhält es sich bei den Benchmarks der einzelnen Prozesse. Durch den direkten Vergleich aller Benchmarkingteilnehmer mit dem auf diese Weise identifizierten sehr effizienten Prozess einer Anlage können Anhaltspunkte für die Verbesserung des eigenen Prozesses gewonnen werden. Dies bedeutet, dass durch den direkten Vergleich der klar definierten Prozesse und deren kostenbeeinflussender Faktoren Einsparungspotentiale erkannt werden können. So unterschiedlich einzelne Anlagen und deren Betriebsweisen sein können, so

sind einzelne Prozesse immer ähnlich und damit vergleichbar. Für die Kosten der Gesamtanlage kann man sich am Benchmarkbereich orientieren, für die konkrete Effizienzsteigerung kann man durch den Vergleich mit der Prozessbenchmark Anregungen finden.

2 Ergebnisse

2.1 Ergebnisse der Betriebskostenauswertung

2.1.1 Ergebnisse der Gesamtbetriebskosten

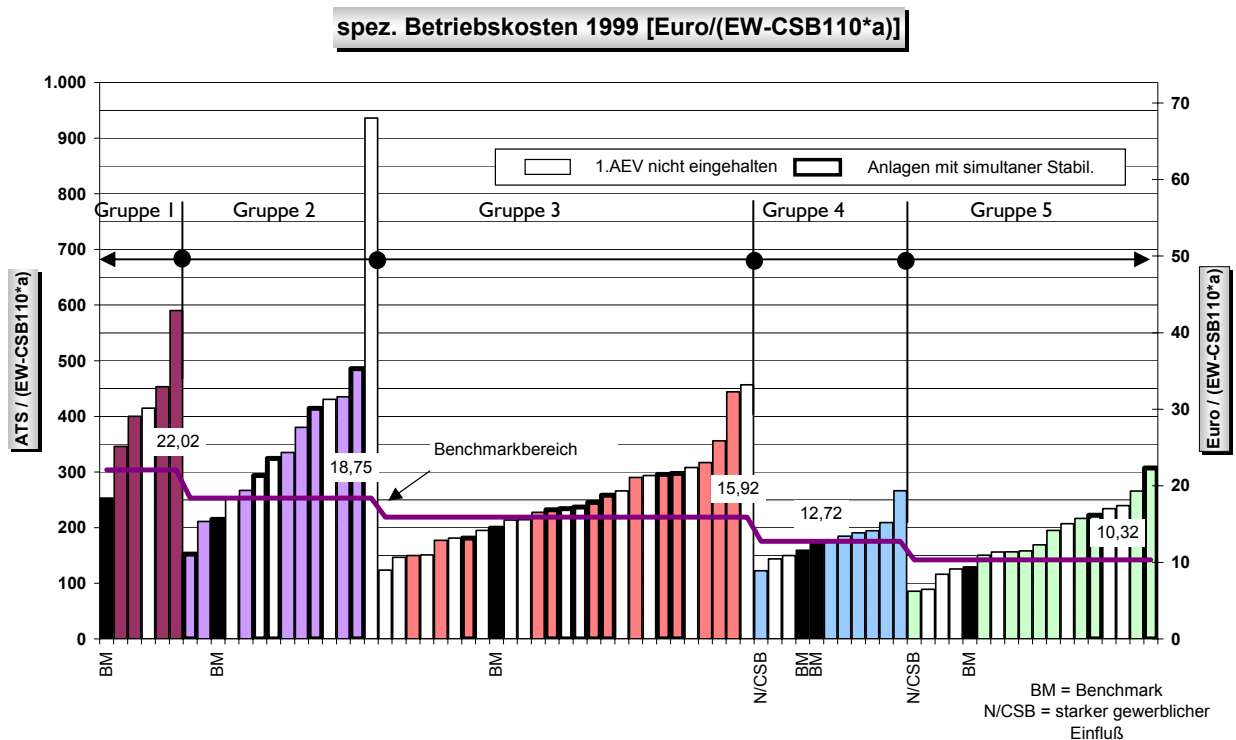


Abbildung 4: Vergleich der Betriebskosten 1999 der untersuchten Anlagen

In Abbildung 4 sind die Gesamtbetriebskosten gereiht nach der Höhe der spezifischen Kosten sowie der Benchmarkbereich gruppenweise dargestellt. Als zusätzliche Information sind einerseits jene Anlagen, die die 1. AEVka nicht einhalten, und andererseits jene Anlagen, die Benchmark sind, gekennzeichnet. Allen Anlagen, die unterhalb der Benchmarklinie liegen und keine Kennzeichnung aufweisen, haben zwar niedrige spezifische Betriebskosten, kommen aber entweder aufgrund von starkem gewerblichen bzw. industriellen

Einfluss nicht als Benchmarkanlagen in Frage (Kennzeichnung N/CSB an der Abszisse) oder weisen im Untersuchungsjahr 1999 eine Datenlage auf, die als nicht ausreichend abgesichert anzusehen ist.

Um zu sehen, ob bei den Betriebskosten Unterschiede zwischen Anlagen mit simultaner und getrennter Stabilisierung bestehen, wurden Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung mit einem schwarzen Rahmen gekennzeichnet. Auf den Vergleich der Verfahren wird noch näher eingegangen.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	22,02	18,75	15,92	12,72	10,32
Gruppenmedian	29,58	24,64	17,01	12,72	11,92

Tabelle 3: Höhe der Benchmarkbereiche und der Mediane der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5

In der Tabelle 3 wurden einerseits die Benchmarkbereiche, und andererseits die Mediane der einzelnen Gruppen zusammengefasst. Für die Medianberechnung der einzelnen Gruppe wurden jeweils alle Werte der Gruppe herangezogen.

2.1.2 Ergebnisse der Betriebskostenauswertung der Prozesse 1 bis 4

Beim Prozess 1 der Gruppe 1 zeigt sich eines der Hauptprobleme bei kleinen Anlagen, nämlich die der Zuordnung der Kosten zu den Einzelprozessen.

In Tabelle 4 wurden einerseits die Benchmarks, und andererseits die Mediane der einzelnen Gruppe zusammengestellt. Um das mögliche Einsparungspotential des Prozesses in Relation zu den Gesamtbetriebskosten abschätzen zu können, wurde der Anteil der Betriebskosten des Prozesses 1 an den Betriebskosten zusätzlich angeführt.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P1	1,16	1,67	1,38	1,02	0,87
Gruppenmedian P1	5,60	3,05	1,74	1,31	1,31
Anteil	21 %	13 %	11 %	11 %	12 %

Tabelle 4: Höhe der Benchmarks und der Mediane der Betriebskosten des Prozesses 1 und Anteil des Prozesses 1 an den Gesamtbetriebskosten

Bei der Bestimmung der Benchmark des Prozesses 2 ist zu berücksichtigen, dass simultan stabilisierende und getrennt stabilisierende Anlagen miteinander verglichen werden. Bei der Benchmarkfestlegung muss daher darauf Rücksicht

genommen werden, um welchen Anlagentyp es sich handelt. Bei den Gruppen 1 und 2 kamen ausschließlich Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung als Benchmark in Frage. Bei der Gruppe 3 ergab sich der interessante Fall, dass eine Anlage mit simultaner aerober Stabilisierung und eine mit Faulung etwa dieselben spezifischen Kosten aufweisen. In diesem Fall ist die Anlage mit simultaner aerober Stabilisierung effizienter, weil bei gleichen Kosten die Schlammstabilisierung bereits erfolgt ist.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P2	9,96	8,14	6,47	3,12	2,33
Gruppenmedian P2	10,90	8,58	6,47	4,43	4,07
Anteil	39 %	36 %	38 %	38 %	33 %

Tabelle 5: Höhe der Benchmarks und der Median der Betriebskosten des Prozesses 2 und Anteil des Prozesses 2 an den Gesamtbetriebskosten

Durch die Addition der spezifischen Kosten der Prozesse 2 und 3 kann diese Überlegung leicht nachvollzogen werden. Bei den Gruppen 4 und 5 waren jeweils Anlagen mit Faulung eindeutig als Benchmark auszuweisen. Diese beiden Anlagen hatten auch bei der Summe der spezifischen Kosten der Prozesse 2 und 3 jeweils die niedrigsten Betriebskosten.

Beim Prozess 3 Schlammeindickung und Stabilisierung haben definitionsgemäß nur jene Anlagen spezifische Kosten, deren Schlamm getrennt stabilisiert wird. Eine gemeinsame Benchmark von Anlagen mit Faulung und getrennter aerober Stabilisierung hat keinen Sinn, weil man sich für die Auffindung von Einsparungspotentialen ausschließlich an Anlagen gleicher Stabilisierungsart orientieren kann. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass vor allem die Energiekostenaufteilung bei getrennt aerob stabilisierenden Anlagen sehr schwierig ist. Es wurden daher für den Prozess 3 ausschließlich Anlagen mit Faulung als Benchmarkanlagen herangezogen.

Bei der Gruppe 1 wird für den Prozess 3 keine Benchmark angegeben, da es bei diesen Kläranlagengröße aus Kostengründen keine Faulanlagen gibt. Für die Gruppe 2 kann keine Benchmark angegeben werden, weil die in Frage kommenden Anlagen mit Faulung ca. doppelt so hohe spezifische Kosten aufweisen als die Benchmarkanlage der Gruppe 3 und daher nicht als Vergleichsanlagen empfohlen werden können. Die Höhe der Benchmarks und der Mediane der Gruppen 3 bis 5 kann der Tabelle 6 entnommen werden. Der

Wert des Medians der Gruppe 1 wurde in Klammer gesetzt, da hier nur eine Anlage zur Medianbildung herangezogen werden konnte.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P3			1,82	0,65	0,87
Gruppenmedian P3	(7,85)	3,92	1,82	1,16	0,80
Anteil	4 %	8 %	8 %	10 %	8 %

Tabelle 6: Höhe der Benchmarks und der Mediane der Betriebskosten des Prozesses 3 und Anteil des Prozesses 3 an den Gesamtbetriebskosten

Beim Prozess 4 *weitergehende Schlammbehandlung und –entsorgung* wurden die Benchmarks ermittelt, wie unter 1.6.3 beschrieben. Diese können der Tabelle 7 entnommen werden, ebenso wie die Mediane der einzelnen Gruppen.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P4	7,27	5,45	5,74	5,45	3,78
Gruppenmedian P4	10,32	10,10	8,14	5,45	5,01
Anteil	36 %	43 %	43 %	41 %	43 %

Tabelle 7: Höhe der Benchmarks und der Mediane der Betriebskosten des Prozesses 4 und Anteil des Prozesses 4 an den Gesamtbetriebskosten

Alle Gruppenmediane der Prozesse 1 bis 4 sind in der Tabelle 8 zusammengefasst. Bemerkenswert dabei ist, dass der Median der Betriebskosten der Prozesse 2+3 rund 45 Prozent des Medians der Gesamtbetriebskosten aller Gruppen ausmacht.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Gruppenmedian P1	5,60	3,05	1,74	1,31	1,31
Gruppenmedian P2	10,40	8,58	6,47	4,43	4,07
Gruppenmedian P3	(7,85)	3,92	1,82	1,16	0,80
Gruppenmedian P4	10,32	10,10	8,14	5,45	5,01
Gruppenmedian P2+P3	10,90	9,23	7,78	5,60	5,23
Gruppenmedian Gesamt	29,58	24,64	17,01	12,72	11,92

Tabelle 8: Zusammenfassung der Mediane der Gruppen

Daraus kann abgeleitet werden, dass die Betriebskosten zu ca. 45 % von der mechanisch biologischen Abwasserreinigung inklusive Schlammstabilisierung verursacht werden und die anderen 55 % der mechanischen Vorreinigung bzw. hauptsächlich der weitergehenden Schlammbehandlung und –entsorgung

zugerechnet werden müssen. Für die Schlammentsorgung, einschließlich der Schlamm entwässerung, sind somit im Betrieb nahezu die gleichen Mittel aufzuwenden wie für die gesamte mechanisch-biologische Abwasserreinigung inklusive Schlammstabilisierung.

Zum besseren Verständnis sei hier noch angemerkt, dass der Median den mittleren Wert einer Gruppe darstellt. Dies bedeutet, dass die Hälfte der Werte einer Gruppe größer und die andere Hälfte kleiner als der Median ist. Aus diesem Grund muss die Summe der Mediane der Einzelprozesse nicht gleich dem Median der Gesamtkosten sein. Der Gruppenmedian P2+P3 stellt keine Addition von Gruppenmedian P2 und Gruppenmedian P3 dar, sondern ist der mittlere Wert der bereits addierten spezifischen Betriebskosten dieser beiden Gruppen.

2.2 Ergebnisse der Kapitalkostenauswertung

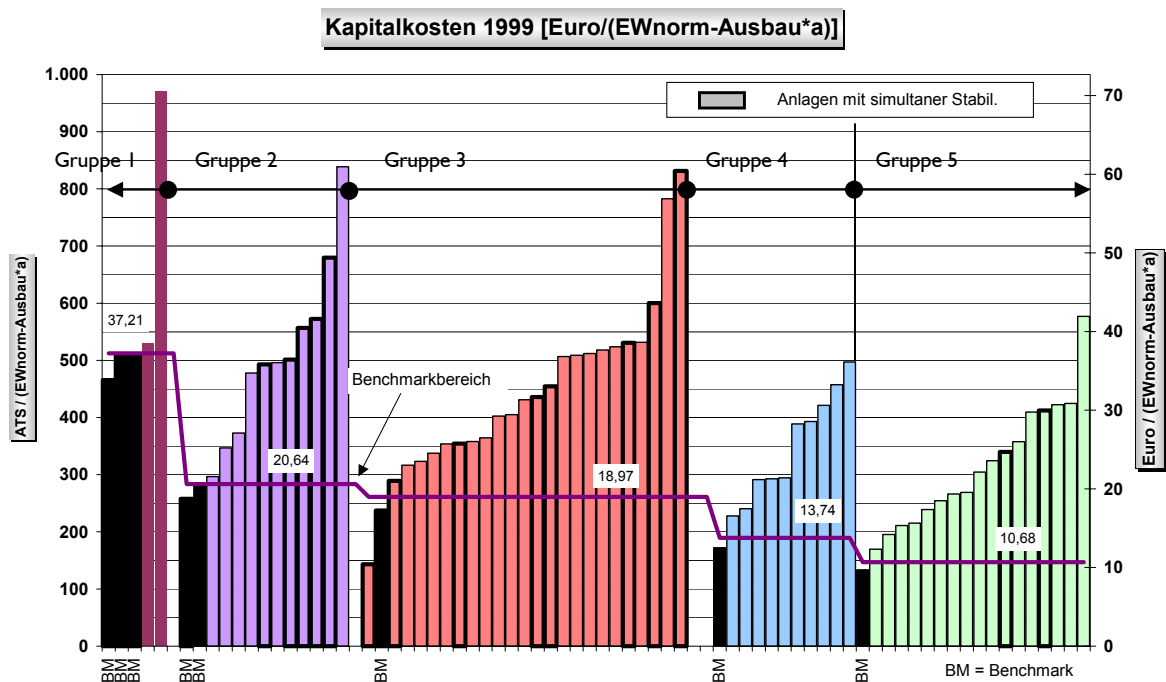


Abbildung 5: Vergleich der Kapitalkosten 1999 der untersuchten Anlagen

In der Abbildung 5 sind die Kapitalkosten nach der Höhe der spezifischen Kosten gereiht und gruppenweise dargestellt. Für die Kapitalkosten insgesamt und jene des Prozesses 2 wurde EWNorm-Ausbau als Bezugsgröße verwendet, für die Prozesse 1, 3 und 4 EW-Ausbau. Da die berechnete Bezugsgröße EWNorm-Ausbau jene Belastung widerspiegelt, die mit den vorhandenen Volumina nach dem Stand der Technik gereinigt werden kann, ist eine Kennzeichnung der Anlagen, die aktuell die 1.AEVkA nicht einhalten, nicht erforderlich. Diese Art der Auswertung kann auch als kapazitätsspezifische

Auswertung bezeichnet werden. Es werden die vorhandene Substanz (Kapazität) der Anlagen und deren Kosten miteinander verglichen.

Für die Berechnung des Benchmarkbereiches werden grundsätzlich die niedrigsten Kapitalkosten je Gruppe um 10 Prozent erhöht. Alle Anlagen, deren Kapitalkosten niedriger sind als dieser Benchmarkbereich, sind Benchmarkanlagen. Die Festlegung der Benchmarks ist zwar methodisch gesehen einfach, es müssen jedoch folgende dabei auftretenden Unsicherheiten berücksichtigt werden:

Bei den gewählten Bezugsgrößen und der Art der Berechnung der Kapitalkosten werden Anlagen bevorzugt, deren maschinelle Anlagenteile bereits beschrieben sind und die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung in Bezug auf das Volumen sehr großzügig ausgelegt worden sind. Als Beispiel für die Unschärfen des Kapitalkostenvergleiches können die zwei Anlagen der Gruppe drei mit den niedrigsten Kapitalkosten herangezogen werden. Beide Anlagen wurden im selben Jahr für ca. gleich viele Einwohnerwerte errichtet, Anlage A mit etwas weniger Volumen. 1998 wurde die Anlage A an den Stand der Technik angepasst, ein Nachklärbecken zusätzlich errichtet und in diverse andere bauliche und maschinelle Einrichtungen investiert. Die Anlage B ist noch nicht nachgerüstet, eine Anpassung an den Stand der Technik steht aber unmittelbar bevor. Die spezifischen Kapitalkosten der Anlage A sind 1999 wesentlich höher als jene der Anlage B, vor allem auch deshalb, da im Zuge des Umbaus das Volumen nicht wesentlich geändert wurde und somit EWnorm-Ausbau denen der Vergleichsanlage entsprechen. Die Schlussfolgerung daraus kann natürlich nicht sein, dass die Anlage die (noch) nicht an den Stand der Technik angepasst wurde, Benchmarkanlage ist.

In Tabelle 9 wurde einerseits die Höhe des Benchmarkbereiches, und andererseits der Median der Gruppen zusammengefasst.

[Euro/EWnorm-Ausbau]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	37,21	20,64	18,97	13,74	10,68
Gruppenmedian	37,14	35,83	31,32	21,44	20,86

Tabelle 9: Höhe der Benchmarkbereiche und der Mediane der Kapitalkosten der Gruppen 1 bis 5

Für die Kapitalkosten der einzelnen Prozesse war es erforderlich, die Gesamtkapitalkosten einerseits in bauliche und maschinelle Investitionen zu trennen, und andererseits eine Aufteilung auf die vier Prozesse vorzunehmen. Die Qualität der Prozesszuordnung der Kapitalkosten war je nach Datenlage stark unterschiedlich bzw. nicht möglich. Von der Firma Quantum wurde vor Ort eine Beurteilung (nach Schulnotensystem) für die Güte der Kapitalkosten und deren Aufteilung vorgenommen. War die Aufteilung seitens des Betreibers nicht möglich, wurden die Kapitalkosten mithilfe eines Aufteilungsschlüssels den einzelnen Prozessen zugeordnet. Der Aufteilungsschlüssel wurde in Anlehnung an jene Anlagen erstellt, denen eine gute Aufteilung durch den Anlagenbetreiber bescheinigt werden konnte. Aussagekräftige und als Basis für einen Prozessbenchmark geeignete Daten für die einzelnen Prozesse stehen nur von 25 Anlagen zur Verfügung. Diese 25 Anlagen verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Gruppen: null in Gruppe 1, zwei in Gruppe 2, sieben in Gruppe 3, fünf in Gruppe 4 und elf in Gruppe 5.

Aufgrund der geringen Anzahl an Anlagen in den einzelnen Gruppen und der generellen Unschärfe der Kapitalkosten muss von einer Benchmarkvergabe für die Kapitalkosten der einzelnen Prozesse Abstand genommen werden. Die Methodik ist klar und kann jederzeit bei ausreichender Datenlage zur Anwendung gebracht werden. Es wird daher empfohlen, bei der Errichtung von neuen Abwasserreinigungsanlagen eine prozessbezogene Aufteilung der baulichen und maschinellen Investitionskosten anzustreben.

2.3 Ergebnisse der Jahreskostenauswertung

In Abbildung 6 sind die Jahreskosten nach der Höhe der spezifischen Kosten gereiht und gruppenweise dargestellt. Für die Jahreskosten wurde ebenso wie für die Betriebskosten EW-CSB110 als Bezugsgröße verwendet. Bei den

Jahreskosten wurden Anlagen, die die 1.AEVkA nicht einhalten, bzw. Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung wie bereits bei den Betriebskosten grafisch gekennzeichnet.

Die Festlegung des Benchmarkbereiches und der Benchmarks wurde bei den Jahreskosten in gleicher Weise vorgenommen wie bei den Betriebskosten. Der einzige Unterschied liegt darin, dass bei den Gruppen 1 und 2 zu den niedrigsten in Frage kommenden spezifischen Kosten 15 % addiert werden, um den Einfluss der größeren Datenungenauigkeit bei den kleineren Kläranlagen zu berücksichtigen.

Bei den Jahreskosten wurden für die Gruppen 1 und 2 jeweils zwei Benchmarkanlagen und für die Gruppen 3 und 5 jeweils eine Benchmarkanlage festgelegt. In der Gruppe 4 liegen alle Teilnehmer in einem sehr engen Bereich, sodass sogar drei Anlagen als Benchmark ausgewiesen werden können.

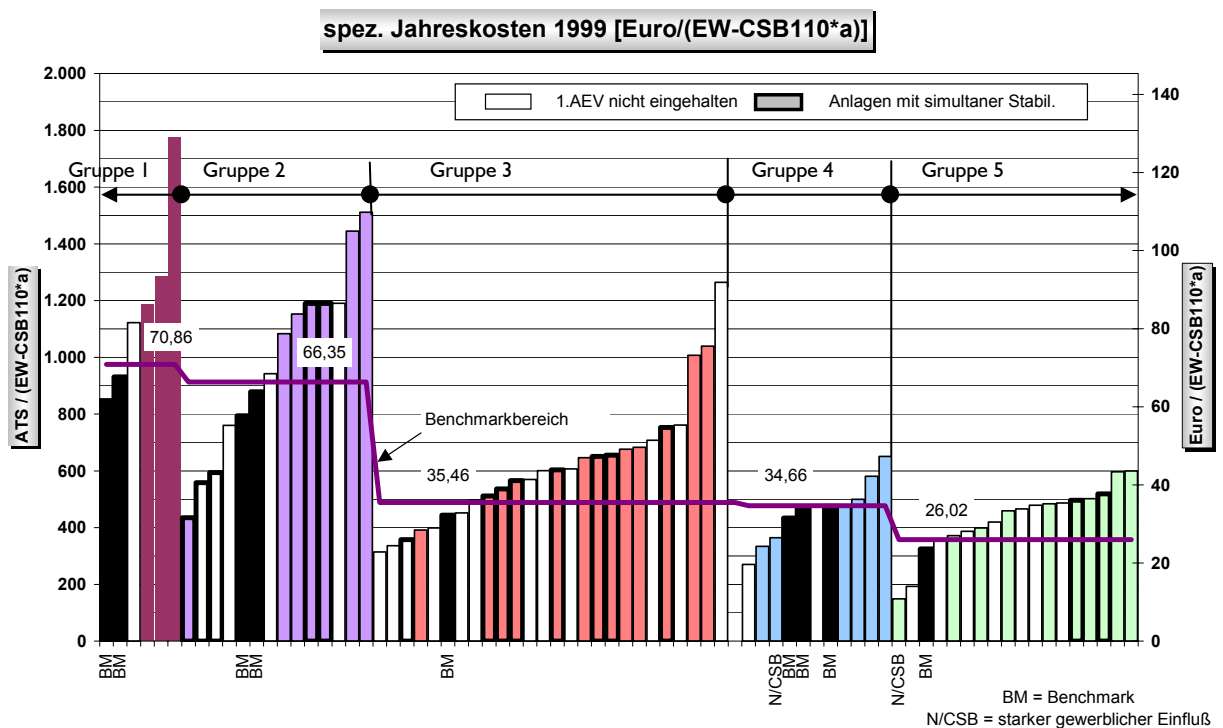


Abbildung 6: Vergleich der Jahreskosten 1999 der untersuchten Anlagen

In Tabelle 10 ist der Benchmarkbereich der Jahreskosten sowie der Median der Jahreskosten dargestellt. Diesem gegenübergestellt, wurde der Median der Betriebskosten und der Anteil in Prozent je Gruppe errechnet. Aus dieser

Berechnung kann abgeleitet werden, dass die Betriebskosten zwischen 35 und 40 Prozent der Jahreskosten betragen.

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	70,86	66,35	35,46	34,66	26,02
Median Jahreskosten	83,86	73,63	43,75	34,30	33,65
Median Betriebskosten	29,58	24,64	17,01	12,72	11,92
<i>Anteil an den Jahreskosten</i>	35 %	36 %	39 %	37 %	35 %

Tabelle 10: Höhe der Benchmarkbereiche und der Mediane der Jahreskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie der Mediane der Betriebskosten und mittlerer Anteil der Betriebskosten an den Jahreskosten

2.4 Wirtschaftliche Betrachtungen - Externes Benchmarking

2.4.1 Belastungsspezifischer Vergleich

Um einen direkten Vergleich von Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten durchführen zu können, wurden alle drei Kostenarten auf die durchschnittliche Belastungen EW-CSB110 bezogen. Dadurch ist die Addition der spezifischen Kosten von Betriebs- und Kapitalkosten möglich (Tabelle 11).

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Median Betriebskosten	29,58	24,64	17,01	12,72	11,92
Median Kapitalkosten	54,29	43,31	25,87	22,17	18,46
Median Jahreskosten	83,86	73,63	43,75	34,30	33,65

Tabelle 11: Zusammenfassung der Mediane von Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten, jeweils bezogen auf EW-CSB110

Bei der belastungsspezifischen Betrachtung der Kapitalkosten fällt ebenfalls auf, dass die spezifischen Kosten der Gruppe 2 deutlich höher sind als jene der Gruppe 3. Natürlich ist eine Verringerung der spezifischen Kosten mit der Größe der Anlage zu erwarten. Die wesentlich höheren belastungsspezifischen Kapital- und Jahreskosten der Gruppe 2 im Vergleich zur Gruppe 3 können nicht

nur in Zusammenhang mit der Anlagengröße erklärt werden. Es wurde daher näher untersucht, ob auch die Auslastung eine entscheidende Rolle spielt.

Die Berechnung der Auslastung wurde beim Benchmarkingprojekt auf Basis der im Untersuchungsjahr aufgetretenen Belastung durchgeführt. Anhand der Monatsmittelwerte der CSB-Zulauffrachten und der Temperatur wurde ein Bemessungsfall ermittelt. Für diesen Bemessungsfall wurde, unter Verwendung der anlagenspezifischen Daten (Schlammindex, geforderte Zulaufwassermenge udgl.), das erforderliche Volumen laut ATV A131 ermittelt. Die Auslastung in Prozent ergibt sich schließlich aus dem Verhältnis der errechneten Volumina zu den vorhandenen Volumina. Eine Abwasserreinigungsanlage ist dann ausgelastet, wenn die Bemessungsbelastung über einen bestimmten Zeitraum hinweg eintritt.

Wie aus Abbildung 7 ersichtlich ist, steigen die belastungsspezifischen Kapitalkosten mit sinkender Auslastung deutlich an. Bei den Betriebskosten ist der Einfluss der Auslastung erwartungsgemäß erheblich geringer.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse dieser Berechnung grafisch dargestellt. In dieser Abbildung wurden nur jene Anlagen weiß dargestellt, die die 1.AEVkA hinsichtlich der Stickstoffparameter nicht einhalten. Anlagen, die unzureichende oder keine P-Fällung aufweisen, sind hier nicht gekennzeichnet, weil die P-Fällung in keinem signifikanten Zusammenhang mit der Auslastung steht. Deutlich erkennbar ist, dass bis zu einer Auslastung von ca. 150 % die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen bei gutem Betrieb und günstigen Schlammeigenschaften möglich ist. Anlagen, die eine Auslastung jenseits von 160 Prozent aufweisen, müssten in jedem Fall rasch an den Stand der Technik angepasst werden.

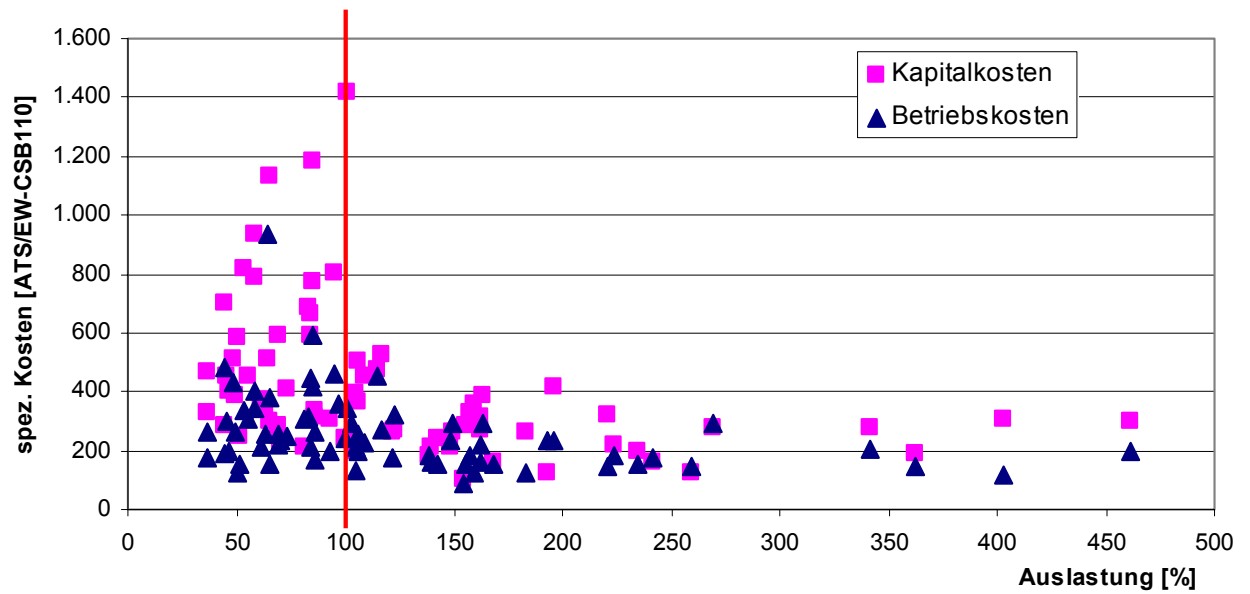


Abbildung 7: spezifische Kapital- und Betriebskosten in Abhängigkeit von der Auslastung

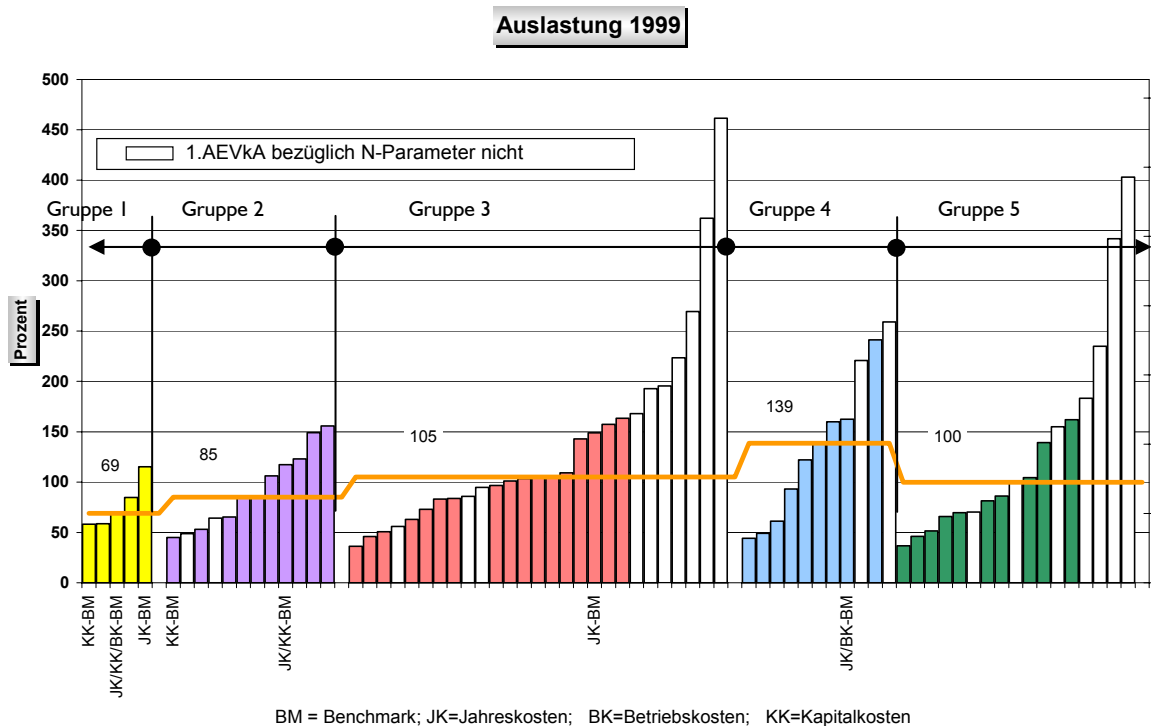


Abbildung 8: Auslastung der untersuchten Kläranlagen in Prozent

In Abbildung 8 ist der Median der Auslastung je Gruppe eingetragen. Für die Gruppen 1 und 2 liegt die mittlere Auslastung unter 100 Prozent, in den

Gruppen 3 bis 5 bei 100 % oder darüber. Bei kleinen Anlagen (Gruppe 1 und 2) muss unter anderem aufgrund größerer Belastungsschwankungen mit größeren Sicherheiten geplant werden. Eine Auslastung von unter 100 Prozent bei kleinen Anlagen ist daher anders zu bewerten als bei großen Anlagen. Daraus kann abgeleitet werden, dass der größte Teil der Kläranlagenkapazität in Österreich bezüglich der in der 1.AEVkA geforderten Reinigungsleistung voll ausgeschöpft bzw. sogar überlastet ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einerseits die spezifischen Kosten mit steigender Größe der Anlage geringer werden, und andererseits vor allem die belastungsbezogenen Kapitalkosten deutlich von der Auslastung abhängen, was prinzipiell auch zu erwarten war.

2.4.2 Theoretisches Einsparungspotential

Das theoretische Einsparungspotential für die Betriebskosten kann durch die Berechnung der Summen der Abweichung der tatsächlichen Kosten vom festgelegten Benchmarkbereich ermittelt werden. Die mit den EW-CSB110 gewichtete Summe der Abweichungen der tatsächlichen Betriebskosten vom Benchmarkbereich im Verhältnis zu den gesamten tatsächlichen Betriebskosten ergibt das theoretische Einsparungspotential je Gruppe.

theoretisches Einsparungspotential $\Sigma(\Delta K * EW\text{-CSB110})$

Summe tatsächliche Betriebskosten $\Sigma(K * EW\text{-CSB110})$

ΔK ...Kostenabweichung der tatsächlichen spezifischen Betriebskosten je Anlage vom Benchmarkbereich

K ...spezifische Betriebskosten je Anlage

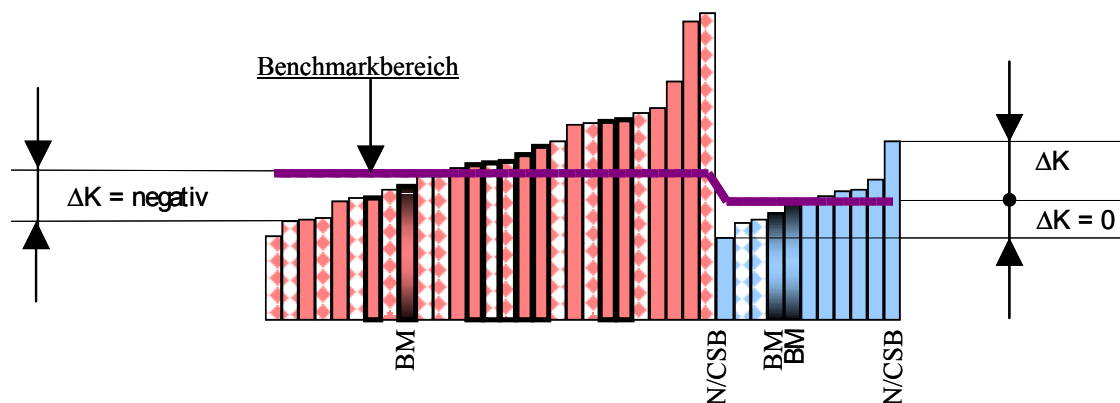


Abbildung 9: Berechnung des theoretischen Einsparungspotentials

Bei Benchmarkanlagen und Anlagen, die aufgrund ihres N/CSB-Verhältnisses nicht Benchmark werden konnten, wurde ΔK gleich 0 gesetzt. Mithilfe dieser Berechnungsmethode wurde ein theoretisches Einsparungspotential je Gruppe ermittelt. Anlagen, deren Betriebskosten unter dem Benchmarkbereich liegen und nicht gleich 0 gesetzt wurden, weisen ein negatives ΔK auf. Dies deshalb, da davon ausgegangen werden muss, dass bei ordnungsgemäßem Betrieb bzw.

richtiger Datenlage die Betriebskosten dieser Anlagen zumindest den Kosten des Benchmarkbereiches entsprechen würden.

Der Tabelle 12 sind die im Projekt erfassten EW-CSB110 je Gruppe zu entnehmen sowie deren prozentueller Anteil an der insgesamt in Österreich entsorgten EW-CSB110. Dabei wird davon ausgegangen, dass derzeit insgesamt 12 Millionen EW-CSB110 in Österreich entsorgt werden. Außerdem enthält die Tabelle das berechnete Einsparungspotential je Gruppe, die Summe der Betriebskosten (absolut) je Gruppe und das daraus errechnete Einsparungspotential je Gruppe.

	Gruppe	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
EW-CSB110	19.702	111.221	458.740	364.439	1.553.401
Anteil an entsorgten EW-CSB110 [%]	0,2 %	0,9 %	3,8 %	3,0 %	12,9 %
Einsparungspotential [Euro/a]	156.973	777.600	893.875	186.042	3.488.296
Σ Betriebskosten [Euro/a]	581.382	2.688.894	8.139.357	4.651.061	18.386.227
Einsparungspotential [%]	27 %	29 %	11 %	4 %	19 %

Tabelle 12: Einwohnerwerte, Prozent der Einwohnerwerte, bezogen auf EW-CSB und entsorgt in Österreich, Einsparungspotential in Prozent, Betriebskosten und Einsparungspotential in Euro/Jahr der Gruppe 1 bis 5

2.5 Kosteneffizienz für den Gewässerschutz

In Abbildung 10 wurden die spezifischen Betriebskosten in Abhängigkeit von den Leistungskennwerten dargestellt, die die Anlagen erreicht haben. Der Leistungskennwert (= LW) ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung. Er ist das Ergebnis einer Bewertungsmethode, die eine gemeinsame Bewertung der für den

Gewässerschutz relevanten Ablaufparameter (CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und Pges.) ermöglicht [ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 9, 2000]. Bei der Ermittlung der Leistungskennzahl werden die maßgebenden Einflussfaktoren (CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und Pges) mit einem Bewertungsfaktor (der angenähert den Reziprokwerten der maximal zulässigen Ablaufkonzentrationen laut 1.AEVkA entspricht) multipliziert. Die Summe dieser 4 Bewertungsgrößen ergibt den Leistungskennwert. Durch die berücksichtigten Parameter und deren Gewichtung ist der Leistungskennwert ein Maß für folgende gewässerbeeinflussenden Faktoren: Sauerstoffzehrungspotential, Eutrophierungspotential, Fischtoxizität, hygienische Aspekte und organische Restverschmutzung.

Um die Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander zu verbessern, wurde der Leistungskennwert (LW) mit dem Verdünnungsfaktor a auf Standardabwasserbeschaffenheit umgerechnet. Auf diese Weise wird der unterschiedliche Einfluss von Fremdwasser kompensiert. Der mit dem Verdünnungsfaktor multiplizierte Leistungskennwert wird abgekürzt mit $\text{LW}a$ bezeichnet.

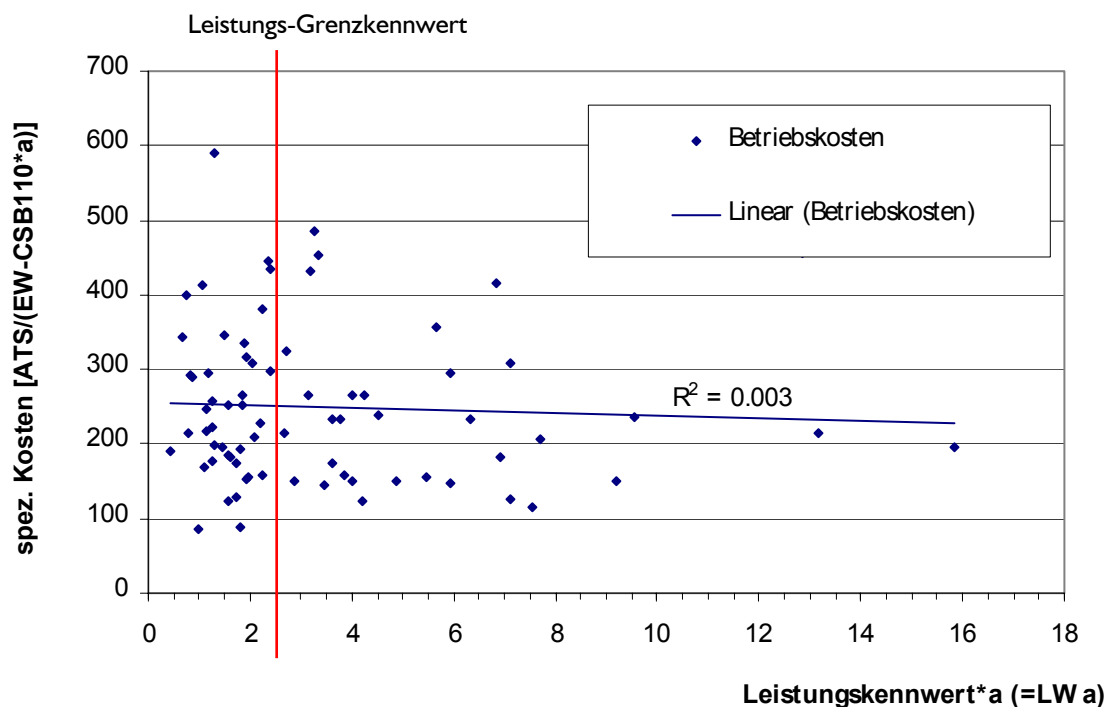


Abbildung 10: spezifische Betriebskosten in Abhängigkeit des Leistungskennwertes

Der im Abbildung 10 eingezeichnete Leistungs-Grenzkennwert ist eine Maßzahl für die erreichte Reinigungsleistung. Die 1. AEVKA kann nur für $LWa \leq 2,5$ eingehalten werden.

Betrachtet man die als Punkte eingetragenen Betriebskosten in Abhängigkeit vom Leistungskennwert, ergibt sich keine Abhängigkeit der Kosten vom Leistungskennwert ($R^2=0,003$). Es gibt also keine statistisch nachweisbare Abhängigkeit der Betriebskosten von der Qualität der Reinigungsleistung (Ablaufgüte).

Umso kleiner der Leistungskennwert, desto höher der Nutzen der eingesetzten Betriebskosten. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Optimierung der Betriebsführung hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses dahin gehen muss, die Reinigungskapazität der vorhandenen Einrichtungen möglichst weitgehend auszunutzen. Diese Forderung wird zusätzlich plausibel (untermauert), wenn man die Kapitalkosten ($\frac{2}{3}$ der Jahreskosten) mitberücksichtigt, weil diese von der Betriebsführung nicht mehr beeinflusst werden können. Da sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis auch unterhalb des Leistungs-Grenzkennwertes verringert (= verbessert), sollten Anreize geschaffen werden, Kläranlagen so zu betreiben, dass die Kosteneffizienz optimiert und daher die Reinigungsleistung der Kläranlage voll ausgeschöpft wird.

2.6 Ergebnisse der Detailprozesse der Abwasserreinigung

Bei einem Workshop am 9.11.2000 an der TU-Wien wurde mit den Pilotanlagenbetreibern der gemeinsame Beschluss gefasst, folgende zwei Detailprozesse im Zuge des Projektes näher zu beleuchten:

1. Sauerstoffzufuhr, inklusive Regelung bzw. Steuerung
2. Schlammwässerung

2.6.1 Sauerstoffzufuhr – Regelung bzw. Steuerung

Für die Beurteilung der Kosten der Sauerstoffzufuhr sind die Betriebskosten des Prozesses 2 maßgebend. Der Median der spezifischen Betriebskosten des Prozesses 2 der Anlagen mit Druckbelüftungssystem beträgt 5,52 Euro/EW-CSB110. Die mittleren Betriebskosten der 17 Anlagen mit Oberflächenbelüftern betragen 5,89 Euro/EW-CSB110 und die 5 Anlagen mit Turbinenbelüfter weisen spezifische Kosten von 9,45 Euro/EW-CSB110 auf. Die restlichen 8 Anlagen haben gemischte Systeme und sind daher nicht eindeutig zuordbar. In Bezug auf die Betriebskosten kann demzufolge kein signifikanter Unterschied zwischen Druck- und Oberflächenbelüftern festgestellt werden. Die untersuchten Turbinenbelüfter haben im Mittel wesentlich höhere Kosten als Oberflächen- und Druckbelüfter, aufgrund der geringen Stichprobe kann jedoch keine seriöse allgemeine Aussage bezüglich ihrer Effizienz gemacht werden.

Da in den Betriebskosten des Prozesses 2 nicht nur jene Kosten enthalten sind, die dem Belüftungssystem zugerechnet werden können, wird der Vergleich von Anlagen mit Druck- und Oberflächenbelüftern auch in Hinblick auf den spezifischen Energieverbrauch (bezogen auf die CSB Zulauffracht in kg/d) des Prozesses 2 durchgeführt.

Es zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie beim Vergleich der Kosten. Zwischen Druckbelüfter mit 0,54 kWh/kg-CSBzu und Oberflächenbelüftern mit 0,61 kWh/kg-CSBzu kann kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden. Die untersuchten Turbinenbelüfter haben auch bei diesem Vergleich mit 1 kWh/kg-CSBzu den schlechtesten Wert.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
kWh ARAGesamt/ EW-CSB110*a	40.97	40.76	34.63	25.73	26.39
Anteil des Prozesses 2 an der ARA-Gesamt	71	64	77	72	66

Tabelle 13: Energiebedarf je EW-CSB110/Jahr und Anteil des Prozesses 2.

Um abschätzen zu können, in welcher Größenordnung der Gesamtenergiebedarf einer Kläranlage je EW-CSB110 und Jahr liegt und welchen Anteil der Prozess 2 daran hat, wurden die mittleren Werte je Gruppe in Tabelle 13 zusammengestellt.

Die Untersuchung der unterschiedlichen Regelungsarten führte zu folgendem Ergebnis:

8 Anlagen gaben an, ihr Belüftungssystem per Hand zu regeln, 6 Anlagen verwenden eine Regelung nach der Ammoniumkonzentration, 4 Anlagen verwenden eine Regelung nach dem Redoxpotential, 12 Anlagen haben eine starre Zeit-Pausen-Steuerung und 30 Anlagen eine variable Zeit-Pausen-Regelung im Einsatz. Von den restlichen Anlagen wurden keine Angaben zum verwendeten Regelungskonzept gemacht. Zusammenfassend wird festgestellt, dass das gewählte Regelkonzept keinen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch hat. Auffällig ist jedoch, dass mehr als die Hälfte der Anlagen die die 1.AEVkA nicht einhalten, kein Regelkonzept angegeben haben bzw. die Belüftung per Hand geregelt wird.

2.6.2 Schlamm entwässerung

Beim Detailprozess Schlamm entwässerung ist vor allem interessant, welchen Einfluss die Art der Entwässerung auf die Kosten des Prozesses 4 hat. Beim Benchmarkingprojekt wurden 31 Anlagen untersucht, deren Schlamm entwässerung mit Hilfe von Kammerfilterpressen erfolgt. Bei 16 Anlagen wird der Schlamm auf Siebbandpressen entwässert, 15 Anlagen verwenden Zentrifugen, 6 Anlagen haben keine Schlamm entwässerung (landwirtschaftliche Nassschlamm entsorgung) und bei 8 Anlagen wird der Schlamm durch Lohnpressung entwässert.

Für den Detailprozess Schlamm entwässerung sind vor allem die Anlagen mit Zentrifugen, Kammerfilter- und Siebbandpressen von Bedeutung.

[Euro/t entwässerten Schlammes]	Material und Stoffkosten	Personal-kosten	Leistungen durch Dritte	Stromkosten	Summe (Spalte 1 bis 4)	Entsorgungskosten
Kammerfilterpresse	14,75	12,94	3,12	2,33	33,21	31,76
Siebbandpresse	4,87	13,81	3,85	4,80	27,32	21,44
Zentrifuge	14,32	13,37	4,29	4,29	36,26	35,97

Tabelle 14: Mittlere spezifische Kosten, gruppiert nach Entwässerungssystem und Kostenart

In der Tabelle 14 wurden daher die spezifischen Kosten dieser drei Entwässerungssysteme getrennt nach Kostenarten dargestellt. Für die Berechnung der spezifischen Kosten je Kostenart wurden die Gesamtkosten aller Anlagen durch die Gesamtmenge entwässerten Schlammes des jeweiligen Entwässerungssystems dividiert. Die Kosten für die Detailprozessanalyse wurden auf Tonnen entwässerten Schlammes bezogen, weil die Entsorgungskosten meist je Tonne zu bezahlen sind und somit die Relation der anderen Kostenarten zu den Entsorgungskosten besser abgeschätzt werden kann.

Aus Tabelle 14 ist ersichtlich, dass die Material- und Stoffkosten bei Zentrifugen und Kammerfilterpressen wesentlich höher sind als bei Siebbandpressen. Die Personalkosten sind mit 12,94 bis 13,81 Euro/t für die drei untersuchten Systeme etwa gleich hoch. Die Kosten von Leistungen durch Dritte wurden bei Siebbandpressen mit 3,85 Euro/t und bei Zentrifugen mit 4,29 Euro/t entwässerten Schlammes etwa gleich hoch angegeben, während die Kosten bei Kammerfilterpressen bei 3,12 Euro/t liegen. Bei den Stromkosten sind Kammerfilterpressen mit 2,33 Euro/t erwartungsgemäß am günstigsten, gefolgt von Zentrifugen mit 4,29 Euro/t und Siebbandpressen mit 4,80 Euro/t. Errechnet man die Summe dieser vier Kostenarten, die für die Schlammmentwässerung bestimmend sind, so kommt man für Zentrifugen mit 36,34 Euro/t auf die höchsten Kosten, bei Kammerfilterpressen auf 33,21 Euro/t und bei Siebbandpressen auf 27,32 Euro/t entwässerten Schlammes.

Obgleich die Entsorgungskosten nicht direkt dem Detailprozess Schlammmentwässerung zugeordnet werden können, wurden die spezifischen Kosten der Entsorgung in die Tabelle 14 aufgenommen, um einen Vergleich vornehmen zu können. Daraus ist ersichtlich, dass die Kosten der Entsorgung ungefähr in der gleichen Größenordnung liegen wie die Summe der anderen Kostenarten. Auffällig ist, dass Siebbandpressen sowohl bei den Entsorgungskosten als auch bei der Summe der übrigen Kosten (Material und Stoffkosten, Personalkosten, Leistungen durch Dritte und Stromkosten) die niedrigsten spezifischen Kosten aufweisen. Daraus kann jedoch nicht abgeleitet werden, dass Siebbandpressen grundsätzlich günstiger sind. Beim Vergleich von Siebbandpressen muss berücksichtigt werden, dass der erzielbare Trockensubstanzgehalt wesentlich geringer ist und dieses Entwässerungssystem vorwiegend bei Anlagen zum Einsatz kommt, deren Schlamm der landwirtschaftlichen Verwertung bzw. der Kompostierung zugeführt werden kann. Die Entsorgungsart erklärt auch die vergleichsweise günstigen spezifischen Entsorgungskosten von Anlagen mit Siebbandpressen, wobei berücksichtigt werden muss, dass aufgrund der geringeren TS-Konzentration mehr Schlamm entsorgt werden muss.

Zusammenfassend kann für die untersuchten Anlagen festgehalten werden, dass bei den für die Schlammmentwässerung maßgebenden Kostenarten die Siebbandpressen die niedrigsten spezifischen Kosten aufweisen. Die spezifischen Kosten von Kammerfilterpressen und Zentrifugen sind mit 33,43 und 36,34 Euro je Tonne entwässerten Schlammes in etwa gleich hoch. Die spezifischen Kosten für die Schlammmentsorgung sind in der gleichen Größenordnung wie die Summe der für die Entwässerung maßgebenden spezifischen Kostenarten.

3 Zusammenfassung

Beim Benchmarking wird durch den systematischen Vergleich von Prozessen, Methoden und Produkten eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitssteuerung durch Identifizierung von Kosteneinsparungspotentialen und Leistungseffizienzen geschaffen.

Für den Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen wurde ein Prozessmodell entwickelt, das es erlaubt, Anlagen unterschiedlicher Verfahrens- und Betriebsweisen miteinander zu vergleichen. Es wurden die vier Prozesse *mechanische Vorreinigung* (Prozess 1), *mechanische biologische Abwasserreinigung* (Prozess 2), *Schlammverdickung und Stabilisierung* (Prozess 3) und *weitergehende Schlammbehandlung und -entsorgung* (Prozess 4) untersucht. Um einen Vergleich der sehr heterogenen Stichprobe von 76 Anlagen durchführen zu können, ist es erforderlich, die Anlagen entsprechend ihrer Größe in Gruppen einzuteilen. Die Gruppeneinteilung wird aufgrund der durchschnittlichen Belastung mit organischer Schmutzfracht (gemessen als chemischer Sauerstoffbedarf CSB), ausgedrückt als EW-CSB110 (= 110g CSB/Einwohner /Tag), vorgenommen.

Die Gruppe 1 umfasst 6 Anlagen mit einer durchschnittlichen Belastung von kleiner 5.000 EW-CSB110, die Gruppe 2 14 Anlagen mit einer Belastung zwischen 5.000 und 12.000 EW-CSB110, die Gruppe 3 27 Anlagen mit einer durchschnittlichen Belastung zwischen 12.000 und 25.000 EW-CSB110, die Gruppe 4 11 Anlagen mit einer Belastung zwischen 25.000 und 50.000 EW-CSB110 und die Gruppe 5 18 Anlagen mit einer Belastung von mehr als 50.000 EW-CSB110.

Um aussagekräftige Kennzahlen berechnen zu können, ist es erforderlich, die erhobenen Kosten mit möglichst sensitiven Bezugsgrößen zu verknüpfen. Für die Jahreskosten, die Gesamt-Betriebskosten und die Betriebskosten der vier Prozesse 1 bis 4 ist die Bezugsgröße EW-CSB110 am besten geeignet, um Vergleichbarkeit herzustellen. Für die Gesamt-Kapitalkosten und jene des Prozesses 2 werden als Bezugsgröße EWnorm-Ausbau verwendet. EWnorm-Ausbau ist jene Belastung, ausgedrückt in EW, bei der jede der Abwasserreinigungsanlagen die gesetzlichen Anforderungen der 1. AEVkA entsprechend den derzeit gültigen Bemessungsregeln (ATV 131) einhalten kann.

Für die Prozesse 1, 3 und 4 wird als Bezugsgröße EW-Ausbau verwendet. EW-Ausbau ist jene Belastung in EW, für die die Abwasserreinigungsanlage tatsächlich geplant und errichtet wurde.

Bei den Jahreskosten (Summe der jährlichen Betriebs- und Kapitalkosten) wird je Gruppe ein Benchmarkbereich definiert. Benchmarkanlagen sind jene Anlagen, die hinsichtlich der Einhaltung der 1. Abwasseremissionsverordnung, der Plausibilität der Daten und aufgrund der kommunalen Abwassercharakteristik aus technischer Sicht die notwendigen Qualitätskriterien erfüllen und deren spezifische Kosten kleiner oder gleich dem Benchmarkbereich sind. Bei der Festlegung des Benchmarkbereiches wurde die Ungenauigkeit der Daten berücksichtigt.

Für die einzelnen Prozesse 1 bis 4 wird bei den Betriebskosten je Gruppe genau eine Benchmark definiert. Benchmark der Gruppe für den jeweiligen Prozess ist jene Anlage, die den genannten Kriterien aus technischer Sicht entspricht und die geringsten spezifischen Kosten im jeweiligen Prozess aufweist. Die Unsicherheit der Daten und der Kostenzuordnung ist hier nicht berücksichtigt.

Bei den Betriebskosten führt die Auswertung der Daten je nach Anlagengröße zu einem Benchmarkbereich zwischen ca. 21,80 und 10,17 Euro/EW-CSB110 und Jahr (Abbildung 11). Der Rückgang des Benchmarkbereiches der spezifischen Betriebskosten von Größengruppe zu Größengruppe ist annähernd gleich groß und beträgt ca. 2,91 Euro/EW-CSB110 und Jahr. Es folgt daraus, dass nur Anlagen ähnlicher Größe hinsichtlich der spezifischen Betriebskosten verglichen werden dürfen.

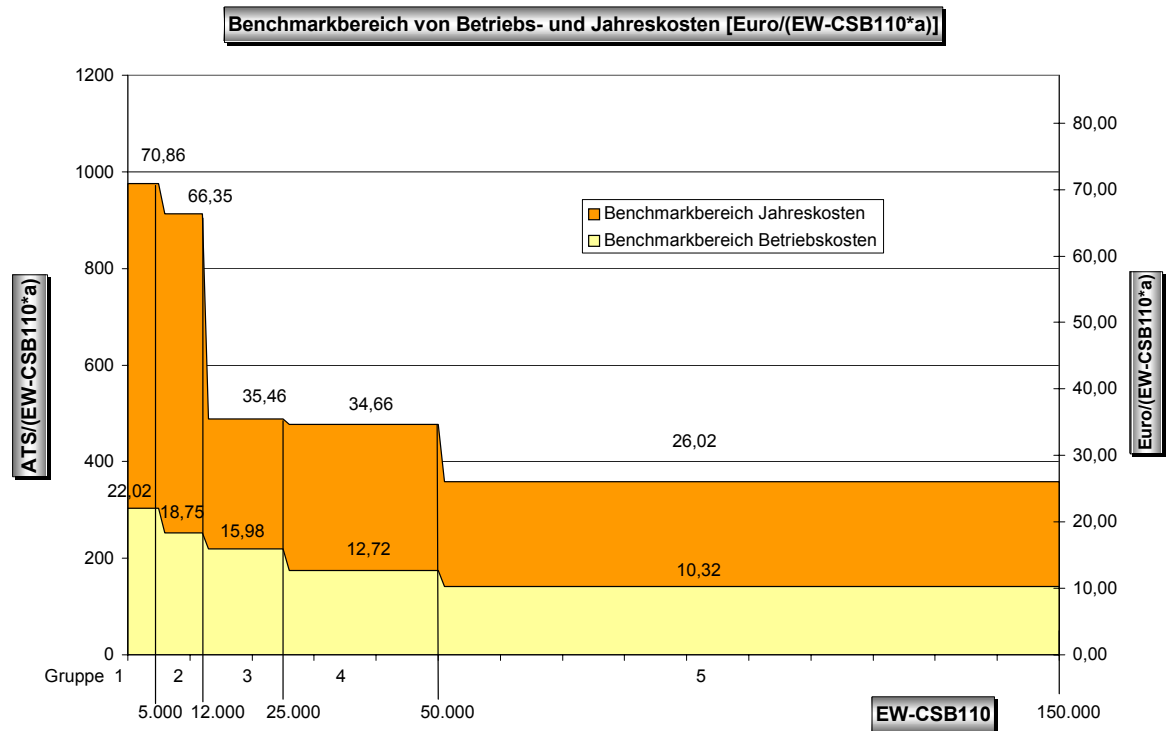


Abbildung 11: Benchmarkbereich und Benchmarkanlagen der Betriebs- und Jahreskosten der einzelnen Gruppen

Der Vergleich der Betriebskosten der Prozesse hat gezeigt, dass die Betriebskosten zu 45 Prozent von der mechanisch biologischen Abwasserreinigung inklusive Schlammstabilisierung verursacht werden und die anderen 55 Prozent der mechanischen Vorreinigung bzw. hauptsächlich der weitergehenden Schlammbehandlung zugerechnet werden müssen.

<i>Benchmarkbereich</i>	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Betriebskosten [Euro/EW-CSB-110*a]	22,02	18,75	15,92	12,72	10,32
Kapitalkosten [Euro/EWnorm-Ausbau]	37,21	20,64	18,97	13,74	10,68
Jahreskosten [Euro/EW-CSB-110*a]	70,86	66,35	35,46	34,66	26,02

Tabelle 15: Zusammenfassung der festgelegten Benchmarkbereiche

Der festgelegte Benchmarkbereich der Kapitalkosten der einzelnen Gruppen kann der Tabelle 15 entnommen werden. Der große Unterschied bei den spezifischen Kapitalkosten zwischen den Gruppen 1 und 2 ist auf die spezifisch höheren Errichtungskosten kleiner Anlagen zurückzuführen.

Der Benchmarkbereich der belastungsspezifischen Jahreskosten liegt zwischen 70,86 Euro/EW-CSB110 der Gruppe 1 und 26,02 Euro/EW-CSB110 der Gruppe 5. Im Gegensatz zu den kapazitätsspezifischen Kapitalkosten fällt bei den Jahreskosten der Benchmarkbereich zwischen der Gruppe 2 und 3 von 66,35 Euro/EW-CSB110 auf 35,48 Euro/EW-CSB110. Der unerwartet hohe Unterschied der Jahreskosten der Gruppen 2 und 3 wurde näher untersucht und dabei festgestellt, dass dies vor allem darauf zurückzuführen ist, dass die Anlagen der Gruppen 1 und 2 eine Auslastung von deutlich unter 100 % aufweisen, hingegen die Anlagen der Gruppen 3 bis 5 im Mittel mit 100 Prozent oder mehr ausgelastet sind.

Für die Betriebskosten wurde ein Einsparungspotential ermittelt, das den Summen der Abweichung der tatsächlichen Kosten vom festgelegten Benchmarkbereich entspricht. Die mit den EW-CSB110 gewichtete Summe der Abweichungen der tatsächlichen Betriebskosten vom Benchmarkbereich im Verhältnis zu den gesamten tatsächlichen Betriebskosten ergibt das Einsparungspotential. Wie viel vom theoretisch errechneten Einsparungspotential von 76 Mio. ATS/Jahr der Benchmarkingteilnehmer tatsächlich erreicht werden kann, ist von der Höhe der Kosteneinflüsse aufgrund standortspezifischer Besonderheiten abhängig.

Bei der Untersuchung der Kosteneffizienz für den Gewässerschutz hat sich gezeigt, dass es keine statistische Abhängigkeit der Betriebskosten von der Qualität der Reinigungsleistung gibt. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Optimierung der Betriebsführung hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses dahin gehen muss, die Reinigungskapazität der vorhandenen Anlage möglichst weitgehend auszunutzen.

4 Literatur

ATV-Arbeitsblatt A 131 (1991): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten. Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), St. Augustin.

BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH (1996): Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser), 210. Verordnung, Stück 67

MÜLLER H. (1999): Plausibilitätsprüfung in der Eigenüberwachung. Tagungsunterlagen, 1. ÖWAV-Workshop "Biologische Abwasserreinigung - Betrieb von Belebungsanlagen", 8.- 9.4., Wien.

NOWAK O.(1998): Stickstoffentfernung und gleichzeitige aerobe Stabilisierung bei schwach belasteten Belebungsanlagen. Wiener Mitteilungen - Band 145, 261 – 291.

ÖWAV-Arbeitsbehelf 22 (1999): Kläranlagenzustandbericht. Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

ÖWAV-Arbeitsbehelf 9 (2000): Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen. Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

SCHWEIGHOFER P. (1994): Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung von Messwerten. Wiener Mitteilungen - Band 116, G 1 – G 42.

Korrespondenz an:

Stefan Lindtner

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien
Karlsplatz 13/226.1

Tel.: 58801/22613

Fax: 58801/22699

Email: lindtner@iwag.tuwien.ac.at

Energieoptimierung von Kläranlagen

Hermann Agis

A-E-C Ingenieurbüro für Elektrotechnik

Kurzfassung: Das Forschungsprojekt wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft und der Kommunal-kredit Austria AG im Zeitraum 1999 – 2001 ausgeführt.

Es wurden 172 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße größer 3.000 EW hinsichtlich ihrer Energieeffizienz grob analysiert. Gute und schlechte Energieeffizienz findet sich gleichermaßen bei Anlagen mit guter und schlechter Reinigungsleistung und bei neuen und alten Anlagen. Der weite Streubereich der ermittelten Energiekennwerte lässt ein großes Einsparungspotential, im Mittel ca. 1/3 und zum Teil 50 % und mehr, erkennen.

An 21 Anlagen, 11 Anlagen mit guter und 10 mit schlechter Energieeffizienz, wurden Detailanalysen durchgeführt und der jeweilige Bericht an den zuständigen Anlagenbetreiber übergeben. Die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen reduzieren den Bezug an elektrischer Energie bei den 11 energiemäßig schlechten Anlagen ohne Faulung um 24 % bzw. bei denen mit Faulung um 54 %. Trotz dieser Verbesserungen erreichen aber viele dieser Anlagen nicht mehr die Energieeffizienz der guten Anlagen, weil manche Verbesserungsmaßnahmen im Nachhinein oft nicht mehr sinnvoll bzw. wirtschaftlich sind. Selbst bei den energetisch guten Anlagen waren meist noch deutliche Einsparungen möglich.

Insgesamt wurden durch das Projekt ein 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.

Keywords: Energieoptimierung, Energiebezug, Energieverbrauch, Grobanalyse, Detailanalyse, Energiekennwerte, Energiesollwerte, Gründe für schlechte Energieeffizienz.

1 ENERGIE IN KLÄRANLAGEN

Kläranlagen sind oft die größten Verbraucher von elektrischer Energie unter den gemeindeeigenen Einrichtungen. Die Energiekosten machen ca. 15 % - 25 % der Betriebskosten von Kläranlagen aus. Energie ist aber nicht nur ein Kostenfaktor, sondern auch ein wertvoller Rohstoff. Energiesparen bedeutet damit nicht nur Geld sparen, sondern auch Rohstoff sparen und CO₂-Emission verringern.

1.1 Standardkläranlage (ARA)

Unter Standardanlage (ARA) wird hier die **Kläranlage ohne etwaige Sonderverbraucher** verstanden. Darunter sind Energieverbraucher zu verstehen, die von der Anlage energiemäßig mitversorgt werden, aber nicht zur Standardkläranlage (ARA) gehören. Beispiele dafür sind Abwasserhebewerke im Kanalnetz oder auf der Anlage, die notwendig sind, um das Abwasser durch die Anlage zu fördern, Abwasserfilteranlagen, Abluftförder- bzw. Filteranlagen (Biofilter), Schlamm-trocknungsanlagen oder Kompostieranlagen. Rücklaufschlammhebewerke, interne Schlamm-pumpwerke, Rezirkulations-pumpwerke sind keine Sonderanlagen in diesem Sinne, sofern sie keine für die Größe der Anlage abnormal große Förderhöhen aufweisen. Ein Schlamm-pumpwerk, das den Überschussschlamm zur nächsten Kläranlage pumpt, um ihn dort mitbehandeln zu lassen, wäre aber wiederum ein Sonderverbraucher.

1.2 Energieströme, Energiebezug, Energieverbrauch

Bei Energieangaben ist es wichtig zwischen **Energiebezug** und **Energieverbrauch** zu unterscheiden und die stattfindenden Energieumwandlungen richtig zu berücksichtigen.

Energiebezug

Der Energiebezug ist die Energie, die von der Gesamtanlage (inklusive etwaiger Sonderverbraucher) von extern bezogen (zugekauft) wird. Die Energiemenge wird entsprechend dem jeweiligen Energieinhalt (Heizwert) der **Energieträger** (Elektrische Energie, Treib- u. Brennstoffe: Erdgas, Flüssiggas, Heizöl, etc.) ermittelt. 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.

Energieverbrauch, elektro+mechanische Energie, Wärmeenergie

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

So kann die zugekaufte elektrische Energie für „elektro+mechanische Energie“ (Beleuchtung, Steuerung und Regelung, Computer, Analysegeräte, Elektromotoren, etc.) aber für „Wärmeenergie“ (Heizung, Warmwasserbereitung) genutzt werden.

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

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 Inkonsequenz gegeben, als bei Gasmotordirektantrieben 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.

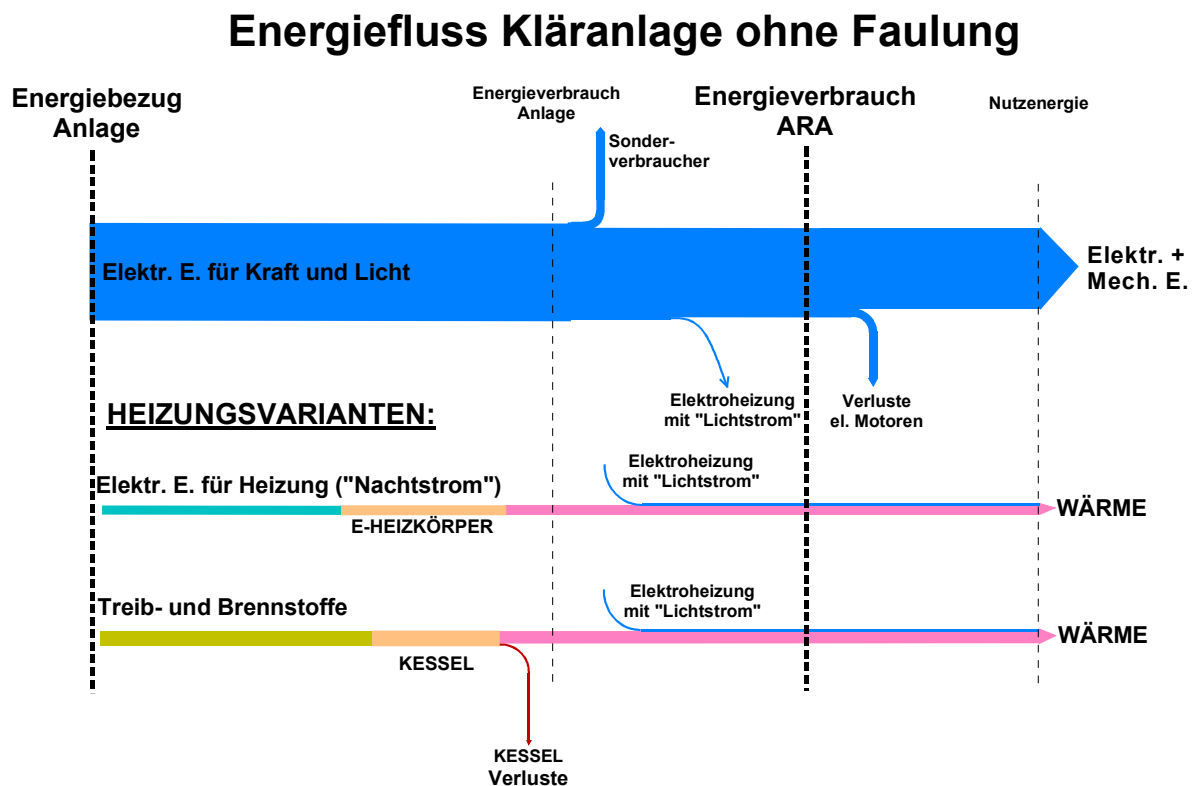
Die elektro+mechanische Energie und Wärmeenergie, die der Anlage zur Verfügung stehen, werden von der Anlage auch verbraucht. Somit kann man diese Energiemengen sowohl als **Energiebereitstellung** als auch als **Energieverbrauch** bezeichnen und diese sowohl von der Seite der Energiebereitstellung her (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.

Energieströme bei Kläranlagen OHNE und MIT Faulung

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.

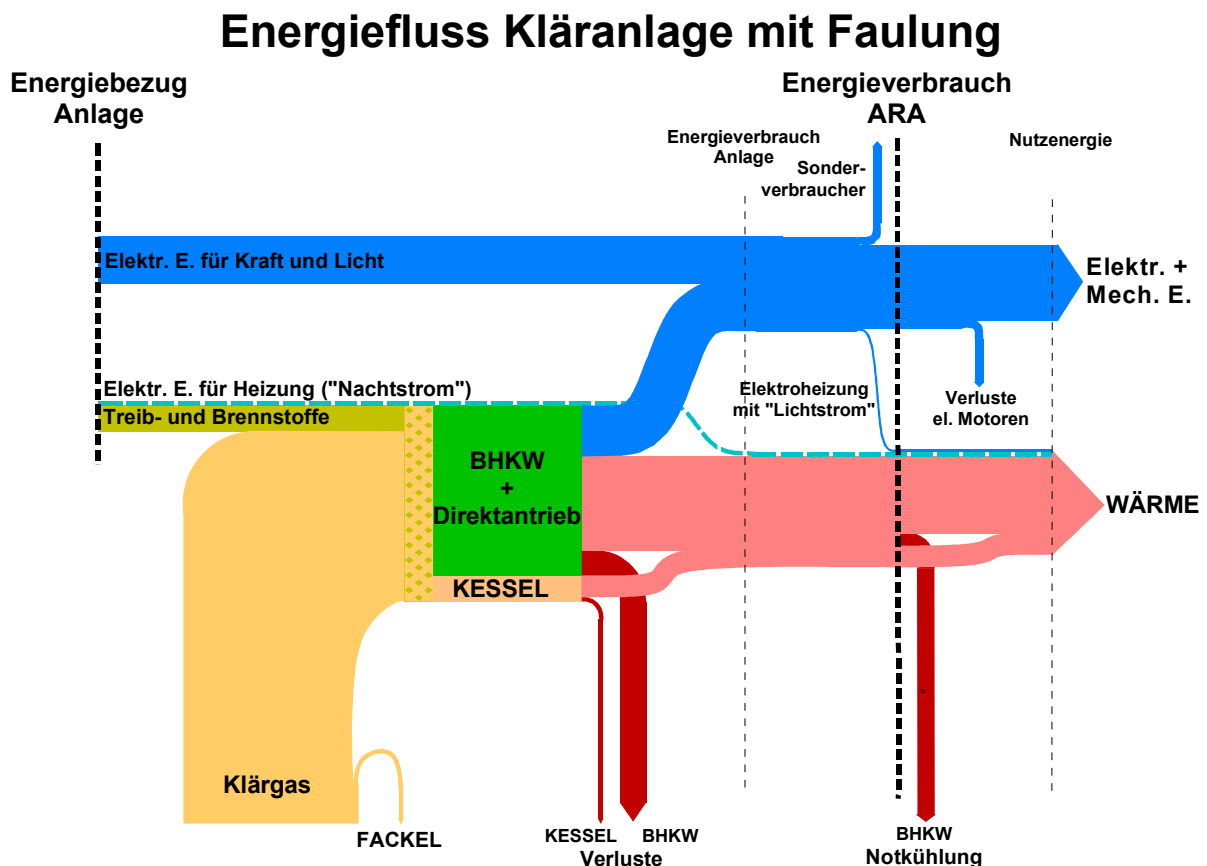
Bei der **Anlage ohne Faulung** beträgt der Verbrauch an elektro+mechanischer Energie der Anlage ohne Sonderverbraucher (ARA) ca. 22 kWh/EW-CSB und Jahr und der Verbrauch an Wärmeenergie bei der Variante Elektroheizung ca. 2 kWh/EW-CSB und Jahr bzw. ca. 4 kWh/EW-CSB und Jahr bei Heizung mittels Gas oder 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 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.

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.

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

Abwasserhebwerke werden, wie in Abschnitt 1.1 erläutert, aus der Energiebewertung der eigentlichen Kläranlage (ARA) herausrechnet und getrennt von der ARA untersucht. Damit ist auch deren Einfluss auf den Energieverbrauch in der ARA nicht vorhanden und die Abwassermenge hat deshalb nur einen geringen Einfluss auf den Energieverbrauch der Standardkläranlage (ARA).

Als einfach zu ermittelnde und für alle Anlagentypen gleiche Bezugsgröße für die Bewertung der Energieeffizienz einer biologischen Kläranlage ist die CSB-Zulaufkraft, gut geeignet. Durch den Bezug der Energiegrößen auf diese Bezugsgröße werden die bezogenen Größen weitgehend unabhängig von der Schmutzfracht und damit zu „Kennwerten“, die einen direkten Vergleich auch bei unterschiedlichen Anlagengrößen und Anlagenbelastungen ermöglichen.

Neben dem CSB hat natürlich auch die Stickstoffoxidation u. -entfernung maßgeblichen Einfluss auf den Sauerstoffbedarf und Energiebedarf der Belebung und dies ist für die Ermittlung von exakten Sollwerten für den Energieverbrauch und die Beurteilung der Energieeffizienz der Belüftung auch zu berücksichtigen. 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 jedoch die der Anlage zulaufende CSB-Fracht mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit als Leitparameter für den Energieverbrauch und damit als sinnvolle Bezugsgröße betrachten.

Die Ermittlung der CSB-Zulaufkraft ist aber aus verschiedenen Gründen in der Kläranlagenpraxis fehleranfällig. 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_{korrigiert}) deshalb in diesem Bericht meist **EW-bio** genannt und diese Belastungsgröße als Bezugsgröße für die Energie eingeführt. EW-bio orientiert sich vorrangig an der gemessenen CSB-Fracht und damit dem EW-CSB (**1 EW-bio entspricht wie auch 1 EW-CSB einer Fracht von 110 g CSB je Tag**).

1.4 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

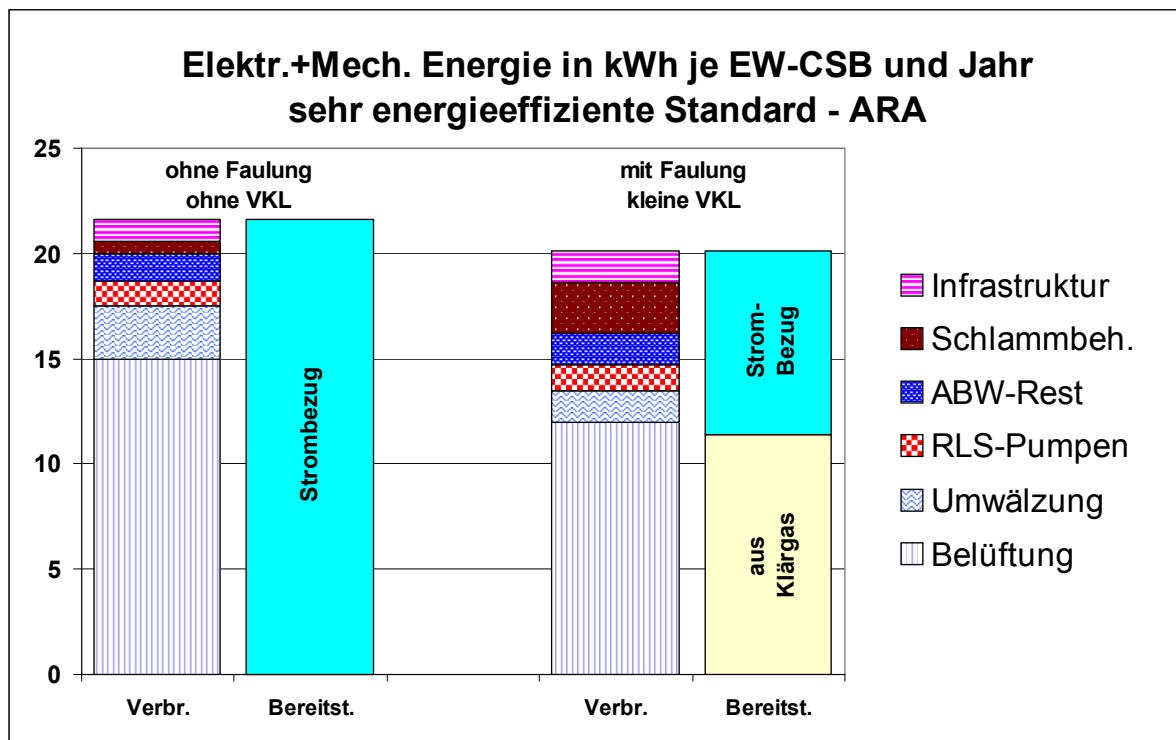
sind, sollen die folgenden 2 Bilder dienen. Die Energiewerte sind auf die tatsächliche mittlere Jahresbelastung (1EW-CSB entspricht einer Zulaufschmutzfracht von 110 g CSB/Tag) bezogen und gelten für energieeffiziente Kläranlagen.

Nicht zur Standardkläranlage gehörige Verbraucher, wie z.B. externe Pumpwerke und Abwasserhebwerke sind darin nicht enthalten.

Bei der **Anlage ohne Faulung** 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.

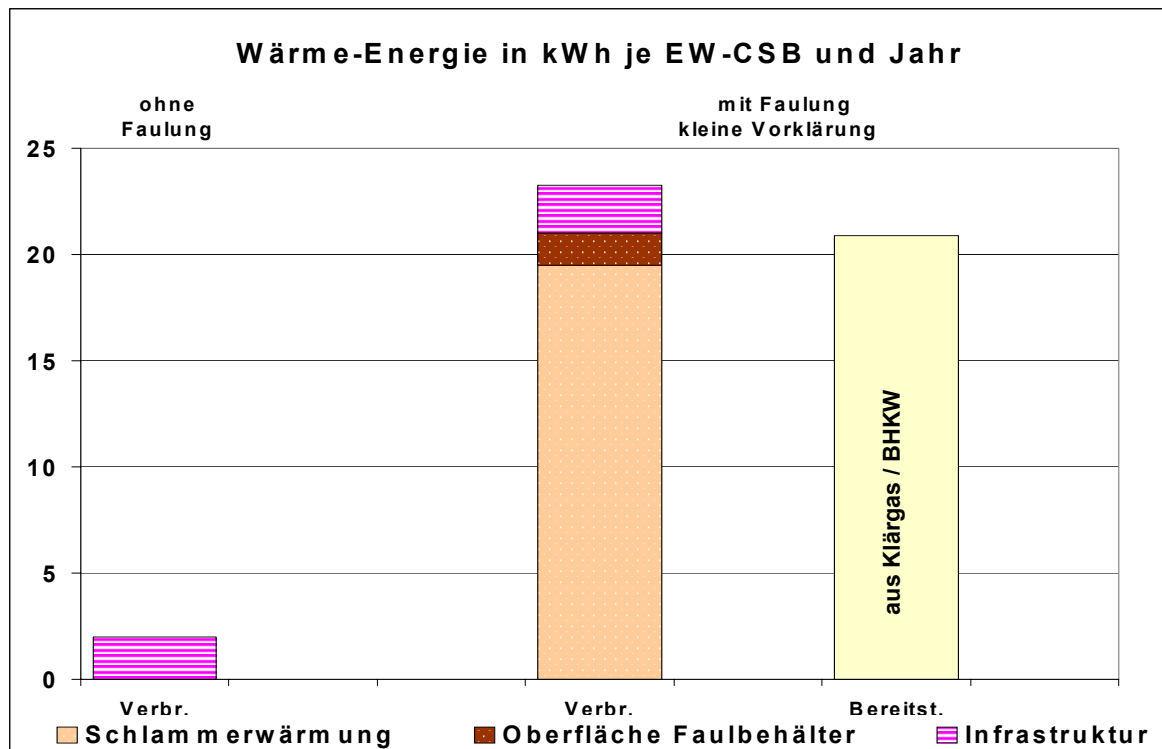
Bei der **Anlage mit Faulung** und kleiner Vorklärung liegt der Gesamtverbrauch an elektro+mechan. Energie bei 20 kWh/EW u. Jahr, wobei für die Belüftung des Belebungsbeckens ca. 12 kWh/EW-CSB u. Jahr verbraucht werden.

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 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.



1.5 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 (Primärschlammmenge) bestimmt wird. Der in der Faulung erreichbare Abbaugrad an oTS bzw. CSB hängt neben der Faulraumtemperatur und Aufenthaltszeit, auch von der Art und „Vorgeschichte“ des eingebrachten Schlammes und anderen Einflussgrößen ab. 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 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-m³. Dadurch ist der

Energieinhalt des Klärgases direkt vom **Methangehalt** abhängig und beträgt bei 65 % Methangehalt 6,5 kWh / Norm-m³.

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 m³ Methan je kg CSB bzw. 0,5 m³ Methan je kg oTS). Leider wird bei vielen Kläranlagen 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.

Für mesophile Faulung ist eine Temperatur im Bereich von 30 – 37 °C sinnvoll. Dabei wird für große Anlagen mit guter Faulraumdurchmischung und ca. 35 °C eine Aufenthaltszeit von mindestens 15 Tagen und für kleinere Anlagen mit ca. 30 °C eine Aufenthaltszeit von 30 Tagen 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 (z. B. mittlere Aufenthaltszeit von > 40 Tagen) eine Temperaturerhöhung von 30 auf 37 °C tatsächlich sinnvoll ist. Immerhin benötigt das Aufwärmen von 1 m³ 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 tatsächlich 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.

1.6 Energetisch hochwertige Nutzung von Klärgas

Auf einer Kläranlage kann die Energie des Klärgases sinnvoll sowohl in Wärme als auch in mechanische Energie (zum Direktantrieb der Belüftungsgebläse) oder elektrische Energie 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.

Bei einem BHKW wird aus Gas in einem Gasmotor und Generator elektrische Energie erzeugt. Da diese Einheiten bis zu etlichen 100 kW Leistung als weitgehend standardisiert gefertigt und in einem „Block“ geliefert werden, werden sie **Blockheizkraftwerke (BHKW)** genannt. Unter optimalen Bedingungen 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.

Meist überwiegen die Vorteile des BHKW gegenüber dem Direktantrieb. Nur, bei sehr großen Anlagen ist es eventuell sinnvoll, sofern die Belüftungsregelung dies zulässt, neben mehreren BHKW's auch einen Gasmotordirektantrieb zur Abdeckung der Belüftungsgrundlast vorzusehen. Dabei sollte der Direktantrieb aber wirklich nur auf die minimale Luftmenge, die auch in Zukunft nie unterschritten werden wird, ausgelegt sein.

2 ENERGIEOPTIMIERUNG BEI KLÄRANLAGEN

2.1 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.

Die Bewertung der Energieeffizienz setzt die möglichst genaue Kenntnis der Belastung der Anlage (Zulaufmengen), 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. Um diese Unsicherheiten und Fehlermöglichkeiten zu erkennen und möglichst einzugrenzen, ist 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, die Anlagenbelastung bestenfalls mit einer Genauigkeit von ca. +/- 10 % bestimmbar ist.

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 des Energiebezuges 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 wertvolle 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 sinnvolle Vergleiche mit anderen Anlagen für die Gesamtanlage, Verfahrensstufen und einzelne Anlagenteile 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).

2.2 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 Menge).
- Zulauf- und Ablaufdaten (Abwassermenge, Konzentrationen und Frachten BSB₅, CSB, N_{ges}, 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 –verwendung 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 noch 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.

2.3 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 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. 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 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 für ein Energie-Benchmarking und das Finden und Bewerten von Verbesserungsmöglichkeiten.

Maßnahmen, Einsparung an Energie und Energiekosten

Aus den identifizierten Einzelverbrauchern 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 und mit Prioritäten für die zeitliche Umsetzung versehen.

Wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen

Die Verbesserungsmaßnahmen werden hinsichtlich der eingesparten Betriebskosten, und den geschätzten Kosten für die Umsetzung der Maßnahme (Investition) wirtschaftlich bewertet. Dazu werden die Einsparungen und Kosten unter Berücksichtigung von Preissteigerungsraten, Zinsen und wirtschaftlicher Nutzungsdauer in Jahreskosten und Jahresnutzen umgerechnet. und gegenübergestellt.

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).

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.

3 GROBANALYSE AN 172 ANLAGEN

3.1 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.

3.2 Statistische Auswertung der Teilnahme

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 mittels Fragebogen eingeladen.

Insgesamt sind von den 457 zur Teilnahme eingeladenen Kläranlagen (100 %) 178 ausgefüllte Fragebögen (39 %) eingetroffen und davon 172 Stk für das Projekt brauchbar.

Die Frage: „Sind Sie an einer Abschätzung des Energieeinsparpotentials interessiert und bereit an einer Energieanalyse Ihrer Anlage mitzuwirken?“

Beantworteten positiv: 100 Betreiber (56% der Rücksendungen bzw. 22 % der eingeladenen).

Die Frage: „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?“
Beantworteten positiv: 51 Betreiber (29% der Rücksendungen)
- wenn sie sich innerhalb von 5 Jahren amortisieren?“
Beantworteten positiv: 45 Betreiber (25 % der Rücksendungen)
- wenn sie sich innerhalb von 10 Jahren amortisieren?“
Beantworteten positiv: 7 Betreiber (4 % der Rücksendungen)

Bei den Anlagen mit Faulung war die Investitionsbereitschaft und das Interesse an der Mitwirkung etwas, die Rücksendequote deutlich höher als bei den Anlagen ohne Faulung.

3.3 Prüfung der Daten auf Plausibilität

Es wurde großes Augenmerk darauf gelegt, vor allem die für die Energiebewertung wichtigen Daten möglichst fehlerfrei zu erfassen, auf Plausibilität zu prüfen und soweit mit vertretbarem Aufwand möglich, durch Rückfragen, in einigen Fällen auch durch Anlagenbesuche, zu verbessern. Die Grobbewertung wurde anhand der Jahresdaten von 1998 durchgeführt.

Hier soll nur auf die besonders problematischen Bereiche Zulauffracht und Klärgas näher eingegangen werden.

Zulauffracht, Datenqualität

Wie in Abschnitt 1.3 dargelegt, ist die möglichst genaue Kenntnis der Zulauffracht und die daraus ermittelte Größe EW-bio als Bezugswert für die Energiebewertung sehr wichtig. Es wurde deshalb bei der Festlegung des Belastungswertes EW-bio auch dessen Vertrauenswürdigkeit bewertet und jede Anlage in eine Kategorie „Datenqualität der Zulauffracht“ mit folgender Bedeutung eingeordnet.

Datenqualität	Bedeutung
0	Daten sind sehr unsicher.
1	Daten sind unsicher aber für statistische Zwecke verwendbar
2	Daten sind plausibel, 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 %).

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 Energiewerte (unter anderem größtenteils durch Kopie der Stromrechnungen) sehr gut abgesichert sind.

Von den 178 gemeldeten Anlagen (109 OF, 69 MF) waren für die Energiestudie 172 Anlagen (105 OF, 67 MF) brauchbar. 6 Anlagen mussten von vornherein ausgeschieden werden, da keine Zulaufdaten und / oder keine Energiewerte verfügbar waren (Datenqualität 0). Datenqualität 3 - 5 erfüllen 89 Anlagen (52 % der „brauchbaren“, 49 OF, 40 MF), Datenqualität 3+ erfüllten 53 Anlagen (31 % der brauchbaren, 40 OF+13 MF). Die Datenqualität 5 wurde nicht vergeben.

Klärgas

Klärgasanfall

Ist nur bei Anlagen mit Faulung von Bedeutung. Da bei vielen Anlagen die Erfassung der Klärgasmenge falsch oder sehr unzuverlässig ist, wurde im Rahmen dieser Grobanalyse die Klärgasanfallmenge bewusst nicht für die Beurteilung der Anlagenbelastung verwendet. Offensichtlich wird dem Klärgas, nach dem Grundsatz „was nichts kostet, ist auch nichts wert“ bei vielen Anlagen keine besondere Bedeutung beigemessen, obwohl die genaue Kenntnis des Klärgasanfalles wichtig für die Ermittlung des Energieverbrauches (Energiebereitstellung) und für die Kontrolle des Faulungsprozesses ist.

Einfluss der Klärgasanfallmenge auf die Energiebewertung

Dabei sind 2 Fälle zu unterscheiden.

a) Die gemessene Klärgasmenge stimmt mit der tatsächlichen 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 die aus dem Klärgas produzierte Nutzenergie berechnen. 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, muss die überschüssige Wärme über die Notkühlung ungenutzt abgeführt werden. In diesem Bericht wird unter Wärmeverbrauch die aus den Energiebezügen und aus dem Klärgas insgesamt

über Heizkessel, BHKW bzw. Direktantrieb produzierte Wärmeenergie verstanden.

b) Die gemessene Klärgasmenge stimmt mit der tatsächlichen nicht überein

In diesem Fall schlägt sich der Fehler in gleichem Ausmaß auch auf die aus der Klärgasmenge errechnete Energie nieder. Es hängt dann von der Klärgasverwendung ab, ob und in welchen Energiearten sich der Fehler 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.

In den Fällen in denen das Klärgas vollständig über die Fackel vernichtet wird, hat eine fehlerhafte Klärgasmessung natürlich keine Auswirkung auf die 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 ernstes 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.

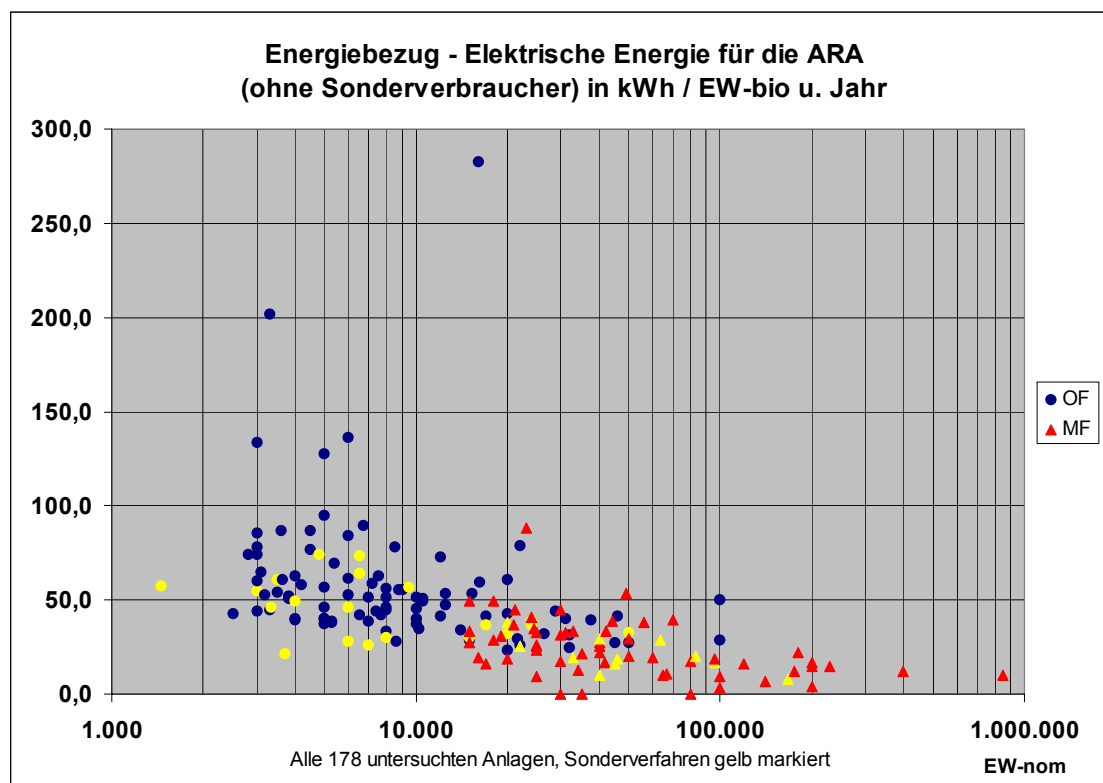
4 ALLE ANLAGEN DER GROBANALYSE IM ÜBERBLICK

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

4.1 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, wie eine gesonderte Auswertung ergab, meist 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.

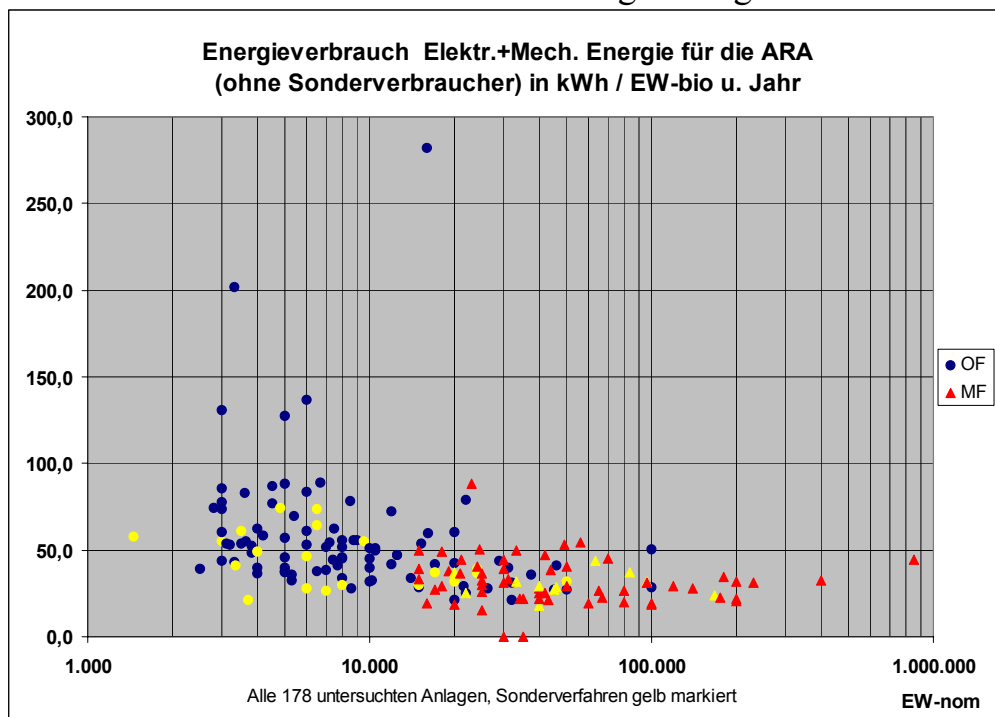


Eine Ungenauigkeit in der Anlagenbelastung (EW-bio) schlägt natürlich voll auf die bezogenen Werte durch. So wird ein um z.B. 20 % zu groß ermittelter Wert für EW-bio einen um 17 % kleineren bezogenen Wert und eine um 20 % zu klein ermittelte Anlagenbelastung einen um 25 % größeren bezogenen Wert liefern.

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.

4.2 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.

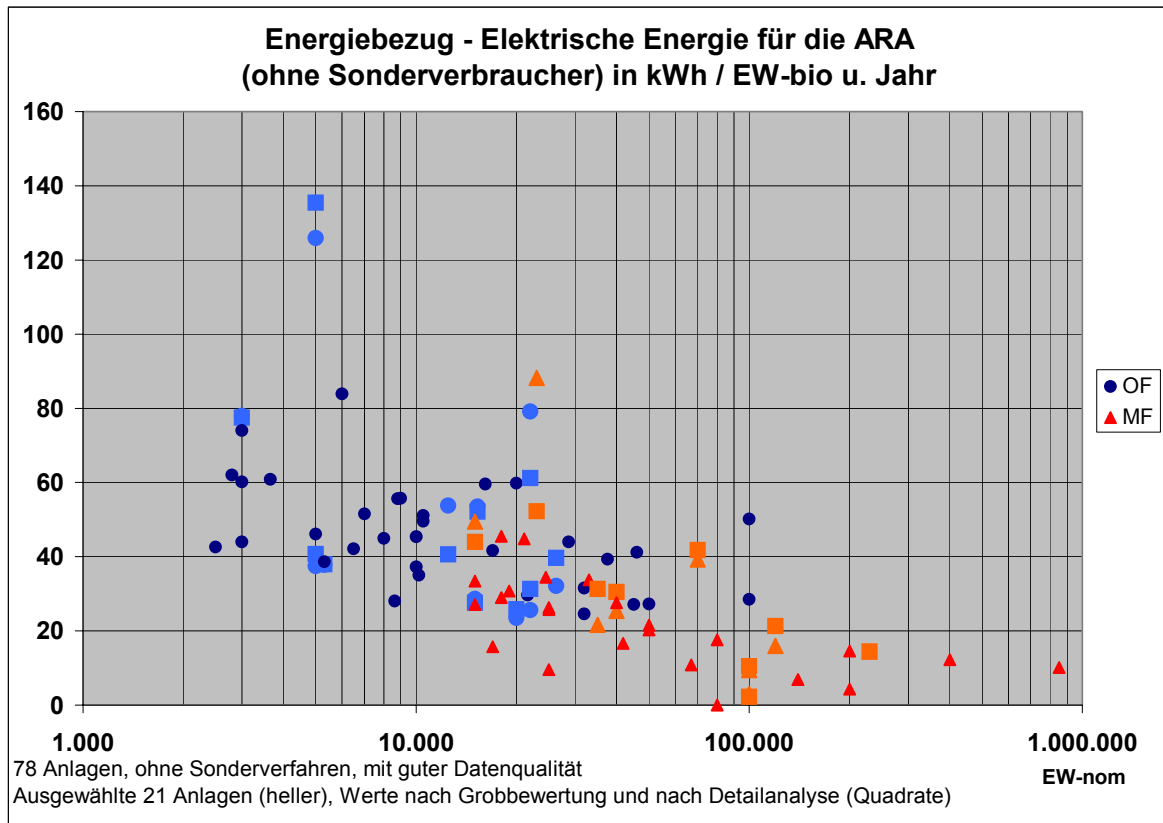
Auch beim Energieverbrauch sieht man, wie bereits beim Energiebezug, einen weiten Streubereich, der bei den Anlagen, die mehr verbrauchen als die Gruppe der Besten, ein entsprechend großes Einsparungspotential erwarten lässt.

5 AUSWAHL FÜR DIE DETAILANALYSEN

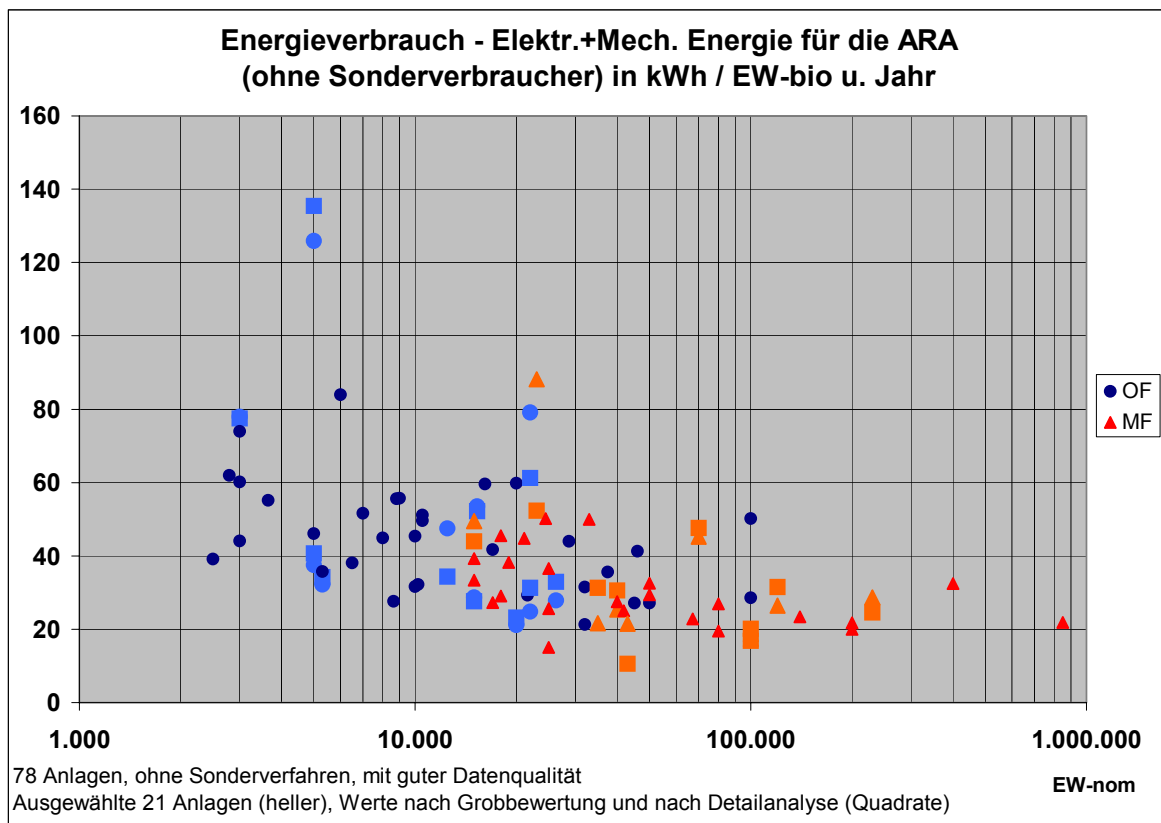
Von den 172 Anlagen wurden die 33 Anlagen mit Sonderverfahren ausgeschieden und von dem Rest (139 Anlagen) nur 78 Anlagen (44 OF, 34 MF) mit einer guten Datenqualität (Qualität 3+) zur Auswahl für die Detailuntersuchung zugelassen. Aus dieser Vorauswahl wurden 21 Anlagen für die Detailanalyse ausgewählt. Deren Verteilung hinsichtlich Größe, Verfahren und Effizienz zeigt die Tabelle.

Ausbaugröße	Gute Energieeffizienz		Schlechte Energieeffizienz	
	OF	MF	OF	MF
Ohne (OF) / mit (MF) Faulung	OF	MF	OF	MF
ca. 3.000 - ca. 10.000 EW-nom	2	-	2	-
ca.10.000 - ca. 50.000 EW-nom	4	3	3	2
> ca. 50.000 EW-nom	-	2	-	3

Die folgenden Diagramme zeigen die Energiedaten der 78 Anlagen der Vorauswahl. Davon sind 44 ohne und 34 mit Faulung. Die für die Detailanalyse ausgewählten Anlagen sind durch größere Symbole in hellerer Farbe 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 von denen der Grobanalyse. Um diese Unterschiede darzustellen, wurden in den Diagramme auch die endgültigen Werte, ermittelt aus den Detailanalysen, als helle Quadrate dargestellt. Man erkennt daraus, 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 genaue Energiekennwerte und über die konkrete Maßnahmenfindung und -bewertung auch das tatsächliche Einsparungspotential für die konkrete Anlage ermittelt werden.

6 21 ANLAGEN DER DETAILANALYSE IM ÜBERBLICK

6.1 Energieeffiziente Anlagen

6.1.1 Anlagen ohne Faulung

Belastung

Anlage	Inbetrie- nahme	Ausbau	Belastung				Ablauf mg/l		Besonderheit der Anlage
			EW-nom	EW-hyd	EW-N	EW-bio	NH4-N	NO3-N	
OF 38	1996 N	5.000	2.040	2.230	3.000	0,8	1,2	Wochengang	
OF 39	1995 N	5.300	2.080	3.720	3.200	1,5	11,1	Vorg. Deni.,	
OF 82	1994 N	15.000	8.440	7.160	9.250	0,5	1,5		
OF 91	1982 N	20.000	18.050	9.010	9.000	1,0	1,3	Mammutrotor	
OF 94	1990 E	22.000	25.600	10.350	10.000	0,2	1,2	Wärmepumpe	
OF 98	1982 N	26.300	17.080	8.950	12.000	0,9	1,4	Mammutrotor	

Summe 93.600 46.450

Investitionskosten, Amortisationsdauer, Maßnahmen für Gesamtanlage

Anlage	Invest	Ersparnis pro Jahr	Amortisat.	Maßnahmen in den Bereichen (Wirtschaftlich sinnvoll und empfohlen)
	Euro	Euro	Jahre	
OF 38	4.360	1.100	4,0	Rührwerk Selektor
OF 39	0	0	-	Keine
OF 82	10.900	4.740	2,3	Bel.Sandf u. BB, Umw.BB, RLS-Pump, E-Spitzen
OF 91	7.270	4.940	1,5	Sandfangpaddel, Umwälzg.BB, RLS, E-Spitzen
OF 94	5.090	5.090	1,0	Umw. BB, RLS, E-Spitzen
OF 98	14.540	14.800	1,0	Bel.BB, 1 BB stilllegen, E-Spitzen, Heiz.Nebengeb

42.160 30.670 1,4

7 DIE 21 ANLAGEN GRAFISCH DARGESTELLT

7.1 Energieverbrauch IST / OPTIMIERT

Anlagen ohne Faulung

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, sofern vorhanden, nicht mitrechnet.

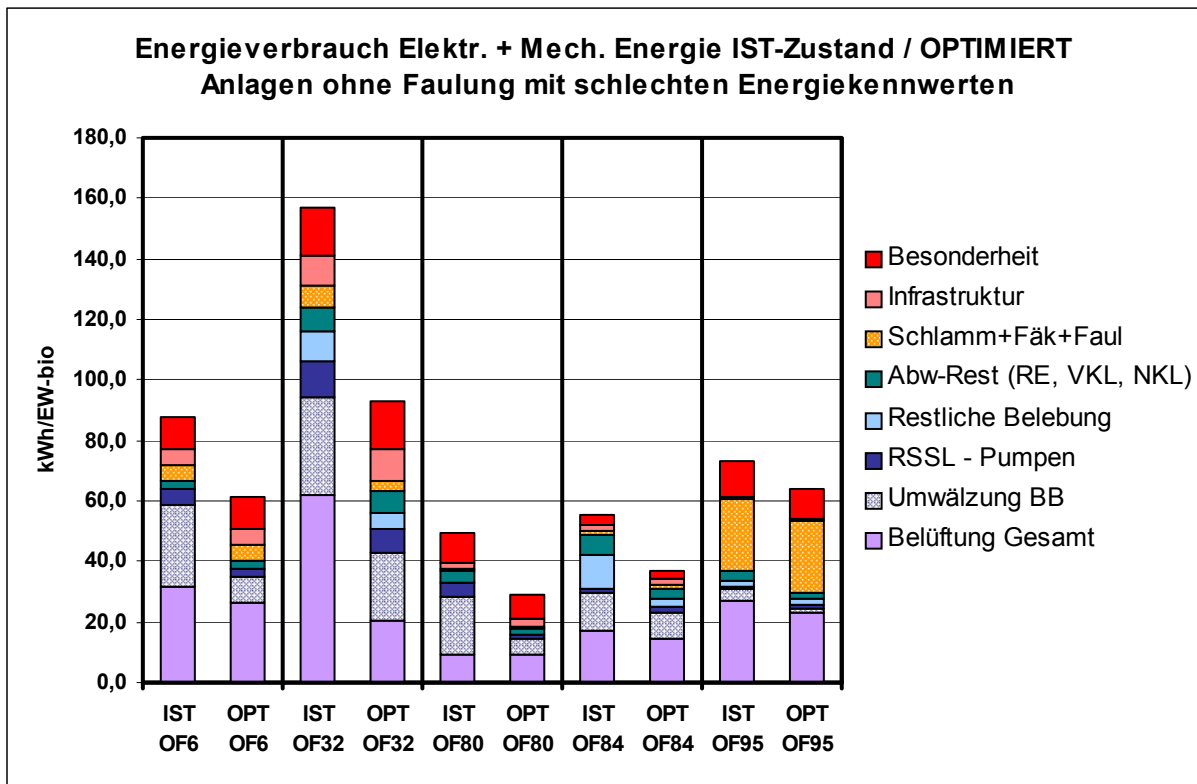
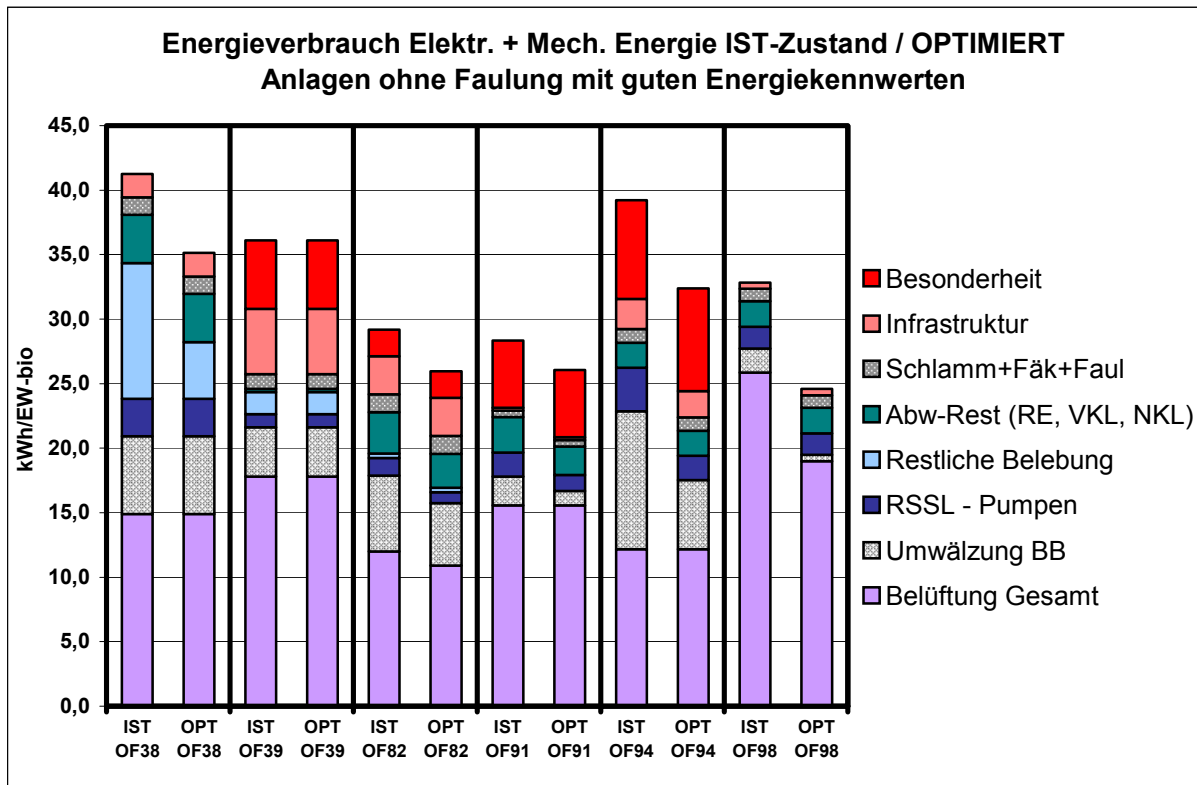
Von unten beginnend stellt die Belüftung u. Umwälzung den Energieverbrauch des „Kernstückes“ der Belebung dar. In den Tabellen des vorigen Abschnittes sind unter dem Energieverbrauch BB auch noch der Energieverbrauch der „Restlichen Belebung“ (hellblaues Segment, z.B. Umwälzung Selektor oder Rührwerke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

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.

Bei den energiemäßig schlechteren Anlagen (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 sondern auf die Anlagenkonzeption, technische Ausstattung oder auf eine sehr geringe Auslastung (mittlere Belastung bezogen auf die Größe) zurückzuführen.

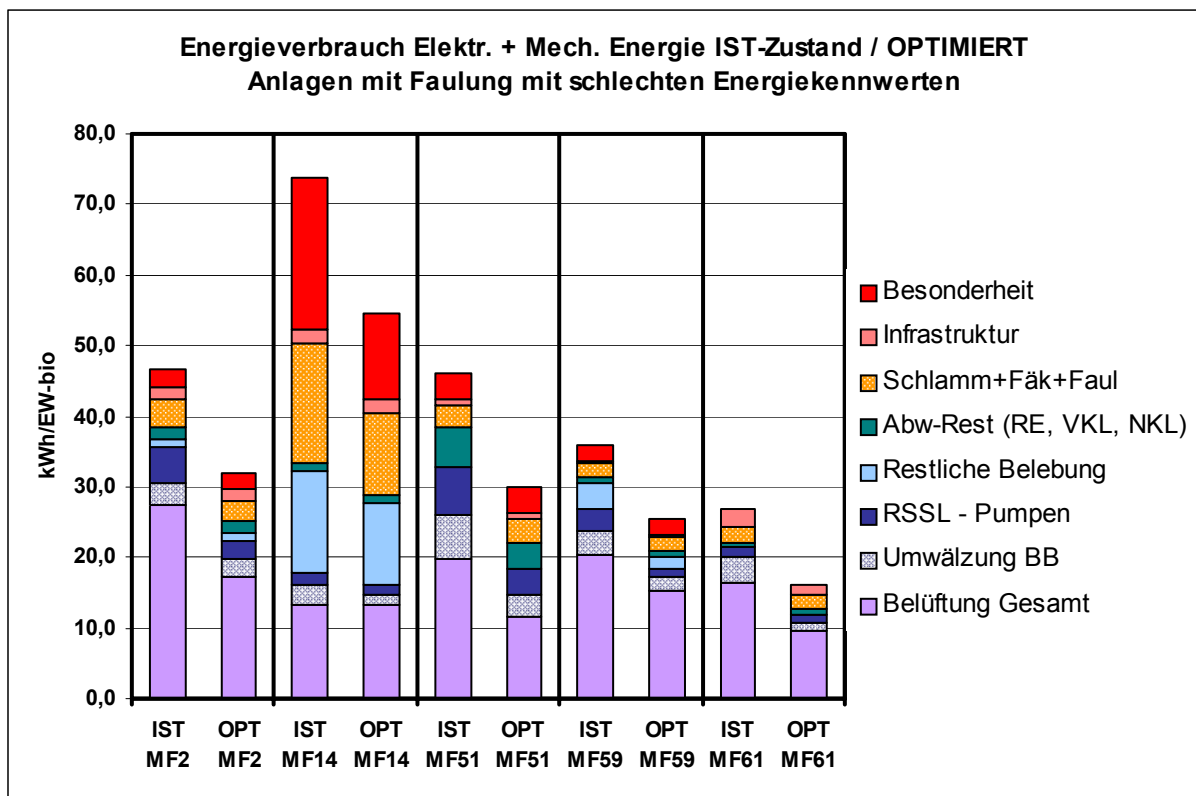
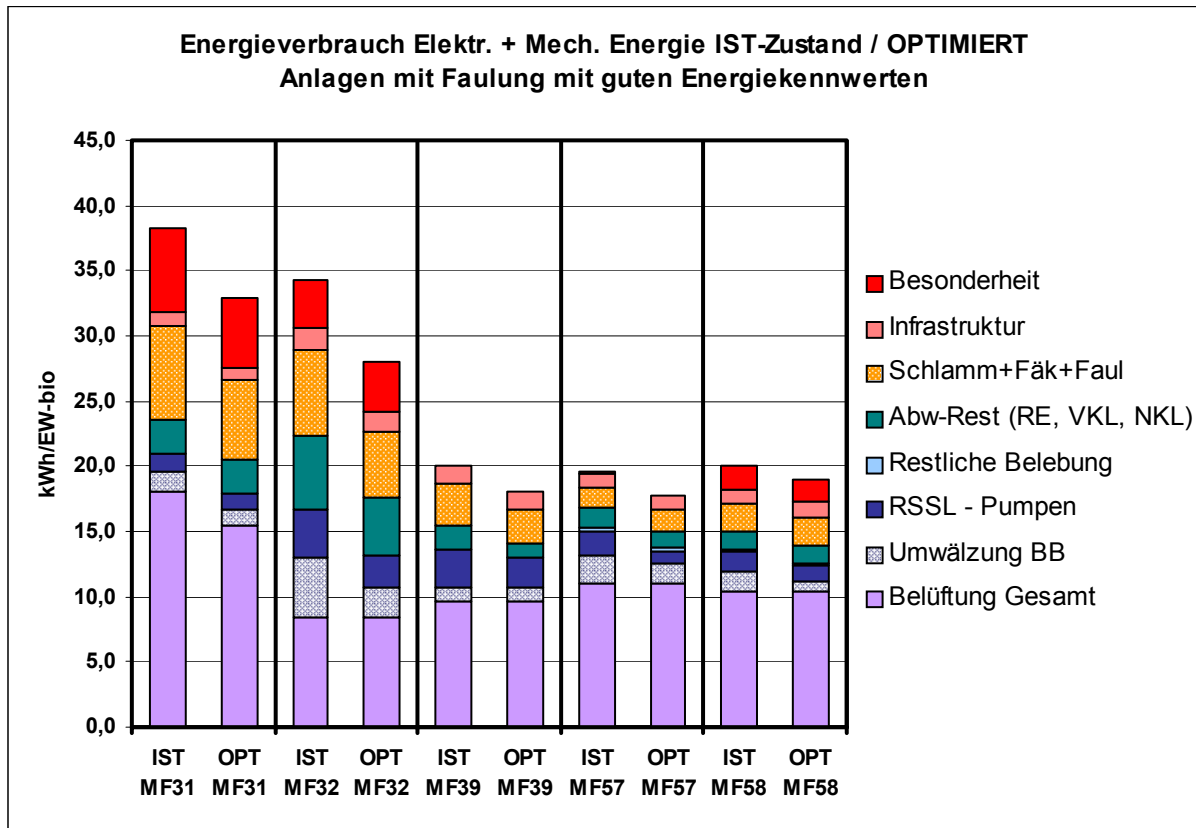


Anlagen mit Faulung

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 großteils 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.

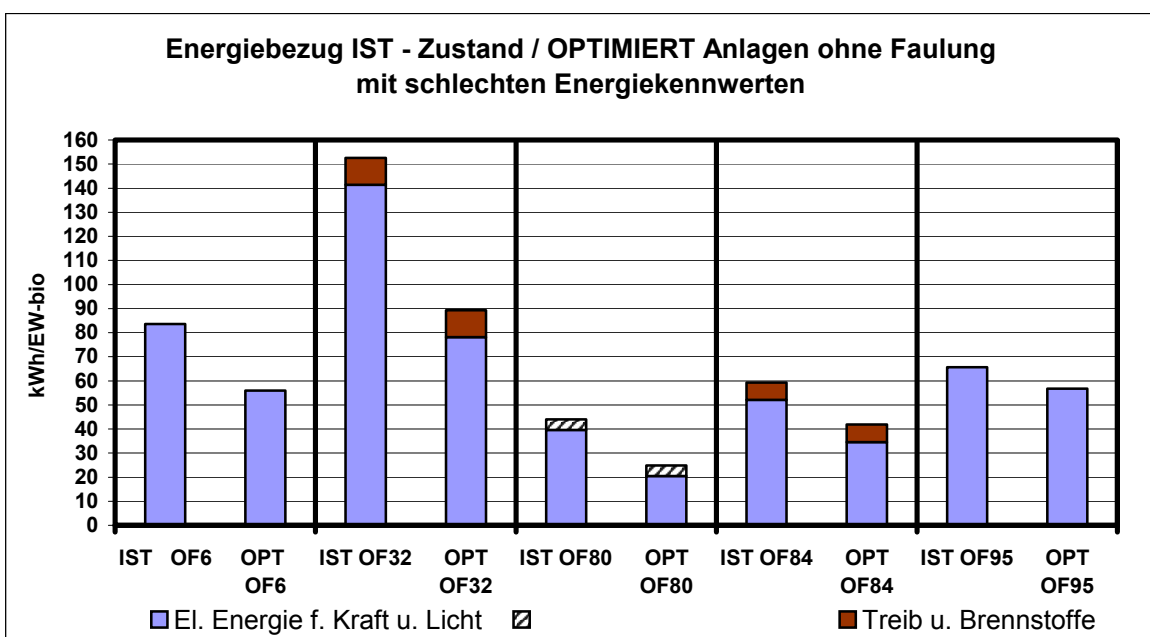
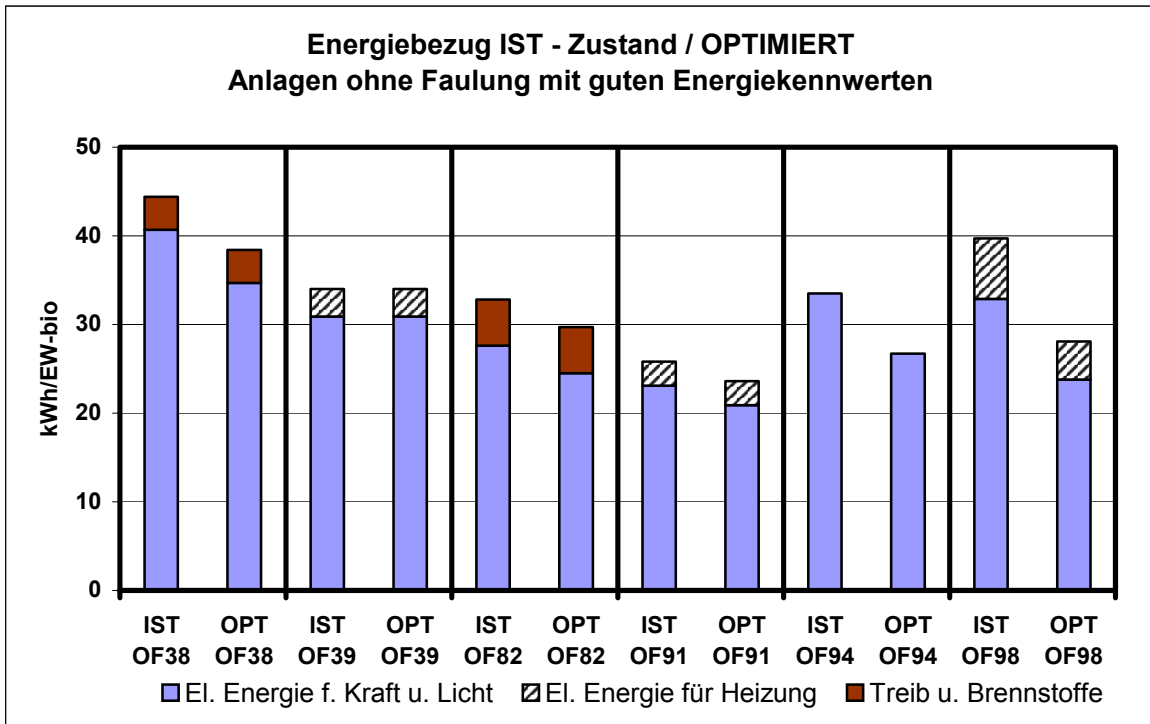
Bei den energiemäßig schlechten Anlagen im folgenden Bild (man beachte den geänderten Maßstab) sind diese Sollwerte durch eine Optimierung aufgrund der vorhandenen Anlagenkonzeption meist nicht mehr erreichbar. Dies ist aber und das ist auch hier hervorzuheben, meist nicht auf besondere naturgegebene 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.



7.2 Energiebezug IST / OPTIMIERT

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 im Bild mit den energiemäßig schlechteren Anlagen.



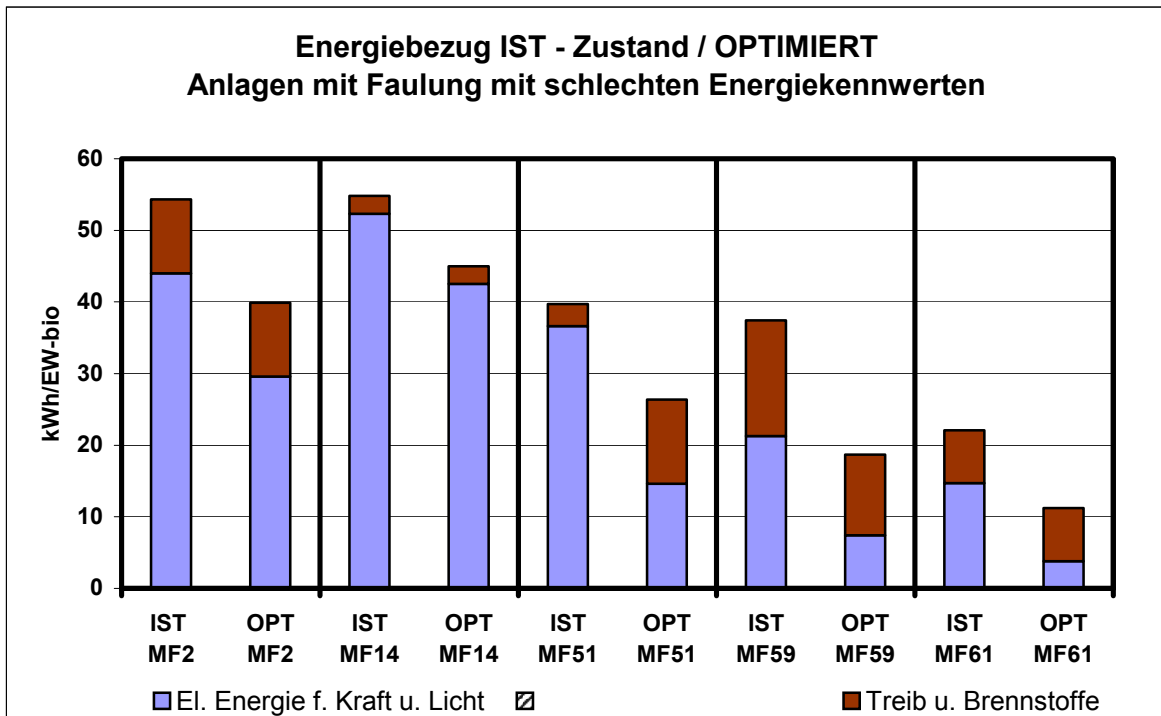
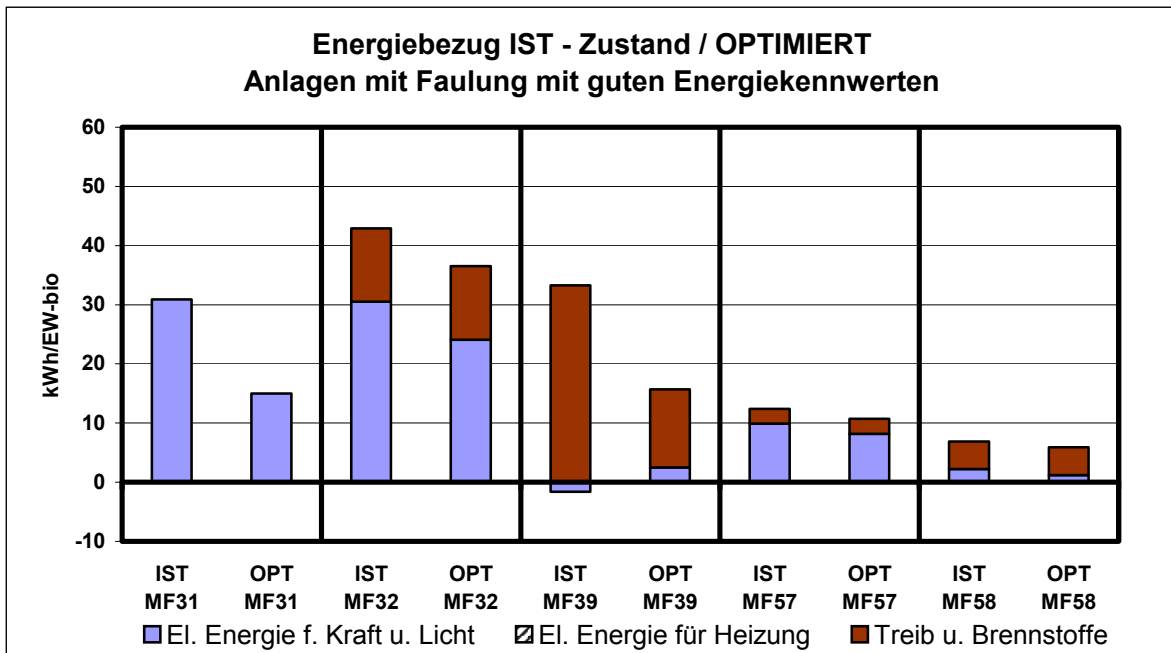
Anlagen mit Faulung

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 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. 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, 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 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.



8 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 zum Teil 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.

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.

ENERGIEVERBAUCH DER ARA	OHNE FAULUNG		MIT FAULUNG	
	5.000	20.000	40.000	100.00
Ausbaugröße in EW-nom	RICHT	SOLL	SOLL	SOLL
ELEKTRO+MECHAN. ENERGIE				
Mech. Vorreinigung (inkl. bel. Sandf) 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
Schlammbeh. u. Entwässerung c)	1,2	1,2	2,8	2,2
Infrastruktur	3	1,2	1,4	1,0
Standardkläranlage (ARA)	27,5	21,0	18,5	16,5
	*) Trichterbecken			
Anmerkungen zur elektr+mech. 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
WÄRMEENERGIE:				
Aus Elektroheizung	2 – 4	2 – 3	Hauptsächlich Faulung	
Aus Heizung mit Brennstoffen	3 - 6	3 - 5		

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 verbrauchs-erhöhend aus.

Die hydraulische Belastung wirkt sich aber direkt im Energieverbrauch von Abwasserhebewerken und Kanalpumpwerken aus, die energetisch allerdings als Sonderverbraucher behandelt werden und nicht zur Standardkläranlage gehören. Zur Abschätzung des Energieverbrauchs derartiger Abwasserhebewerke kann man davon ausgehen, dass 1 kWh elektrische Energie 200 m³ Wasser 1 m hoch heben kann.

9 WESENTLICHE URSACHEN FÜR SCHLECHTE ENERGIEEFFIZIENZ

Die Detailuntersuchungen haben folgende wesentliche Ursachen für schlechte Energieeffizienz erkennen lassen.

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!

Reinigungsleistung und Alter der Anlage: Hat überraschenderweise **keinen wesentlichen Einfluss** auf die Energiegrößen der Anlage. Gute und schlechte Energieeffizienz findet sich gleichermaßen bei Anlagen mit guter und schlechter Reinigungsleistung und bei neuen und alten Anlagen.

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 Schlamm erwärmung 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.

10 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.

Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband - ÖWAV) - Folge 8, 61-104 (2000)

Svardal, K., 1997: Wirtschaftliche Aspekte der Betriebsführung.
Kläranlagennachbarschaften.

Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband - ÖWAV) - Folge 4, 83-103 (1997)

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

Schmalzhofgasse 18
1060 Wien

Tel: 01 / 59 75 005
Fax: 01 / 59 75 005 – 18
Email: agis@eunet.at

Energie-Benchmarking von Kläranlagen - Überlegungen aus abwassertechnischer Sicht

Otto Nowak

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien

Kurzfassung: Im Zuge der abwassertechnisch-wissenschaftlichen Begleitung eines Projekts zur Energieoptimierung von kommunalen Kläranlagen wurde zum einen festgestellt, dass zwischen Energieverbrauch und Reinigungsleistung kaum ein Zusammenhang besteht. Lediglich bei der Nitrifikation zeigt sich, dass Anlagen mit im Jahresmittel niedrigen Ammonium-Ablaufwerten im Schnitt einen geringfügig höheren Energiebedarf aufweisen als Anlagen ohne weitgehende Nitrifikation. Zum anderen stellte sich heraus, dass ein zukünftig erhöhter Energiebedarf häufig bereits durch die Konzeption der Anlage festgelegt wird. Dies betrifft unwirtschaftliche Belüftungssysteme, große hydraulische Verluste, sowie „Sonderverbraucher“, etwa Abluftgebläse bei Einhausungen. Im Betrieb kann eine Energieoptimierung, außer bei der Belüftung, welche ein geeignetes Regelungskonzept erfordert, auch in anderen Bereichen, wie bei der Umwälzung der Belebungsbecken Einsparungen mit sich bringen. Für die Angabe des spezifischen Energieverbrauchs scheint die Stickstofffracht eine mindestens ebenso geeignete Bezugsgröße zu sein wie die Fracht an organischen Stoffen in EW_{CSB} mit 110 g CSB/(EW.d), wobei die Höhe dieses Wertes hier begründet wird. Weiters werden Benchmarks für den Bezug, d.h. den Zukauf, an elektro-mechanischer Energie in Abhängigkeit von der CSB-Entfernung im Vorklärbecken sowie vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur Kläranlage angegeben. Ein Beispiel für eine Kläranlage, die in diesem Benchmarkbereich liegt, wird kurz erläutert.

Keywords: Energiebedarf, Energieverbrauch, Energieoptimierung, Energie-Benchmarking, kommunale Abwasserreinigung, Belebungsanlagen

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden ausgehend von einer Publikation aus der Schweiz (Müller *et al.*, 1994) im weiteren auch in Deutschland vermehrt Augenmerk auf den Energieverbrauch von Abwasserreinigungsanlagen gelegt.

In der Folge wurden zahlreiche Arbeiten über den Energieverbrauch von Kläranlagen durchgeführt, in denen einerseits

- der derzeitige Energieverbrauch, andererseits
- die Vorgangsweise bei Erhebungen des Energieverbrauchs, sogenannten „Energieanalysen“, sowie
- Maßnahmen für Energieeinsparungen (zur „Energieoptimierung“)

behandelt werden.

Eine Aufstellung der entsprechenden Arbeiten wurde bereits an anderer Stelle vorgenommen (Nowak, 2000).

Ausgehend von den Arbeiten aus der Schweiz wurde vom Ingenieurbüro für Elektrotechnik - AEC (Dipl.-Ing. Hermann Agis) ein Projekt initiiert, mit dem Ziel eine möglichst standardisierte und effiziente Energieanalyse und Energieoptimierung von Kläranlagen auch in Österreich einzuführen.

Im ersten Teil eines Pilotprojekts über „Energieoptimierung von Kläranlagen“ wurde an 5 kommunalen Kläranlagen vom AEC eine Methodik zur Energieanalyse und -optimierung erprobt, wobei vom Institut für Wassergüte der TU Wien die abwassertechnisch-wissenschaftliche Begleitung übernommen wurde. Die Aufgabe des Instituts für Wassergüte bestand dabei vor allem in der Beurteilung der Plausibilität der Messdaten sowie in der Festlegung von relevanten abwassertechnischen Kenn- bzw. Bezugsgrößen.

Im Pilotprojekt - Teil II, welches nunmehr abgeschlossen ist, wurden danach

- im Sinne eines „Benchmarkings“ abgesicherte Sollwerte für den Energieverbrauch erarbeitet, sowie
- generelle Aussagen über die Energieeffizienz und das Potential zur Energieoptimierung österreichischer Kläranlagen getroffen.

Um diese Fragestellungen klären zu können, sollten 8 „sehr energieeffiziente“ Anlagen sowie 8 Anlagen mit geringerer Energieeffizienz im Detail untersucht werden, d.h. einer vertieften Prüfung unterzogen. Um zu diesen 8 „sehr energieeffizienten“ Anlagen zu gelangen, war es im Vorfeld erforderlich, eine „Grobbeurteilung“ einer großen Zahl von Anlagen vorzunehmen.

Die Methodik der Energieanalyse sowie die Ergebnisse der Untersuchungen aus der Sicht des Energietechnikers wurden zuvor bereits im Detail beschrieben (Agis, 2002).

Die Betriebsdaten der Kläranlagen, die danach energiemäßig im Detail untersucht werden sollten, waren auch abwassertechnisch einer detaillierten Untersuchung zu unterziehen, da nur mit abgesicherten Belastungsdaten (= Zulauffrachten) abgesicherte Kennzahlen über den Energieverbrauch der einzelnen Anlagen ermittelt werden können. In einen Parameter „spezifischer Energieverbrauch“ (in kWh/(EW.a)) geht in gleicher Weise der Energieverbrauch (kWh/a) wie die Anlagenbelastung (EW) ein!

Die Aufgaben des Instituts für Wassergüte der TU Wien im Rahmen dieses Projekts bestanden somit, jeweils aus abwassertechnischer Sicht, in

- der Erarbeitung eines detaillierten Fragebogens (gemeinsam mit AEC) einschließlich der Auswahl der zur Mitarbeit einzuladenden Kläranlagen,
- der Grobbewertung der Kläranlagen, die sich an diesem Projekt beteiligt haben, d.h. den Fragebogen beantwortet haben, sowie in
- einer vertiefteren Prüfung der Plausibilität der Belastungsdaten der Kläranlagen, die aufgrund der Angaben im Fragebogen als „potenziell energieeffizient“ zu betrachten waren, und in einer detaillierten Überprüfung der Plausibilität der Zulauffrachten der Anlagen, die auch energietechnisch im Detail untersucht wurden.

An dieser Stelle wäre darauf hinzuweisen, dass bei Benchmarking-Projekten generell der Ausarbeitung eines wohlüberlegten Fragebogens besondere Bedeutung zukommt. Die Erfahrungen aus der Erstellung des Fragebogens für das Projekt Energieoptimierung waren dann auch bei der Erarbeitung des Fragebogens für das (Kosten-)Benchmarking-Projekt von großem Nutzen.

Darüber hinaus sollten vom Institut für Wassergüte Aussagen darüber getroffen werden, ob die vom AEC vorgeschlagenen Maßnahmen zur Energieoptimierung aus abwassertechnischer Sicht vertretbar sind, d.h. mit Sicherheit keine Verschlechterung der Reinigungsleistung befürchten lassen.

2 Grobbewertung aus abwassertechnischer Sicht

2.1 Schaffung der Datenbasis

Zur Mitarbeit am Projekt wurden im Allgemeinen vornehmlich solche Kläranlagen eingeladen, die entweder als Belebungsanlagen ohne Vorklärung und ohne (beheizte) Schlammfäulung oder als Belebungsanlagen mit Vorklärung und beheizter Schlammfäulung betrieben werden. Die überwiegende Zahl der österreichischen kommunalen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von größer 3.000 EW fällt in eine dieser beiden Kategorien. Ferner wurde darauf verzichtet, Anlagen anzuschreiben, welche bekanntermaßen eindeutig nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen, bzw. solche, die erst vor kurzem in Betrieb genommen wurden.

Insgesamt wurden 457 kommunale Kläranlagen zur Teilnahme an diesem Projekt eingeladen. Von 178 Anlagen wurde der ausgefüllte Fragebogen zurückgesendet, wobei 69 Anlagen der Kategorie „Belebungsanlage mit Fäulung“ und dementsprechend 109 Anlagen der Kategorie „Belebungsanlage ohne Fäulung“ zuzuordnen waren.

Schließlich wurden folgende 4 Kategorien eingeführt: Belebungsanlagen ohne Fäulung mit 3.000 bis 10.000 EW, bzw. mit 10.001 bis 50.000 EW-Ausbau, Belebungsanlagen mit Schlammfäulung mit 10.001 bis 50.000 EW, sowie mit mehr als 50.000 EW Ausbaugröße.

Grundsätzlich wurde danach getrachtet, bei den Kläranlagen „ohne Fäulung“ vor allem Belebungsanlagen mit gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung (d.h. ohne Vorklärung) und bei denen „mit Fäulung“ Belebungsanlagen mit Vorklärung und beheizter Schlammfäulung zu erfassen. Es wurden allerdings auch Anlagen mit davon abweichenden Verfahrensweisen angeschrieben und diese wurden auch in den Datenauswertungen miterfasst. Bei den Anlagen „ohne Fäulung“ sind dies vor allem SBR-Anlagen bzw. Anlagen mit getrennter aerober Schlammstabilisierung, sowie Abwasserteichanlagen. Bei den Anlagen „mit Fäulung“ handelt es sich dabei vornehmlich um zweistufige biologische Verfahrensweisen, z.B. mit einer vorgeschalteten hochbelasteten Belebungsstufe

(z.B. A-B-Anlagen) oder mit einem vorgeschalteten Tropfkörper, der dann meist zur Reinigung von industriellen Abwässern dient (zumeist Brauereiabwasser).

Festzuhalten ist, dass diese Anlagen mit abweichenden Verfahrensweisen bei der statistischen Auswertung zu keiner nennenswerten Veränderung des Gesamtbildes führten. Ein interner Vergleich hat ergeben, dass Anlagen nach vergleichbaren abweichenden Verfahren im Vergleich zueinander häufig auch einen recht unterschiedlichen spezifischen Energieverbrauch aufweisen. Dies hat sich bei der Grobwertung beim energiemäßigen Vergleich von unterschiedlichen A-B-Anlagen bzw. bei Belebungsanlagen mit einem vorgeschalteten Tropfkörper, jeweils zur Reinigung von Brauereiabwasser, gezeigt.

Insgesamt kann demnach davon ausgegangen werden, dass die biologischen Abwasserreinigungsanlagen mit abweichenden Verfahrensweisen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs im gleichen Bereich liegen, der sich für die hier zu untersuchenden Verfahrensweisen („Belebungsanlage mit gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung“ bzw. „Belebungsanlage mit Vorklärung und beheizter Schlammfäulung“) ergeben hat.

2.2 Datenqualität und Festlegung der Bezugsgröße EW_{CSB110}

Für die Grobbewertung wurde einerseits

- ein Bewertungsschema für die „Datenqualität“ (im wesentlichen basierend auf der Qualität der abwassertechnischen Betriebsdaten) und andererseits
- der Parameter EW_{CSB110} als Bezugsgröße

festgelegt.

Im Zuge der Festlegung der Bezugsgröße EW_{CSB} wurde die Datenqualität mit den Ziffern 0 bis 5 beurteilt. Anlagen mit Datenqualität 0 (= „Daten sind sehr unsicher“ bzw. (sehr) unvollständig) wurden in die weitere Auswertung nicht einbezogen. „Datenqualität 5“ (Fehlerbereich unzweifelhaft $< \pm 10\%$) konnte bei der Grobbewertung nicht vergeben werden. Im weiteren wurde versucht, mittels detaillierter Untersuchungen über Massenbilanzen der für die Feinanalyse vorgesehenen 8 „sehr energieeffizienten“ Anlagen dafür zu sorgen, dass diesen Anlagen danach „Datenqualität 5“ attestiert werden kann. Dies ist leider nicht in allen Fällen gelungen. Insbesondere bei den kleineren Anlagen hat sich rasch

gezeigt, dass die angegebenen Zulauffrachten häufig mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind. Außerdem sind die Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung bei Anlagen mit gleichzeitiger aerober Stabilisierung im Vergleich zu Anlagen mit Schlammfäulung stark eingeschränkt. Zudem ist es bei Anlagen, die über keine Basis an zuverlässigen Daten verfügen, unmöglich, nachträglich Belastungswerte zu „ermitteln“, welche als „in hohem Maße abgesichert“ angesehen werden können. Hier kann allenfalls eine Abschätzung einer „anzunehmenden Belastung“ erfolgen.

Mit der Festlegung der Bezugsgröße auf Basis des Parameters CSB wurde postuliert, dass die organische Zulauffracht die entscheidende Größe für den Energieverbrauch darstellt. Dies wird im Folgenden allerdings noch diskutiert.

Zur Festlegung der Höhe der spezifischen CSB-Fracht im Zulauf wurde das Verhältnis CSB/BSB₅ aus den mittleren Jahresfrachten herangezogen, wobei nur die Werte der Anlagen mit einer Ausbaugröße von ≥ 15.000 EW, denen eine Datenqualität von mindestens 2 attestiert wurde, verwendet wurden. Für diese Anlagen ergab sich auf der Basis einer spezifischen BSB₅-Fracht im Zulauf von 60 g/(EW.d) die in Abbildung 1 dargestellte Verteilung der spezifischen CSB-Fracht mit einem arithmetischen Mittel von 112,3 g CSB/(EW.d) und einem Median von 108,5 g/(EW.d), wobei davon ausgegangen werden muss, dass auch bei diesen Anlagen nicht in allen Fällen die Analysenwerte der Realität entsprechen. Bleibt anzumerken, dass sich bei einer ähnlichen Auswertung von Zulaufdaten von norditalienischen Kläranlagen Werte für die spezifische CSB-Fracht von im Mittel zwischen 110 und 115 g/(EW.d) ergaben (Andreottola *et al.*, 1994).

Es erschien daher gerechtfertigt, abweichend von ATV-Arbeitsblatt A131, in dem eine spezifische CSB-Fracht von 120 g/(EW.d) postuliert wird, den weiteren Auswertungen einen Wert von 110 g CSB/(EW.d) zugrunde zu legen.

Auf der Basis dieses Wertes von 110 g CSB/(EW.d) ergab sich aus den Betriebsdaten der gleichen Anlagen für das N/CSB-Verhältnis im Rohabwasser ein arithmetisches Mittel für die spezifische Fracht an Gesamt-Stickstoff von 9,3 g N/(EW.d) und für die spezifische Phosphorfracht von 1,53 g P/(EW.d). Dies entspricht einem N/CSB-Verhältnis im Rohabwasser von 0,085 und einem P/CSB-Verhältnis von 0,014.

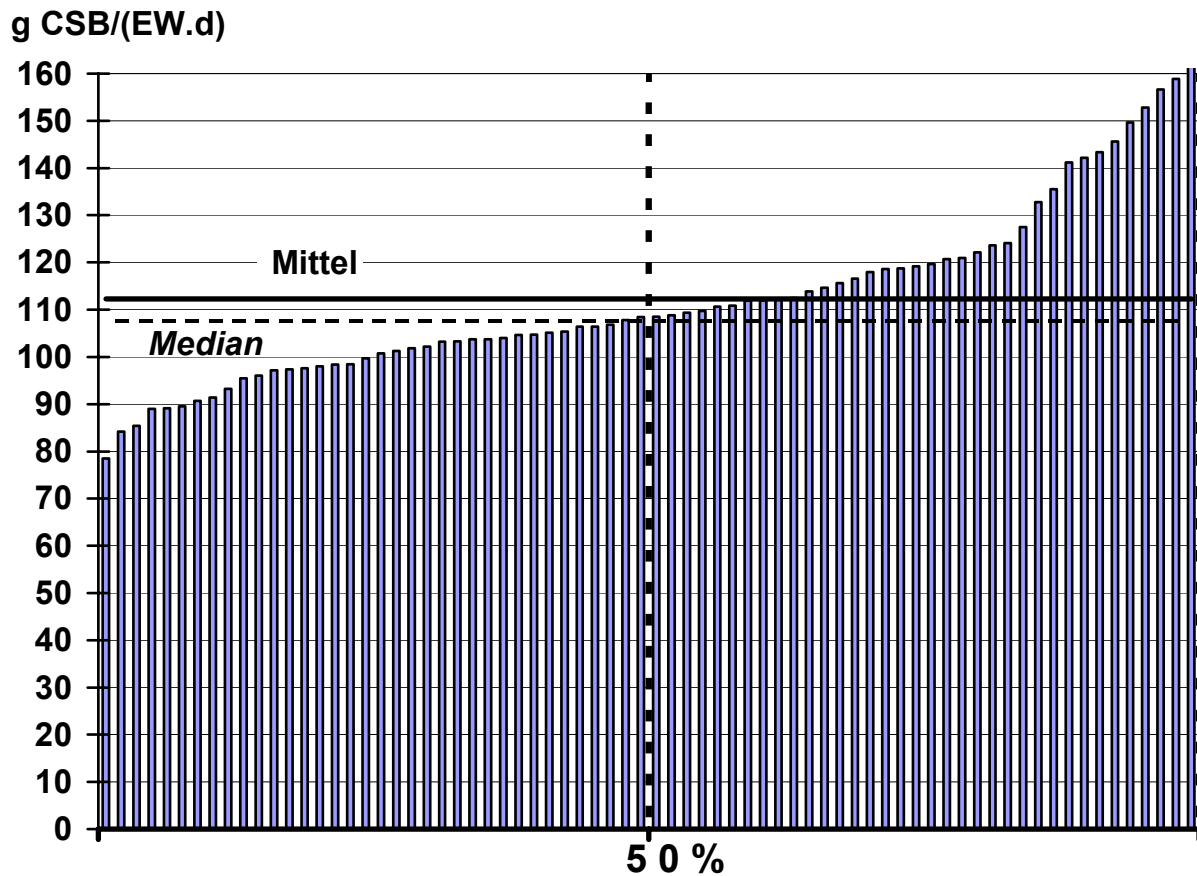


Abbildung 1: Verteilung der Werte für die spezifische CSB-Fracht basierend auf einem Wert von $60 \text{ g BSB}_5/(\text{EW.d})$ von 72 österreichischen kommunalen Kläranlagen mit ausreichender Datenqualität und einer Ausbaugröße $\geq 15.000 \text{ EW}$

2.3 Energieverbrauch und Reinigungsleistung

Im Zuge der Grobbewertung wurde im Weiteren untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Energieverbrauch und der Ablaufqualität der Anlagen besteht. In den folgenden Abbildungen ist der Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie bezogen auf $\text{EW}_{\text{CSB110}}$ (in $\text{kWh}/(\text{EW.a})$) gegenüber den Ablaufkonzentrationen an $\text{NH}_4\text{-N}$, $(\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N})$ sowie an BSB_5 als Jahresmittelwert des Jahres 1998 jeweils für die Anlagen „ohne Faulung“ sowie „mit Faulung“ dargestellt. Dabei sind die einzelnen Anlagen entsprechend ihrer Zuordnung nach Klassen (Datenqualität 1 bis 4) gekennzeichnet. Zudem wurde bei den Anlagen „ohne Faulung“ zwischen den Anlagen mit einer Ausbaugröße von $\leq 10.000 \text{ EW}$ und solchen mit über 10.000 EW unterschieden. Die Anlagen „mit Faulung“ wurden in Anlagen mit $\leq 50.000 \text{ EW}$ Ausbaugröße und solche

mit über 50.000 EW unterteilt. Der Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie wurde vom AEC aus dem Bezug an Energie für Kraft und Licht zuzüglich dem Energiegewinn aus dem Faulgas, falls vorhanden, abzüglich der Rückspeisung von elektrischer Energie in das öffentliche Netz sowie abzüglich der Energie für das Abwasserhebewerk ermittelt.

Mehrere Anlagen ohne Faulung weisen einen noch höheren Verbrauch an elektro-mechanischer Energie auf als den in den Abbildungen generell für die Y-Achse gewählten Wert von 100 kWh/(EW.a). Allerdings wurde diesen Anlagen mit sehr hohem Energieverbrauch zuvor durchwegs ein niedriger Wert für die Datenqualität (1 oder 2) zugeordnet.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen, dass sowohl bei den Anlagen ohne Faulung als auch bei denen mit Faulung kein genereller Zusammenhang zwischen dem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert und dem Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie besteht. Anlagen mit hohem Energieverbrauch weisen zwar im allgemeinen einen niedrigen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert auf. Daraus kann jedoch weder eine generelle Regel abgeleitet werden, noch kann der Umkehrschluss gezogen werden, da nämlich in beiden Kategorien (mit und ohne Faulung) Anlagen mit geringem Energieverbrauch und hoher Datenqualität von (3 bis) 4 zu finden sind, bei denen gleichzeitig eine weitestgehende Nitrifikation zu verzeichnen ist. Generell zeigt sich eine leichte Tendenz hin zu niedrigeren Werten für den Energieverbrauch bei höheren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerten, insbesondere bei den Anlagen mit Schlammfaulung (Abbildung 3). Bei diesen gibt es 3 Anlagen mit einem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert von rund 15 mg/l im Jahresmittel. Diese Anlagen weisen demnach keine nennenswerte Nitrifikation auf. Daher tritt kein Sauerstoffverbrauch und folglich auch kein Energieverbrauch für die Nitrifikation auf. Dessen ungeachtet liegt der Energieverbrauch bei diesen Anlagen nicht viel niedriger als bei energieeffizienten Anlagen mit hoher Nitrifikationsleistung.

Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass aus der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentration als Jahresmittelwert keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob die 1. AEV hinsichtlich der Nitrifikation (Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ im Ablauf) eingehalten wird. Bei einem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert von kleiner 2 mg/l im Jahresmittel kann eine Einhaltung der Anforderungen bezüglich Nitrifikation allerdings vermutet werden. Zudem müssen auch die örtlichen Gegebenheiten, wie der Jahresverlauf der CSB- oder BSB₅-Belastung sowie die Abwassertemperatur, beachtet werden.

So kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Ablauftemperatur über längere Zeiträume hinweg unter 8° C liegt.

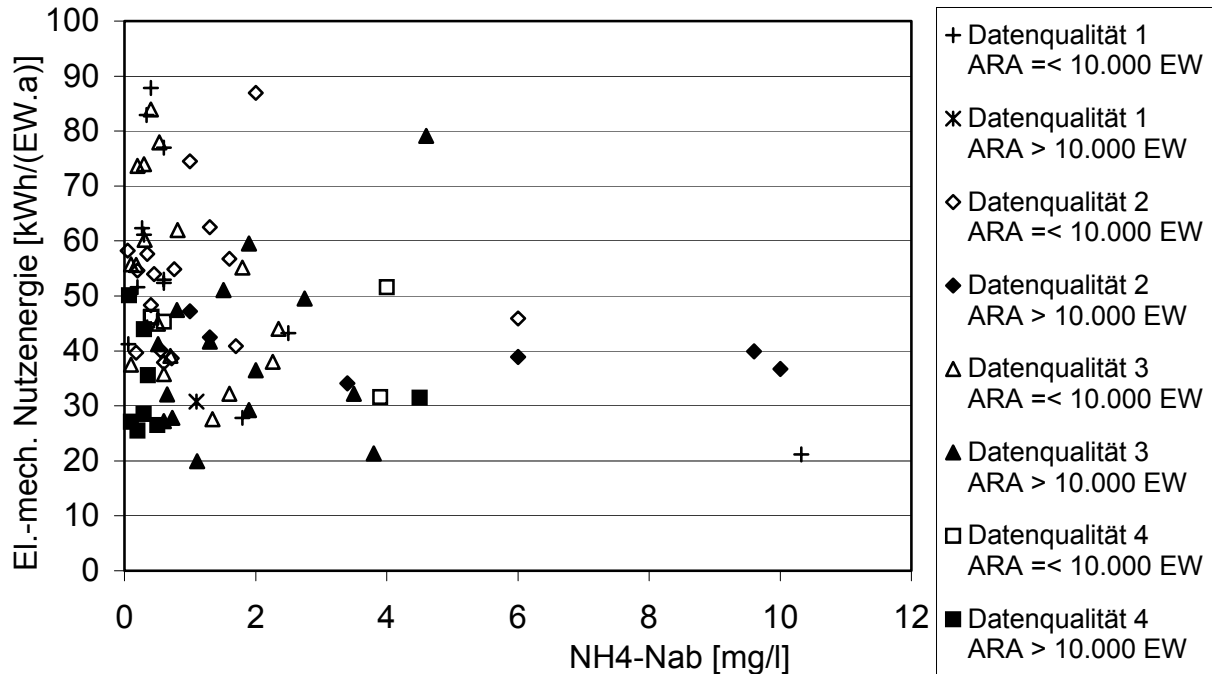


Abbildung 2: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der NH₄-N-Ablaufkonzentration (Jahresmittel 1998) bei Anlagen ohne Faulung

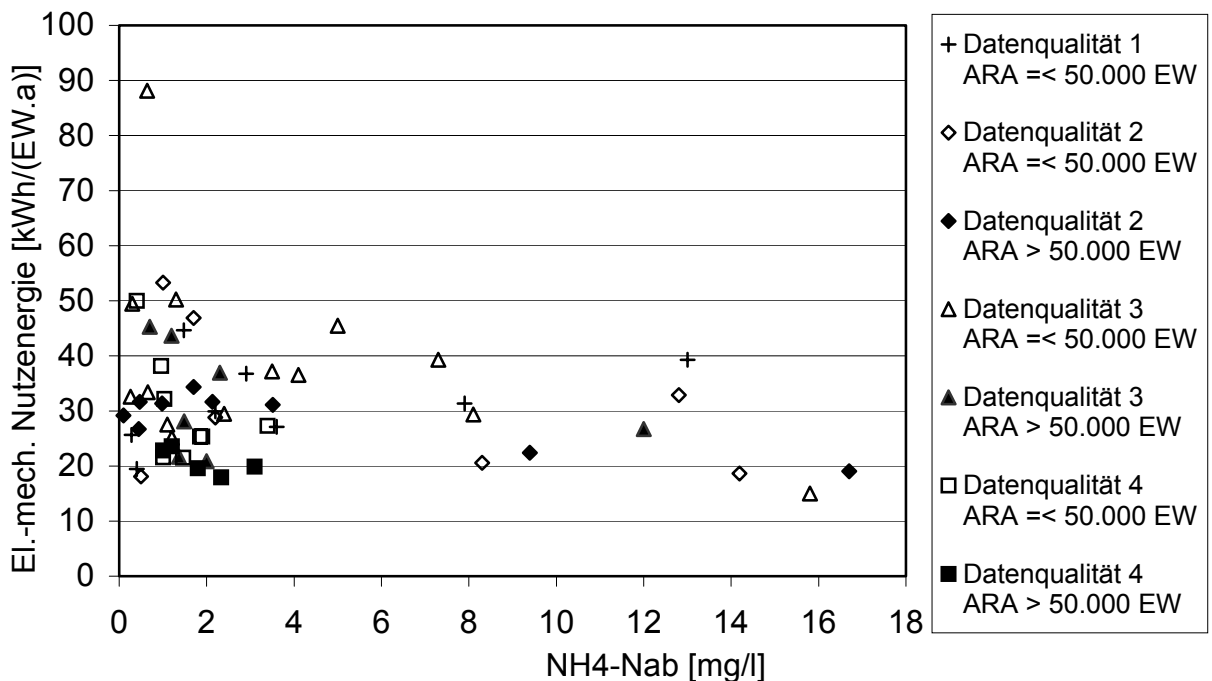


Abbildung 3: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der NH₄-N-Ablaufkonzentration (Jahresmittel 1998) bei Anlagen mit Faulung

In den Abbildungen 4 und 5 ist der Zusammenhang zwischen dem Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie und der Summe der Konzentrationen an Ammonium- und Nitratstickstoff im Ablauf dargestellt, welche als Anhaltspunkt für den Stickstoffentfernungsgrad dienen kann. Auch aus der Ablaufkonzentration an anorganischem Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) kann nicht darauf geschlossen werden, ob die Anforderungen der 1. AEV hinsichtlich Stickstoffentfernung eingehalten werden oder nicht. Da weder die Stickstoff-Zulaufkonzentrationen in jedem Fall bekannt sind, noch der Temperaturverlauf im Jahresgang, kann die Einhaltung eines Stickstoffentfernungsgrades von 70 % bei Ablauftemperaturen von größer 12°C bestenfalls abgeschätzt werden.

Aus den Abbildungen 4 und 5 wird ersichtlich, dass weder bei den Anlagen mit Faulung noch bei denen ohne Faulung ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und dem ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$)-Ablaufwert besteht. Bei den Anlagen ohne Faulung (Abbildung 4) fällt allerdings auf, dass Anlagen über 10.000 EW Ausbaugröße mit hoher Datenqualität von (3 bis) 4 und einem hohen Maß an Stickstoffentfernung (niedrigen ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$)-Ablaufwerten) häufig auch einen geringen Energieverbrauch aufweisen. Dies ist einerseits damit zu erklären, dass durch die Denitrifikation Sauerstoff für den Kohlenstoffabbau „zurückgewonnen“ wird, womit sich der Energieverbrauch vermindert. Andererseits wird allerdings für die Denitrifikation zusätzliches Belebungsbeckenvolumen erforderlich, welches umzuwälzen ist, wofür Rührenergie aufgewendet werden muss. Insgesamt deutet eine niedrige Konzentration an anorganischem Stickstoff im Ablauf auch auf eine gute Betriebsführung der Anlage hin, was sich auch in niedrigen Werten für den Energieverbrauch bemerkbar machen dürfte.

Ähnlich wie bei der Konzentration an anorganischem Stickstoff wurde weder bei der CSB- noch bei der BSB_5 -Konzentration im Ablauf keine deutliche Abhängigkeit zum Energieverbrauch festgestellt. In den Abbildungen 6 und 7 ist der Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie gegenüber der BSB_5 -Ablaufkonzentration aufgetragen.

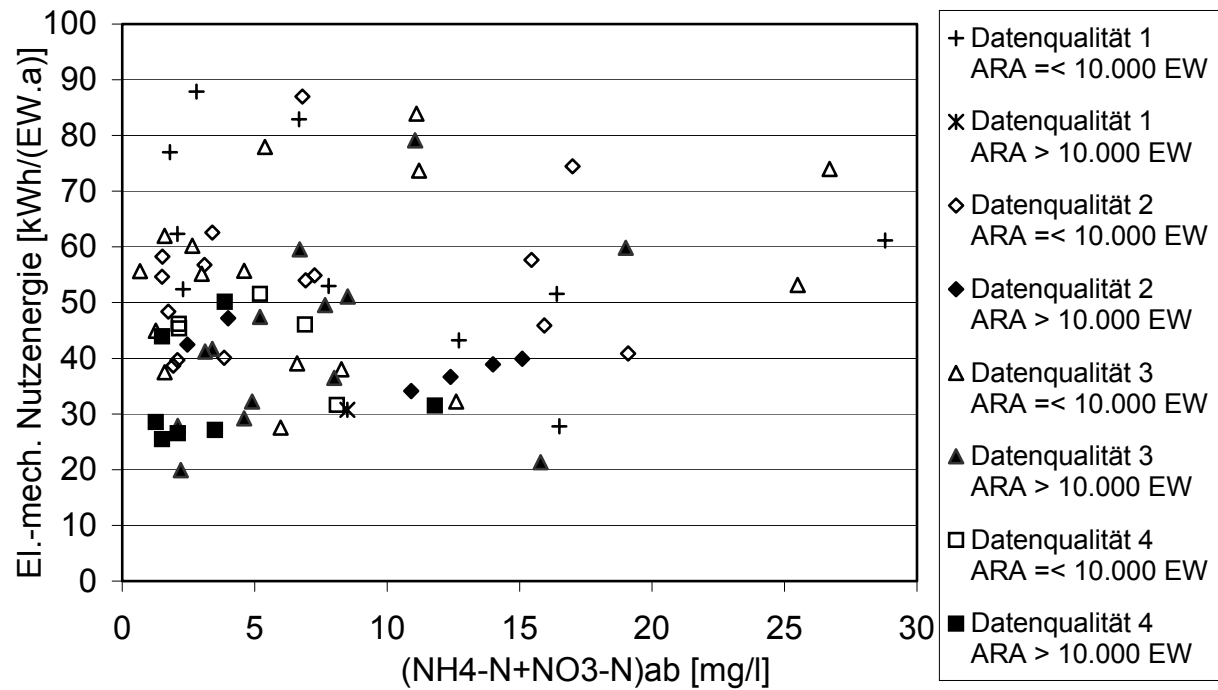


Abbildung 4: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der $(\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N})_{\text{ab}}$ -Konzentration im Ablauf (Jahresmittelwert 1998) bei den Anlagen ohne Faulung

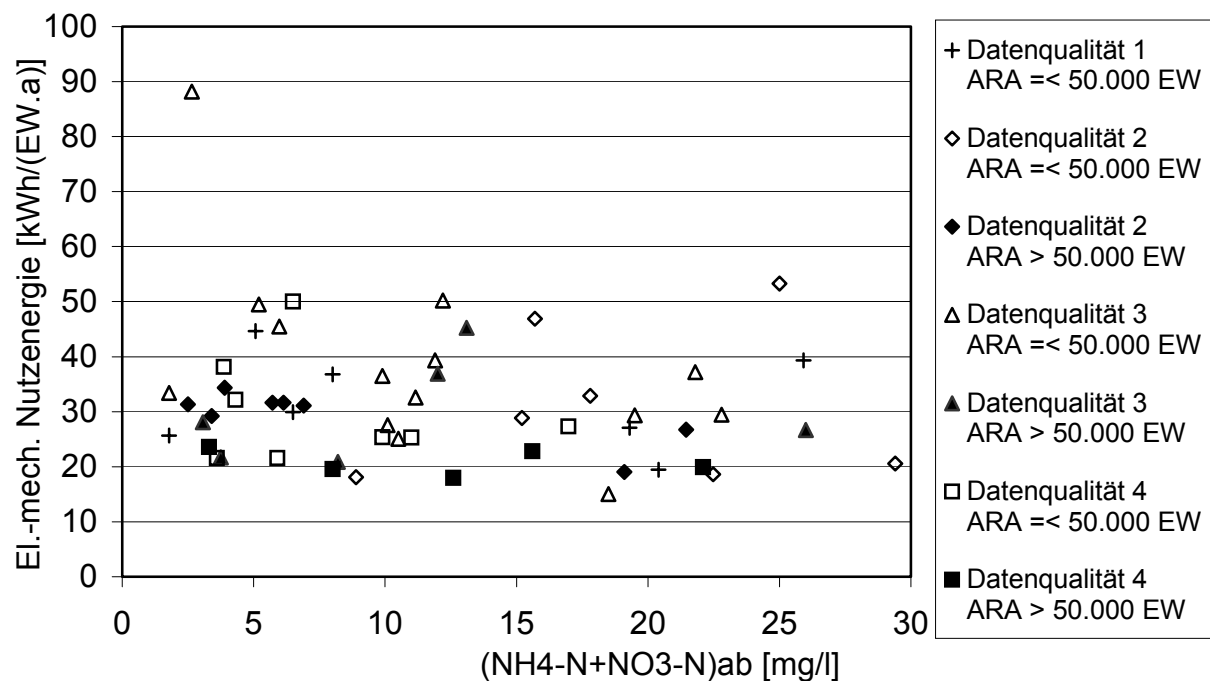


Abbildung 5: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der $(\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N})_{\text{ab}}$ -Konzentration im Ablauf (Jahresmittelwert 1998) bei den Anlagen mit Faulung

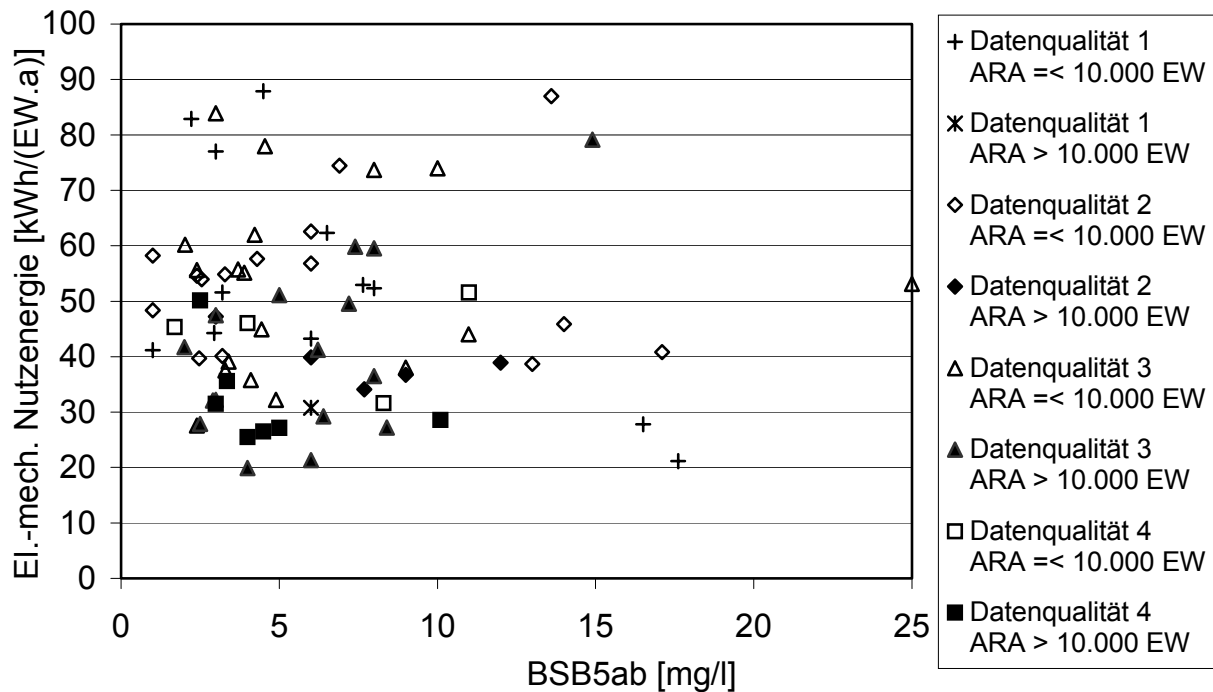


Abbildung 6: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der BSB₅-Ablaufkonzentration (Jahresmittel 1998) bei den Anlagen ohne Faulung

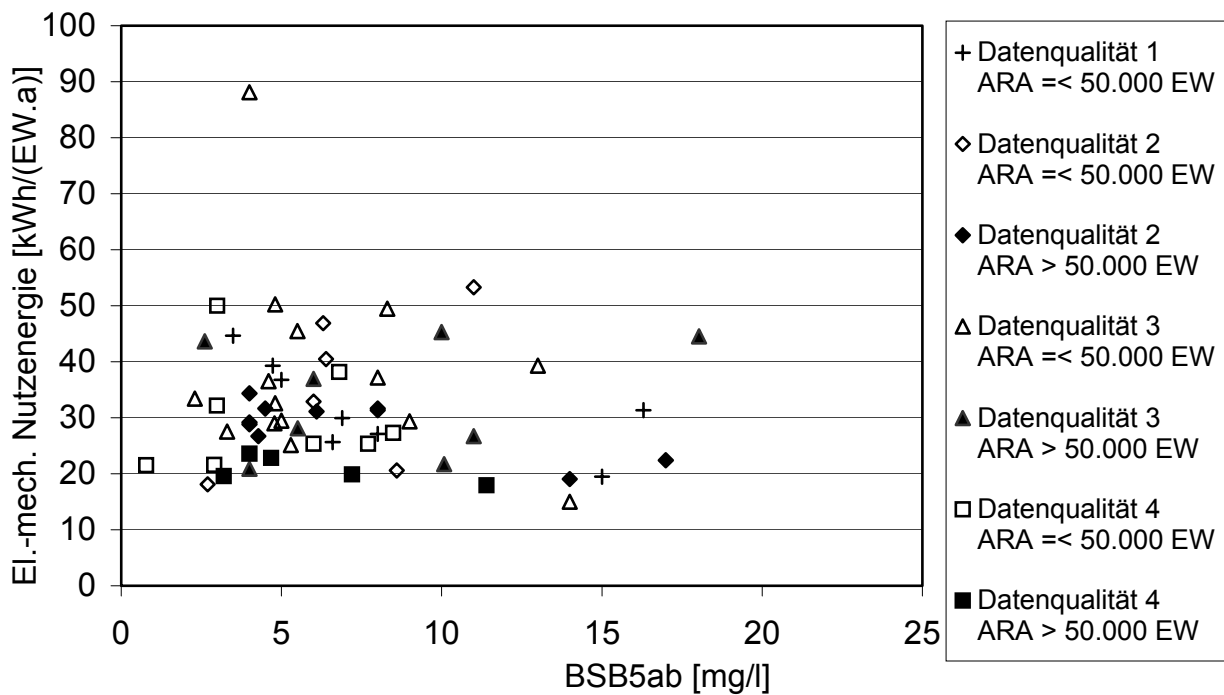


Abbildung 7: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit von der BSB₅-Ablaufkonzentration (Jahresmittel 1998) bei den Anlagen mit Faulung

Insgesamt konnte aus diesen Auswertungen abgeleitet werden, dass, wenn eine Anlage weitgehende Nitrifikation aufweist, kein deutlicher Zusammenhang zwischen den Ablaufwerten für alle durch die biologische Reinigung beeinflussbaren Parameter ($\text{NH}_4\text{-N}$, anorg. Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$), CSB sowie BSB_5) und dem Energieverbrauch besteht. Dessen ungeachtet besteht natürlich die Gefahr, dass durch eine vermeintlich energiesparende Betriebsweise durch Verminderung der Belüftung (unzureichende Sauerstoffzufuhr) erhöhte Ablaufwerte, insbesondere für $\text{NH}_4\text{-N}$, provoziert werden. Jedenfalls wird ersichtlich, dass durch solch ein Vorgehen (Sparen bei der Belüftungsenergie) keine deutliche Energieeinsparung erzielbar ist. Vielmehr sind andere Faktoren, wie die Effizienz und eine geeignete Regelung des Belüftungssystems sowie ein einfaches Verfahrensschema und ein zweckmäßiger Betrieb der Abwasserreinigungsanlage insgesamt, entscheidend, um den Energieverbrauch gering zu halten.

In den Abbildungen 8 und 9 ist schließlich der Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie gegenüber dem spezifischen Volumen des Belebungsbeckens bezogen auf die mittlere CSB-Belastung in $1/\text{EW}_{\text{CSB}}$ dargestellt.

Bei den Anlagen ohne Faulung (Abbildung 8) zeigt sich, dass über einem spezifischen Belebungsbeckenvolumen von $500 \text{ l}/\text{EW}$ keine energieeffizienten Anlagen mit einem Energieverbrauch von kleiner rund $30 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$ zu finden sind.

Bei den Anlagen mit Faulung (Abbildung 9) gibt es zwei mit jeweils unter 50.000 EW Ausbaugröße, die bei einem spezifischen Belebungsbeckenvolumen von unter $50 \text{ l}/\text{EW}$, einen Energieverbrauch von unter $20 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$ aufweisen. Dies sind Anlagen ohne nennenswerte Nitrifikation, weswegen der geringe Energieverbrauch bei diesen beiden Anlagen darauf zurückzuführen ist, dass für den Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation keine Energie aufgewendet werden muss. Im Bereich zwischen 50 und $200 \text{ l}/\text{EW}$ an spezifischen Beckenvolumen ist kein Zusammenhang zwischen dem spezifischen Volumen des Belebungsbeckens und dem Energieverbrauch erkennbar. Bei den Anlagen mit Faulung sind bei einem spezifischen Belebungsbeckenvolumen von über $200 \text{ l}/\text{EW}$ keine Anlagen zu finden, die im energieeffizienten Bereich liegen, welcher bei den Kläranlagen mit Faulung von etwa 18 bis $25 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$ reicht.

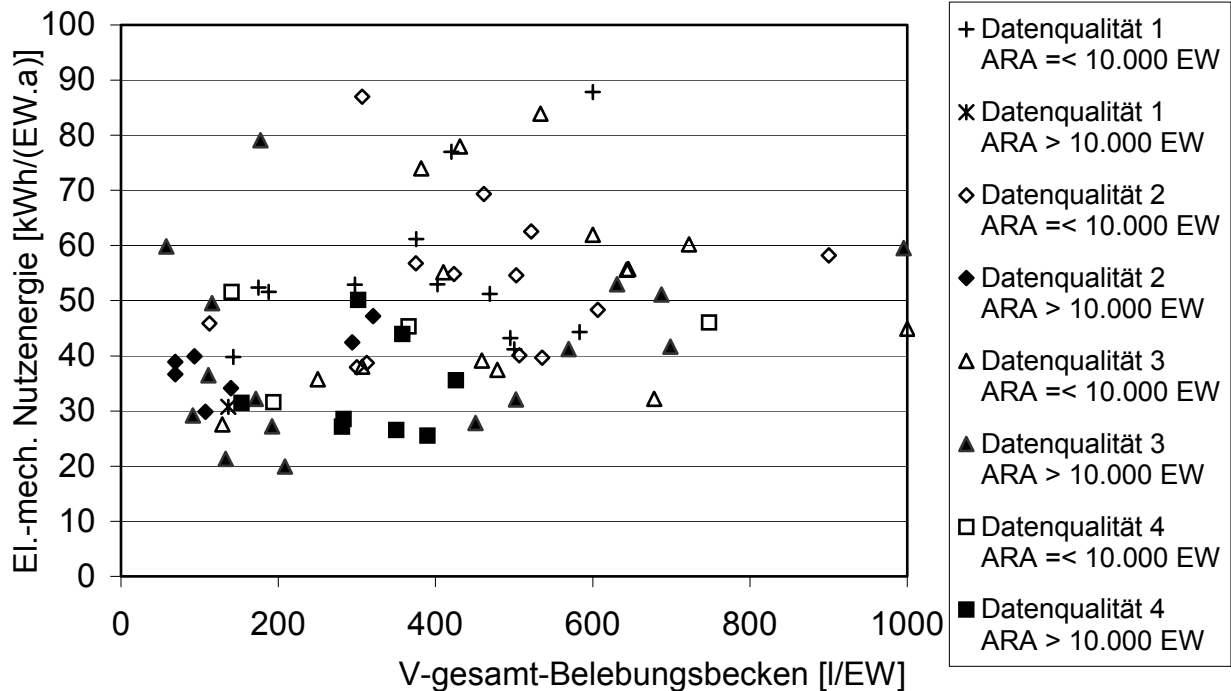


Abbildung 8: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit vom spezifischen Volumen des Belebungsbeckens [l/EW_{CSB}] bei den Anlagen ohne Faulung

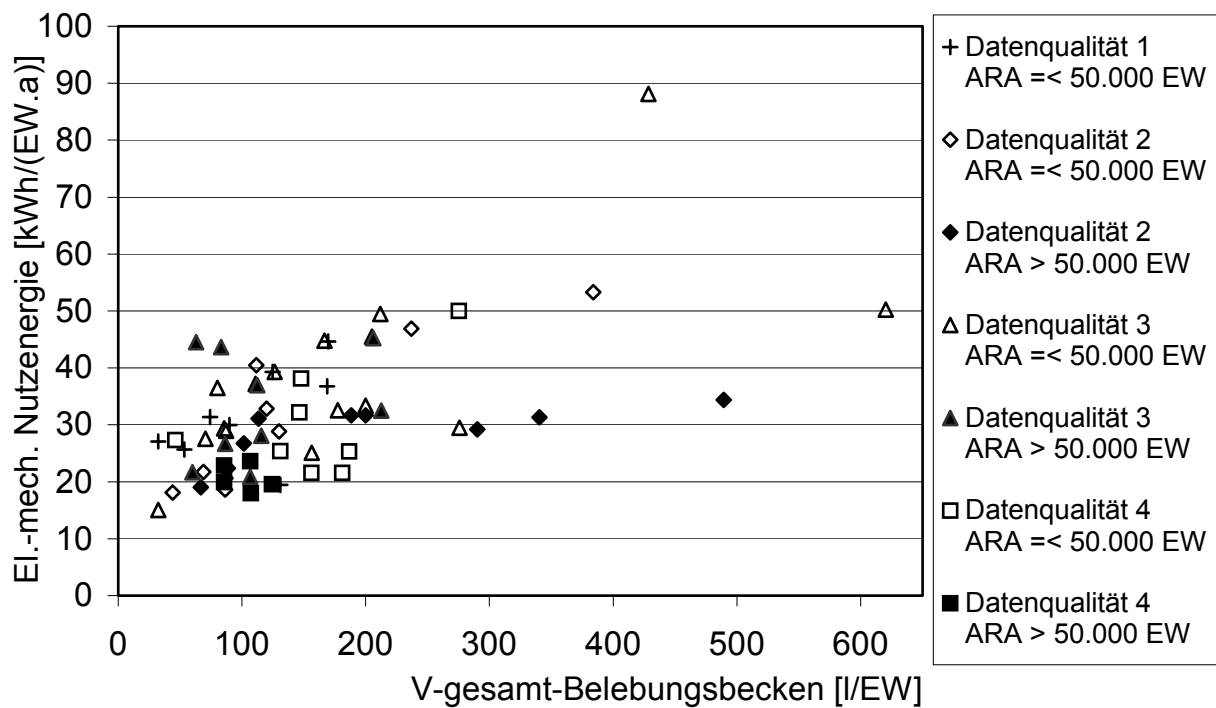


Abbildung 9: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie in Abhängigkeit vom spezifischen Volumen des Belebungsbeckens [l/EW_{CSB}] bei den Anlagen ohne Faulung

Der erhöhte Energiebedarf bei Anlagen mit einem spezifisch großen Belebungsbeckenvolumen von über 400 bis 500 l je EW mittlerer Belastung bei Anlagen mit gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung bzw. von über 200 l je EW mittlerer Belastung bei Belebungsanlagen mit beheizter Schlammfäulung ist vermutlich – zumindest teilweise – auf den Einfluss des erhöhten Bedarfs an Rührenergie für die Umwälzung des Belebungsbeckens zurückzuführen, welcher bislang in der Praxis eher unterschätzt wurde.

Insgesamt fällt bei den Abbildungen zu den Anlagen ohne Fäulung auf, dass die Anlagen mit bis zu 10.000 EW Ausbaugröße im Schnitt eine merklich höheren Energieverbrauch aufweisen. Bei den Anlagen mit Fäulung ist der Unterschied im Energieverbrauch zwischen den Anlagen unter und über 50.000 EW nicht so deutlich ausgeprägt.

In Abbildung 10 ist schließlich das Jahresmittel der NH₄-N-Ablaufkonzentration von den Anlagen mit Fäulung gegenüber dem spezifischen Volumen des Belebungsbeckens aufgetragen, wobei nur die Ergebnisse von Anlagen mit Datenqualität 3 oder 4 dargestellt wurden.

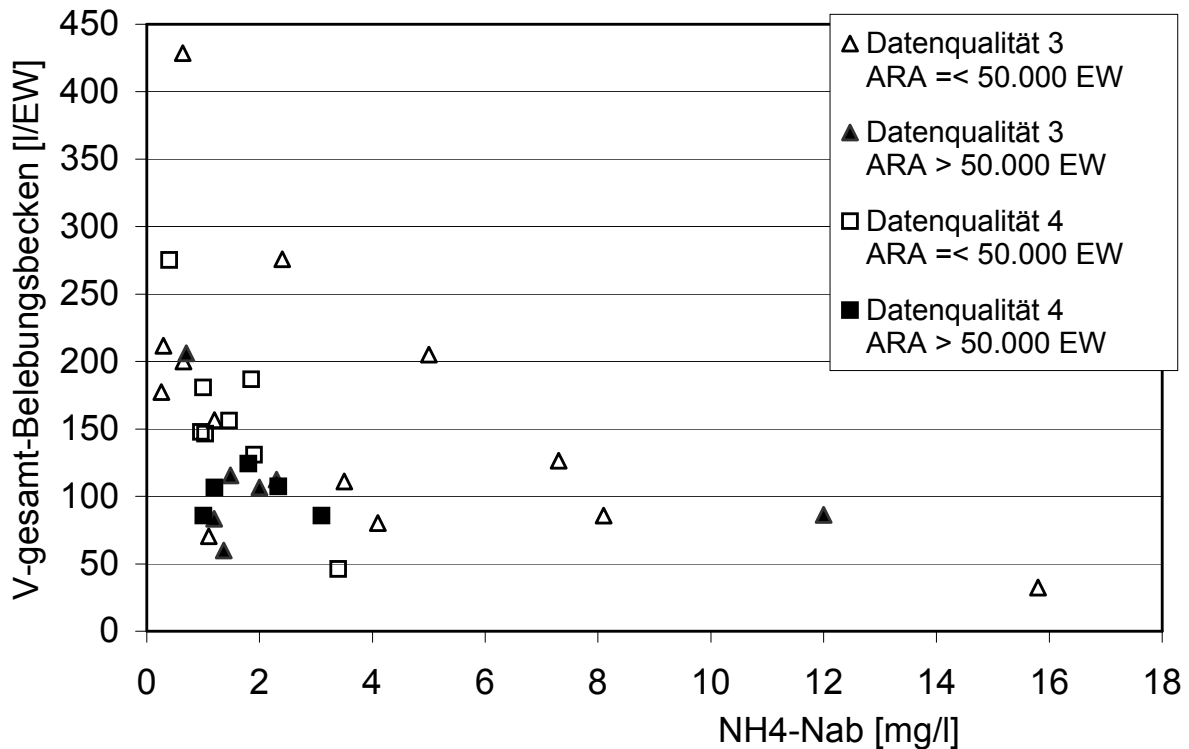


Abbildung 10: Spezifisches Volumen des Belebungsbeckens [l/EW_{CSB}] in Abhängigkeit von der NH₄-N-Ablaufkonzentration (Jahresmittelwert 1998) bei Anlagen mit Fäulung

Es zeigt sich, dass einige Anlagen mit einem spezifischen Belebungsbeckenvolumen von unter 100 l/EW einen Jahresmittelwert von unter 2 mg NH₄-N/l im Ablauf und demnach vollständige Nitrifikation aufweisen (Abbildung 10). Um dies zu erreichen, ist ein äußerst umsichtiger und von einem hohen Maß an Wissen und Erfahrung geprägter Anlagenbetrieb erforderlich. Es fällt aber auch auf, dass von einigen wenigen Anlagen mit einem vermeintlich ausreichenden Belebungsbeckenvolumen keine stets vollständige Nitrifikation erzielt wird. So weist eine Anlage mit einem spezifischen Belebungsbeckenvolumen von 200 l/EW einen NH₄-N-Ablaufwert im Jahresmittel von 5 mg/l auf.

3 Der Einfluss der Abwasserzusammensetzung auf den Energieverbrauch

3.1 Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs mit den Bezugsgrößen EW_{CSB} bzw. EW_N

Beim Kosten-Benchmarking hat sich herausgestellt, dass sich für die Betriebskosten der Abwasserreinigung sowohl EW_{CSB} als auch EW_N als Bezugsgröße eignen (Lindtner *et al.*, 2002). Um zu untersuchen, ob auch beim Energieverbrauch die Stickstofffracht ebenso wie die CSB-Zulauf fracht geeignete Bezugsgrößen sind, wird mit den folgenden Abbildungen der spezifische Energieverbrauch der Anlagen mit Schlammfäulung und hoher Datenqualität (3 oder 4) bezogen auf EW_{CSB} (Abbildung 11) mit den Werten, die sich aus dem Bezug auf EW_N (Abbildung 12) ergeben, verglichen. Diese Werte für den spezifischen Energieverbrauch in kWh/(EW_{CSB}.a) bzw. in kWh/(EW_N.a) sind dem N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur Anlage (auf der X-Achse) gegenübergestellt. In diesen beiden Abbildungen ist der Energieverbrauch – wie in den Abbildungen 2 bis 9 – als Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie dargestellt.

Die punktierte senkrechte Linie in den Abbildungen 11 und 12 zeigt, bei welchem Wert für das N/CSB-Verhältnis der spezifische Energieverbrauch beim Bezug auf EW_{CSB} gleich ist wie beim Bezug auf EW_N. Dies ist bei einem Wert von 0,10 g N/g CSB im Zulauf der Fall, da von spezifischen Frachten von 110 g CSB/(EW.d) und 11 g N/(EW.d) ausgegangen wurde. Werte für den

spezifischen Energieverbrauch von Anlagen mit einem niedrigeren N/CSB-Verhältnis (als 0,10) erhöhen sich durch den Bezug auf EW_N gegenüber dem auf EW_{CSB} . Liegt das N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur ARA über 0,10, so vermindert sich der errechnete spezifische Energieverbrauch bei einem Bezug auf EW_N (vgl. Abbildungen 11 und 12).

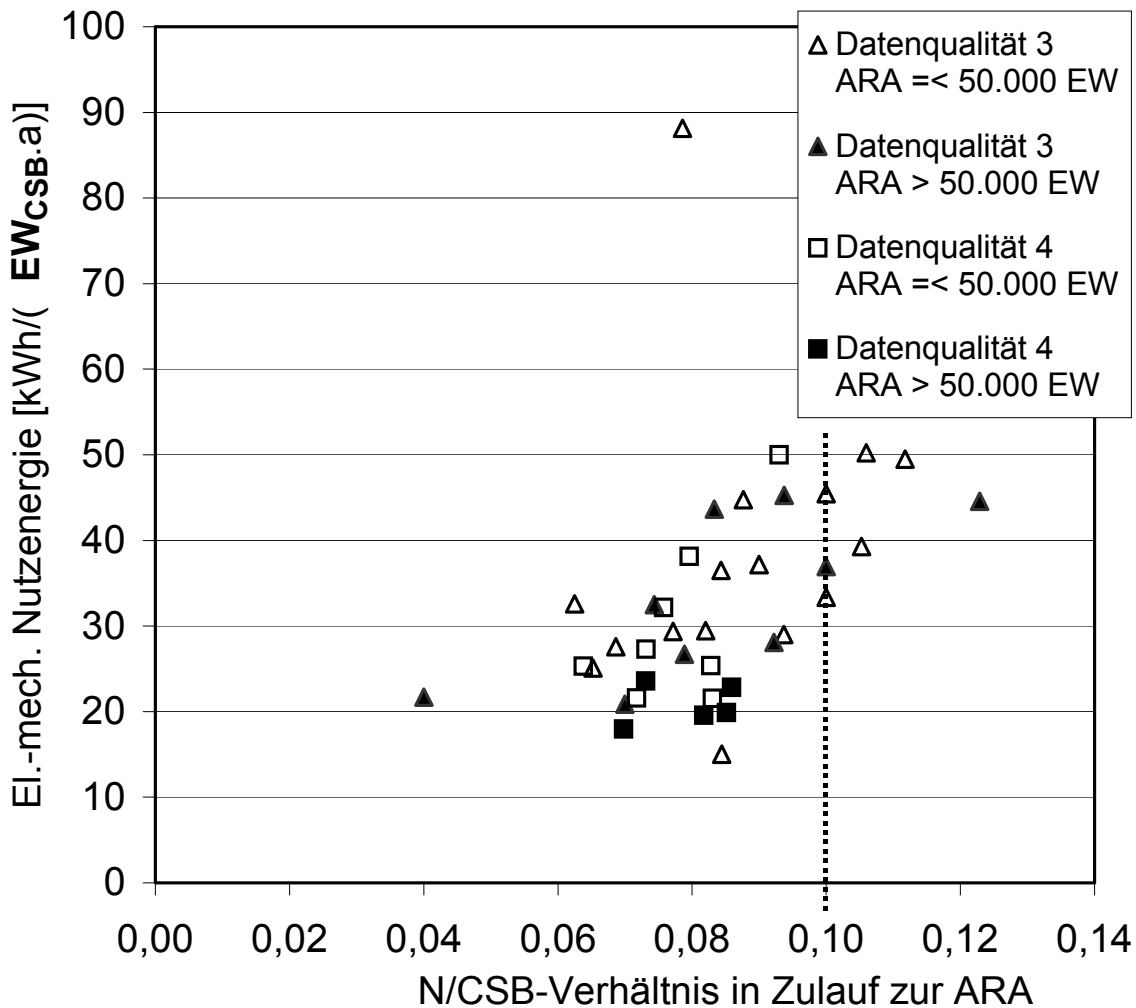


Abbildung 11: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie bezogen auf die organische Zulauffracht mit 110 g CSB/(EW.d) bei den Anlagen ohne Faulung in Abhängigkeit vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur ARA

Abbildung 11 zeigt, dass der spezifische Energieverbrauch bezogen auf EW_{CSB} mit steigendem N/CSB-Verhältnis deutlich ansteigt. Bei einem N/CSB-Verhältnis von 0,10 und darüber liegt der spezifische Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie deutlich höher als bei einem N/CSB-Verhältnis im Bereich von etwa 0,06 bis 0,07. Ohne dem einen extrem hohen Wert von knapp

90 kWh/(EW_{CSB.a}) liegt der spezifische Energieverbrauch der in Abbildung 11 dargestellten Anlagen bei 32 kWh/(EW_{CSB.a}).

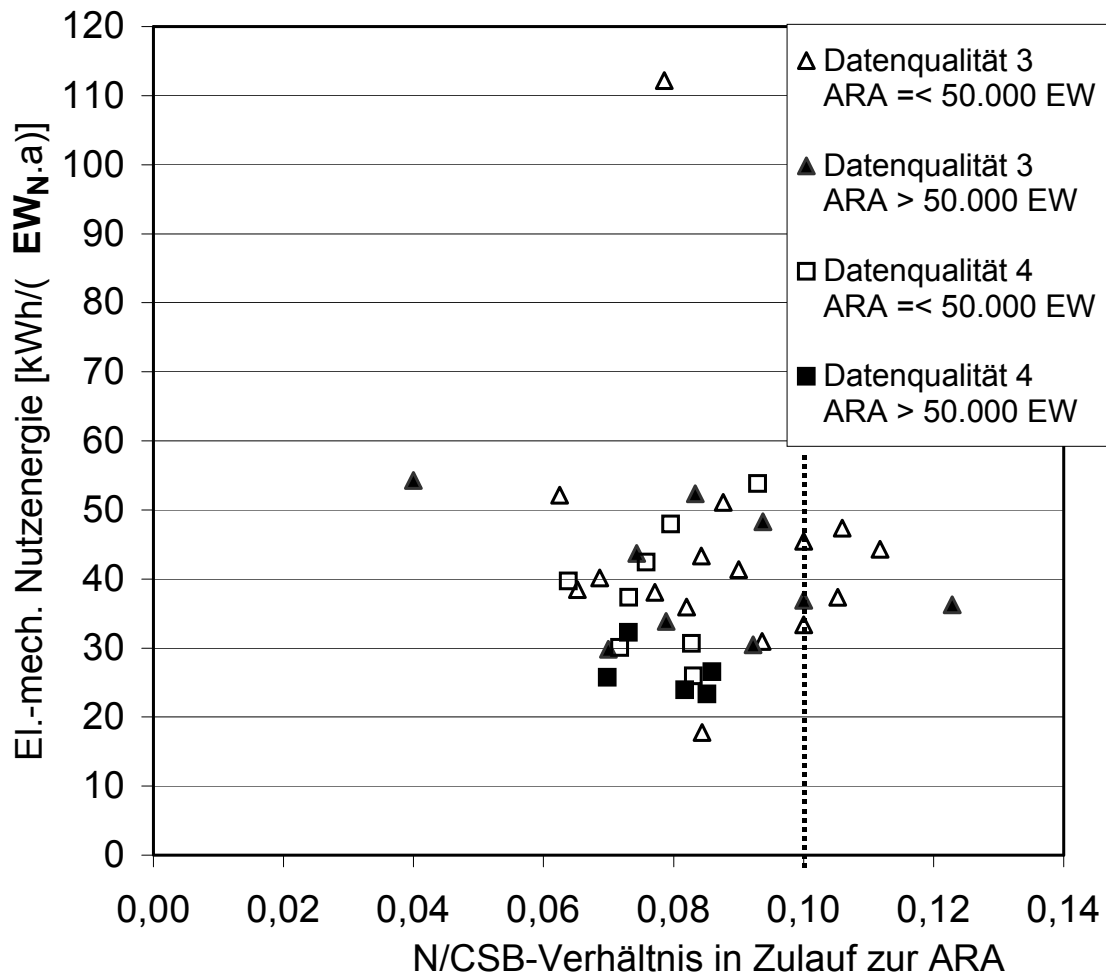


Abbildung 12: Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie bezogen auf die Stickstoff-Zulauffracht mit 11 g N/(EW.d) bei den Anlagen ohne Faulung in Abhängigkeit vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur ARA

Bei einem Bezug auf EW_N (Abbildung 12) hingegen zeigt sich nur eine geringe Abhängigkeit des spezifischen Energieverbrauchs vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur Kläranlage. Bezogen auf EW_N mit 11 g N/(EW.d) liegt der spezifische Verbrauch an elektro-mechanischer Nutzenergie im Mittel bei 38 kWh/(EW_{N.a}), wiederum ohne Berücksichtigung des einen extrem hohen Werts von nunmehr rund 110 kWh/(EW_{N.a}). Lediglich bei den 2 Kläranlagen mit den niedrigsten Werten für das N/CSB-Verhältnis im Zulauf (von 0,04 bzw. 0,06) liegt der spezifische Energieverbrauch nun über 50 kWh/(EW_{N.a}) und somit deutlich über dem Mittelwert.

Letztlich deutet dieser mit den beiden Abbildungen 11 und 12 vorgenommene Vergleich des Bezugs des spezifischen Energieverbrauchs auf EW_N bzw. EW_{CSB} darauf hin, dass die Stickstoff-Zulaufkraft als Bezugsgröße zumindest ebenso geeignet ist wie die CSB-Zulaufkraft und möglicherweise sogar die geeignetere Bezugsgröße für den Energieverbrauch darstellt.

3.2 Theoretische Überlegungen zum Energieverbrauch

Um zu überprüfen, welcher der beiden Parameter (EW_N oder EW_{CSB}) nun als die geeignetere Bezugsgröße anzusehen ist, werden nun im weiteren theoretische Überlegungen zum Energieverbrauch angestellt. Diese Überlegungen dienen letztlich zur Abschätzung des im Minimum „notwendigen“ Bezugs (Zukaufs) an elektro-mechanischer Energie vom EVU. Dabei ist unter elektro-mechanischer Energie einerseits elektrische Energie (Strom) zu verstehen und andererseits – bei zusätzlicher Nutzung von Primärenergieträgern (z.B. Erdgas) zur Erzeugung von Strom (im BHKW) oder von mechanischer Energie (z.B. mittels Gasmotor) – die dabei zugekaufte Primärenergie multipliziert mit dem zu erwartenden Wirkungsgrad.

Der Energiebedarf von Belebungsanlagen wird in hohem Maße durch den Bedarf an Belüftungsenergie bestimmt. Im allgemeinen, d.h. auch bei sehr energieeffizienten Anlagen, wird deutlich mehr als die Hälfte der elektro-mechanischen Energie für die Belüftung (Sauerstoffzufuhr) der Belebungsbecken benötigt (Agis, 2002).

Der Energieverbrauch der Belüftung ergibt sich zum einen aus der Effizienz des Belüftungssystems, wobei eine optimierte Regelung der Sauerstoffzufuhr unabdingbar ist. Zum anderen sind aber auch die Abwasserzusammensetzung sowie der Wirkungsgrad der Vorklärung hinsichtlich der organischen Stoffe, welcher zum Teil aus den Abwassereigenschaften resultiert, für den Energieverbrauch der Belüftung von wesentlicher Bedeutung.

Je mehr organische Stoffe in der Vorklärung abgeschieden werden, desto geringer ist der Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung (OVC) und somit der Energiebedarf für die dafür erforderliche Sauerstoffzufuhr. Bei einem hohen Wirkungsgrad der Vorklärung werden mehr organische Stoffe mit dem

Primärschlamm abgeschieden, woraus sich im Falle einer elektro-mechanischen Nutzung des anfallenden Faulgases ein höherer „Energiegewinn“ ergibt.

Ein hoher Abscheidegrad in der Vorklärung hat also einen doppelten Effekt:

- Weniger Sauerstoffverbrauch und folglich weniger Energiebedarf
- Höherer Faulgasanfall und demnach höherer Energiegewinn aus dem Methan

Bei Belebungsanlagen mit Vorklärung und Schlammfäulung wird – weitgehende CSB-Entfernung und weitgehende Stabilisierung des Schlammes vorausgesetzt – stets eine bestimmte CSB-Fracht entweder aerob im Belebungsbecken unter Einsatz von Belüftungsenergie oder anaerob bei der Schlammfäulung unter „Energiegewinn“ abgebaut. Ob nun mehr CSB aerob oder anaerob abgebaut wird, ist eine Frage der Verfahrens- bzw. Betriebsweise der Kläranlage und kann zumeist betrieblich beeinflusst werden. Mit Hilfe der CSB-Bilanz wurde gezeigt, dass bei üblichem kommunalem Abwasser etwa 75 bis 80 g/(EW.d) entweder auf aerobem oder auf anaerobem Wege abgebaut werden. Dieser Wert ergibt sich aus der spezifischen CSB-Fracht im Zulauf abzüglich der im Ablauf und abzüglich der im stabilisierten Schlamm (Nowak, 1999).

Belüftungsenergie wird allerdings nicht nur für den Abbau der organischen Stoffe (CSB) benötigt, sondern auch für die Nitrifikation. Zudem darf nicht übersehen werden, dass im Falle eines „ungünstigen“, weil hohen N/CSB-Verhältnisses im Zulauf, die Abscheidewirkung der Vorklärung gering gehalten werden muss, um eine ausreichende Denitrifikation und somit den geforderten Stickstoffentfernungsgrad sicherzustellen.

Der Sauerstoffbedarf setzt sich zusammen aus dem Sauerstoffverbrauch für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen und aus dem Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation, wobei der Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung (Abbau der C-Verbindungen) zum Teil durch Denitrifikation abgedeckt werden kann. Folglich ist auch das Ausmaß der Stickstoffentfernung von entscheidender Bedeutung, da durch die Denitrifikation von Nitrat Sauerstoff, der für die Nitrifikation benötigt wurde, „wiedergewonnen“ wird, wodurch sich der Energieverbrauch für die Belüftung vermindert. Während für die „reine Nitrifikation“ mit Nitrat als Endprodukt rund 4,3 g O₂/g N erforderlich sind, werden für die Nitrifikation mit anschließender Denitrifikation mit Stickstoffgas als Endprodukt lediglich 1,5 g O₂/g N benötigt.

Im Folgenden wird eine Abschätzung auf der Basis von theoretischen Überlegungen über den Energiebedarf für die Belüftung der Belebungsbecken einschließlich der Rührwerke in Abhängigkeit vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf und vom Wirkungsgrad der Vorklärung präsentiert.

Dazu wurde eine Reihe von Annahmen getroffen:

- Der Sauerstoffverbrauch für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen (OVC) wurde aus der CSB-Bilanz abgeschätzt. Es wurde angenommen, dass bei kommunalen Belebungsanlagen ohne Vorklärung das Verhältnis OVC zum in der Belebtschlammstufe entfernten CSB (η_{CSB}) 0,5 beträgt, und dass sich bei Anlagen mit konventioneller Vorklärung mit 33% CSB-Entfernung das Verhältnis $\text{OVC}/\eta_{\text{CSB}}$ zu 0,6 ergibt (Nowak und Svardal, 1990).
- Der im Zulauf enthaltene Stickstoff liegt ausschließlich in nicht-oxidierter Form als TKN vor.
- Eine spezifische Stickstofffracht von 1,6 g/(EW.d) verlässt „nicht-oxidiert“ das Gesamtsystem „biologische Kläranlage“. Der größere Teil davon wird mit dem stabilisierten Klärschlamm aus dem Anlage abgezogen (etwa 1,5 g/(EW.d)), der kleinere Teil (ca. 0,1 g/(EW.d)) gelangt in den Ablauf.
- Die Differenz der spezifischen Stickstofffracht im Zulauf und dieser Fracht von 1,6 g/(EW.d) ist zu nitrifizieren.
- Der Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation beträgt 4,3 g O₂/g N_{oxidiert}.
- 40% von OVC stehen für die „Nitratatmung“ OVD zur Verfügung
- Das Verhältnis „Nitratatmung“ OVD zu denitrifizierter Stickstoff beträgt 2,86 g/g.
- Das Ausmaß der Denitrifikation ergibt sich aus dem Verhältnis OVD/OVC und beträgt aus betrieblichen Gründen maximal 90%.
- Bezogen auf den Sauerstoffverbrauch wird eine Belüftungsenergie von 0,5 kWh/kg O₂ benötigt. Dies entspricht bei einem O₂-Gehalt im Belebungsbecken von 1,5 mg/l einem Sauerstofftrag (O_p) unter Betriebsbedingungen von etwa 2,3 bis 2,4 kg O₂/kWh bzw. mit einem α -Wert von etwa 0,6 bis 0,65 einem O_p-Wert in Reinwasser zwischen 3,5 und 4 kg O₂/kWh.
- Im stabilisierten Schlamm sind 26 g CSB/(EW.d) enthalten. Dies entspricht einer Fracht an organischer Substanz im Klärschlamm von ca. 18 g/(EW.d) (Nowak, 1995).

- Die spezifische CSB-Fracht im Ablauf beträgt 7 g/(EW.d). Dementsprechend liegt der CSB-Entfernungsgrad bei 94%.
- Durch das autotrophe Wachstum der nitrifizierenden Bakterien werden 2 g CSB/(EW.d) in die Belebungsanlage eingetragen.

Die Abschätzung des im Faulgas enthaltenen CSB und somit letztlich des „Gewinns“ an elektro-mechanischer Energie aus dem anfallenden Faulgas erfolgte aus einer CSB-Bilanz über die Gesamtanlage auf der Basis der oben angeführten Werte für die CSB-Fracht im stabilisierten Schlamm, im Ablauf sowie zufolge des Eintrags durch die autotrophen Biomasse und dem zuvor errechneten Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung (OVC) (vgl. Nowak, 1999).

1 g CSB im Faulgas entspricht einem Methananfall von 0,35 NI CH₄. 1 NI CH₄ hat einen Heizwert (thermische Energie) von 10 kWh. Der Wirkungsgrad in Bezug auf die gewonnene elektro-mechanische Energie liegt bei Kraft-Wärme-Kopplung bei 30 bis 35% (Müller *et al.*, 1999). Ferner kann davon ausgegangen werden, dass etwa 90% des Faulgases über längere Zeit hinweg im Betrieb einer kommunalen Anlage im BHKW bzw. Gasmotor genutzt werden können. Somit ergibt sich schließlich aus 1 g CSB im Faulgas ein „Gewinn“ an elektro-mechanischer Energie von ziemlich genau 1 Wh.

Für die Summe des Energiebedarfs aller weiteren Anlagenteile, abgesehen vom Abwasserhebewerk, d.h. für mechanische Reinigung, Umwälzung des Belebungsbeckens, Rücklaufschlamm-pumpen, alle Aggregate der Schlammbehandlung sowie der Infrastruktur, wurde ein Wert von 7 kWh/(EW_{CSB110.a}) angesetzt. Dieser Wert liegt im Bereich der Sollwerte nach Agis (2002) für Belebungsanlagen mit Schlammfäulung.

Der Energiebedarf des Abwasserhebewerks kann ja nach Höhenlage von Kanal und Kläranlage in einem weiten Bereich schwanken. Hier wurde von einem Energiebedarf für die Hebung des Rohabwassers von 2,5 kWh/(EW.a) ausgegangen. Dies entspricht unter der Annahme einer spezifischen Abwassermenge einschließlich Mischwasser von 250 l/(EW.d) einer Förderhöhe von etwa 5,5 m.

Mit all diesen getroffenen Annahmen kann nun der im Minimum „notwendige Energiebezug“ (Zukauf an elektro-mechanischer Energie vom EVU) abgeschätzt

werden. Das Ergebnis ist in Abhängigkeit von der CSB-Entfernung in der Vorklärung und vom N/CSB-Verhältnis im Rohabwasser in Abbildung 13 dargestellt, wobei man sich dessen bewusst sein muss, dass es sich hierbei um eine „Differenz großer Zahlen“ handelt, in die noch dazu Werte eingehen, die von Anlage zu Anlage in einem großen Bereich schwanken können, wie etwa die Förderhöhe der Rohabwasserpumpen.

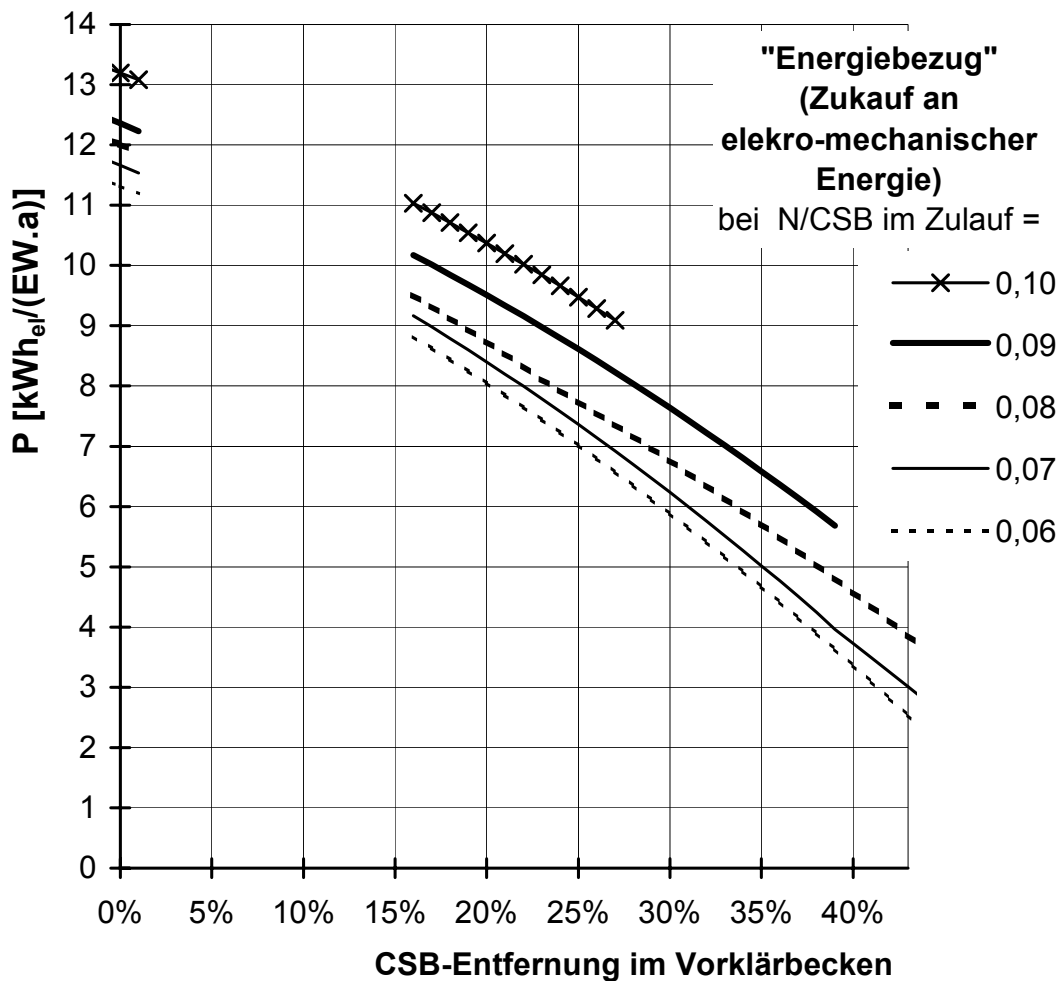


Abbildung 13: Notwendiger Bezug (Zukauf) an elektro-mechanischer Energie von kommunalen Belebungsanlagen größer rund 20.000 EW mit Schlammfäulung - bezogen auf die organische Zulauffracht mit 110 g CSB/(EW.d)

In Abbildung 13 sind die Werte für den „notwendigen Energiebezug“ für eine Bandbreite der CSB-Entfernung in der Vorklärung zwischen 16 und 43% dargestellt. Eine CSB-Entfernung von unter 17% wird auch bei sehr kurzer Aufenthaltszeit in der Vorklärung (< 0,5 h) kaum „erreichbar“ sein. Bei einer Aufenthaltszeit von 1,5 bis 2 h wird allgemein mit einer CSB-Entfernung von

33% gerechnet (ATV, 2000). Bei manchen Anlagen – insbesondere bei steilen Sammelkanälen – wird in der Vorklärung auch deutlich mehr CSB entfernt. Die Ursache dürfte darin liegen, dass es im aeroben Milieu dieser Sammler – außer zu einem gewissen Vorabbau – zunächst zu einer Adsorption (Speicherung) der organischen Stoffe an die Biomasse kommt, welche danach vermehrt in der Vorklärung abgeschieden wird. Nach eigenen Erfahrungen kann die CSB-Entfernung in der Vorklärung bei solchen Anlagen bis zu 45% betragen.

Weiters sind in Abbildung 13 die entsprechenden Werte für eine Belebungsanlage ohne Vorklärung, jedoch mit beheizter Schlammfäulung eingetragen. Die Kurven für den Energiebedarf sind für N/CSB im Zulauf von 0,09 bzw. 0,10 nur bis zu dem Wert für die CSB-Entfernung in der Vorklärung dargestellt, bis zu dem nach dem gewählten Ansatz rechnerisch ein Stickstoffentfernungsgrad von 70% überschritten wird. Demnach dürfen bei einem N/CSB-Verhältnis im Zulauf von 0,10 maximal 27% des CSB (bzw. näherungsweise auch des BSB₅) im Vorklärbecken entfernt werden, um im Belebungsbecken in ausreichendem Umfang organische Stoffe für die Denitrifikation zur Verfügung zu haben (Abbildung 13).

Wie ausgeführt liegt das N/CSB-Verhältnis im Zulauf von österreichischen kommunalen Kläranlagen > 15.000 EW im Mittel zwischen 0,08 und 0,09. Dies entspricht einer spezifischen Stickstofffracht von etwa 9 bis 10 g N/(EW.d). Aus diesem Grunde wurde für die entsprechenden Kurven eine breitere Strichstärke gewählt.

Abbildung 13 zeigt, dass der erforderliche Bezug an elektro-mechanischer Energie in erheblichem Maße durch die CSB-Entfernung in der Vorklärung und auch durch das N/CSB-Verhältnis im Zulauf beeinflusst wird. Zudem ist zu beachten, dass bei höherem N/CSB-Verhältnis die CSB-Entfernung in der Vorklärung begrenzt werden muss, um eine Stickstoffentfernung von 70% zu erreichen.

Nach dem gewählten Ansatz ergibt sich bei einem Verhältnis N/CSB im Zulauf und einer CSB-Entfernung in der Vorklärung von 27% der erforderliche Bezug an elektro-mechanischer Energie zu rund 9 kWh/(EW_{CSB}.d), während bei einem N/CSB-Verhältnis von 0,07 und einer CSB-Entfernung in der Vorklärung von 40% weniger als 4 kWh/(EW_{CSB}.d) an elektro-mechanischer Energie zugekauft werden müssten.

Abbildung 14 zeigt den im Minimum erforderlichen Bezug an elektro-mechanischer Energie bezogen auf die Stickstoffbelastung in kWh/(EW_N.d), wobei von einer spezifischen Stickstofffracht von 11 g N/(EW.d) ausgegangen wurde. Dieser Wert liegt zwar über den für österreichische kommunale Kläranlagen typischen Werten, entspricht jedoch dem für häusliches Abwasser üblichen Wert, der auch in gängigen Bemessungsvorschriften zur Anwendung empfohlen wird, so auch im ATV- Arbeitsblatt A 131 (ATV, 2000).

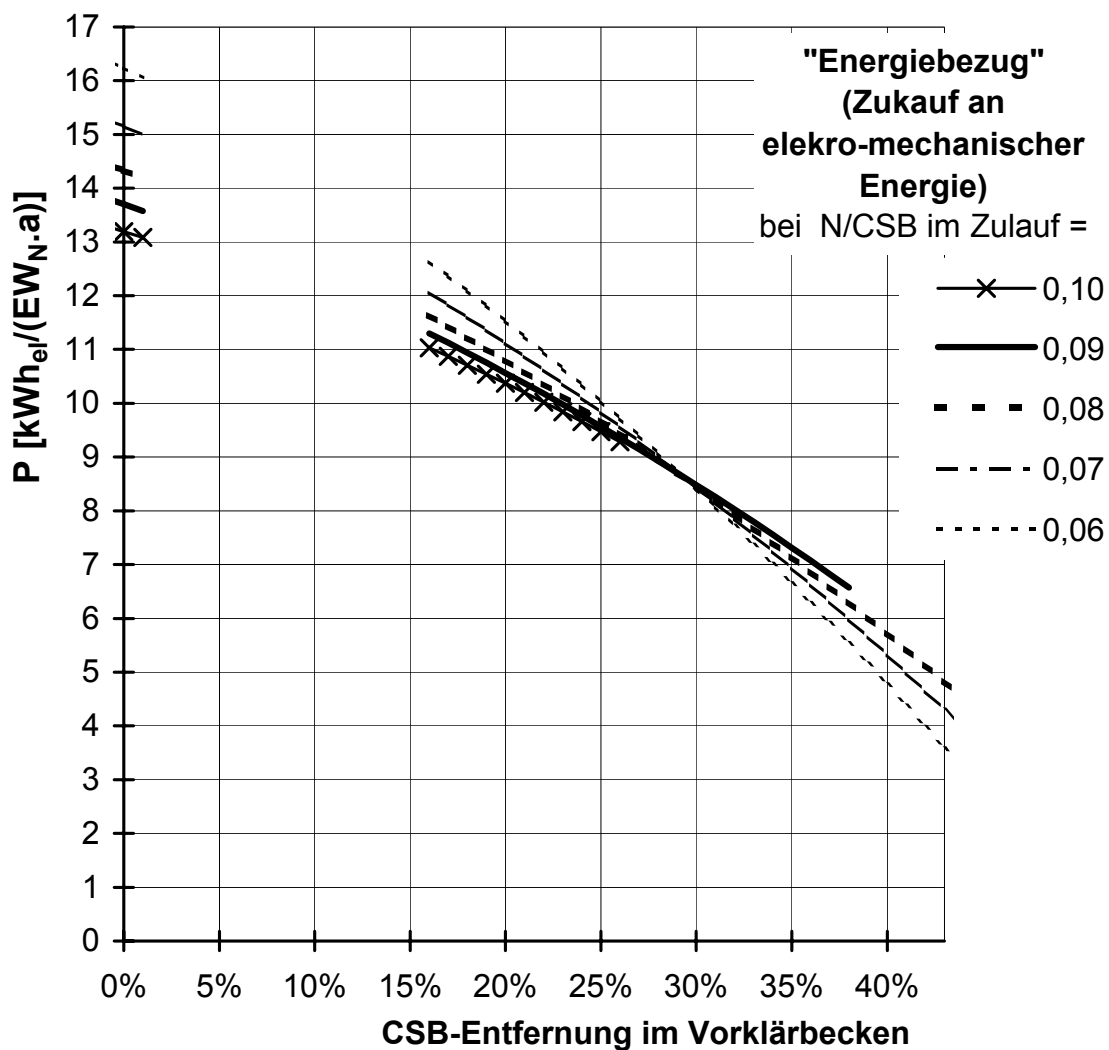


Abbildung 14: Notwendiger Bezug (Zukauf) an elektro-mechanischer Energie von kommunalen Belebungsanlagen größer rund 20.000 EW mit Schlammfaulung - bezogen auf die Stickstoff-Zulauffracht mit 11 g N/(EW.d)

Aus Abbildung 14 wird ersichtlich, dass das N/CSB-Verhältnis im Zulauf ohne Einfluss auf den spezifisch erforderlichen Zukauf an elektro-mechanischer Energie bezogen auf die Stickstoffbelastung in kWh/(EW_N.d) ist, solange noch

in nennenswertem Umfang Nitrat im Ablauf zu finden ist, d.h. bei den gewählten Annahmen bis zu einer Stickstoffentfernung von 90%, und der CSB demnach zur Denitrifikation genutzt werden kann. Erst wenn der CSB im Überschuss vorliegt und die Denitrifikation sozusagen „nitrat-limitiert“ ist, d.h. wenn mehr CSB vorhanden ist, als für die Denitrifikation benötigt wird, ist auch dieser „überschüssige CSB“ von Einfluss auf den notwendigen Energiebezug.

Letztlich zeigt sich, dass in dem Bereich für die CSB-Entfernung in der Vorklärung, die üblicherweise erzielt wird, nämlich bei 30 bis 33%, bei einem Bezug auf die Stickstofffracht als EW_N der Energiebedarf als Bezug bzw. Zukauf an elektro-mechanischer Energie vom EVU weitgehend unabhängig vom N/CSB-Verhältnis im Zulauf ist. Bei Anlagen mit konventioneller Vorklärung ist demnach im Falle einer Faulgasnutzung mit Kraft-Wärme-Kopplung nur die Stickstofffracht und in geringem Umfang auch die Abwassermenge, aber nicht die Fracht an organischen Stoffen (CSB, BSB_5) maßgebend für den notwendigen Energiebezug vom EVU. Nach Abbildung 14 liegt der notwendige Zukauf an elektro-mechanischer Energie bei einer CSB-Entfernung in der Vorklärung von 27 bis 35% zwischen 9 und 7 kWh/($EW_N \cdot a$) mit 11 g N/($EW \cdot d$).

Aus Abbildung 14 kann sogar abgeleitet werden, dass zusätzliche Einleitungen von industriellen Abwässern, die keinen bzw. kaum Stickstoff, jedoch viel absetzbare organische Stoffe (CSB) beinhalten und somit eine Erhöhung des Wirkungsgrades der CSB-Entfernung in der Vorklärung nach sich ziehen, zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs bezogen auf die Stickstofffracht, d.h. auf die kommunale Abwasserfracht, führen können.

Anzumerken wäre noch, dass diese Überlegungen noch detaillierter bereits in einer früheren Arbeit (Nowak, 2000) ausgeführt wurden, wobei jedoch einzelne Parameter in der vorliegenden Arbeit abgeändert sind.

Abschließend sollte zu diesen theoretischen Überlegungen festgehalten werden, dass hier in allen Punkten von optimalen Bedingungen sowohl in Hinblick auf die Konzeption als auch den Betrieb ausgegangen wurde, die nur in sehr wenigen Fällen vorzutreffen sein werden. So wurde vorausgesetzt, dass keinerlei „Sonderverbraucher“ auf einer Anlage vorhanden sind, die Sauerstoffzufuhr mit einem sehr effizienten Belüftungssystem nach einem optimalen Regelungskonzept erfolgt und dass alle weiteren elektrischen Aggregate äußerst sparsam und energieeffizient betrieben werden.

3.3 Beispiel für eine kommunale Abwasserreinigungsanlage mit minimalem Bezug an elektro-mechanischer Energie

Die mit den oben ausgeführten theoretischen Überlegungen abgeschätzten Werte für den „im Minimum notwendigen Bezug an elektro-mechanischer Energie“ sind demnach nur unter optimalen Bedingungen zu erreichen.

Dennoch lag der Bezug an elektro-mechanischer Energie der Verbandkläranlage des RHV Wolfgangsee-Ischl im Jahre 1999 in diesem Bereich. Auf dieser Kläranlage setzt sich der Verbrauch an elektro-mechanischer Energie aus dem zugekauften Strom und dem aus Faulgas wie aus Erdgas im BHKW erzeugten Strom sowie der in einem Gasmotor mit Direktkopplung an ein Gebläse zur Sauerstoffversorgung des Belebungsbeckens erzeugten „mechanischen Energie“ zusammen. Dabei wird Erdgas nur dann bezogen, wenn ein Wärmebedarf auf der Anlage besteht.

Alle Wege der Energienutzung bzw. des Energiebezugs im Jahre 1999 sind in Abbildung 15 dargestellt (Nowak *et al.*, 2001). Aus den Werten in Abbildung 15 errechnet sich der Bezug (Zukauf) an elektro-mechanischer Energie, d.h. an Strom und Erdgas, letzteres nach Umwandlung in elektrische Energie, abzüglich des Stroms, der ins Netz angegeben wurde, für dieses Jahr zu 5,45 kWh/(EW_{CSB.a}).

Das N/CSB-Verhältnis im Zulauf zur ARA Wolfgangsee-Ischl ergab sich im Zeitraum 1999/2000 zu 0,082 und die CSB-Entfernung im Vorklärbecken lag bei etwa 37 bis 38%. Der Wert für den Energiebezug der Kläranlage Wolfgangsee-Ischl im Jahre 1999 entspricht somit ziemlich genau dem im Minimum notwendigen Bezug (Zukauf) an elektro-mechanischer Energie von kommunalen Belebungsanlagen mit Schlammfäulung bezogen auf EW_{CSB110} nach Abbildung 13. Bezogen auf die Stickstofffracht ergab sich der Energiebezug bei dieser Kläranlage im Jahre 1999 zu 6,7 kWh/(EW_{N.a}) (vgl. Abbildung 14).

Allerdings beträgt die Förderhöhe des Abwasserhebewerks bei der Kläranlage Wolfgangsee-Ischl lediglich 3,3 m, womit sich der „theoretische Energiebedarf“ gegenüber den Werten in den Abbildungen 13 und 14, für die von einer Förderhöhe von rund 5,5 m ausgegangen wurde, um rund 1 kWh/(EW.a) vermindert.

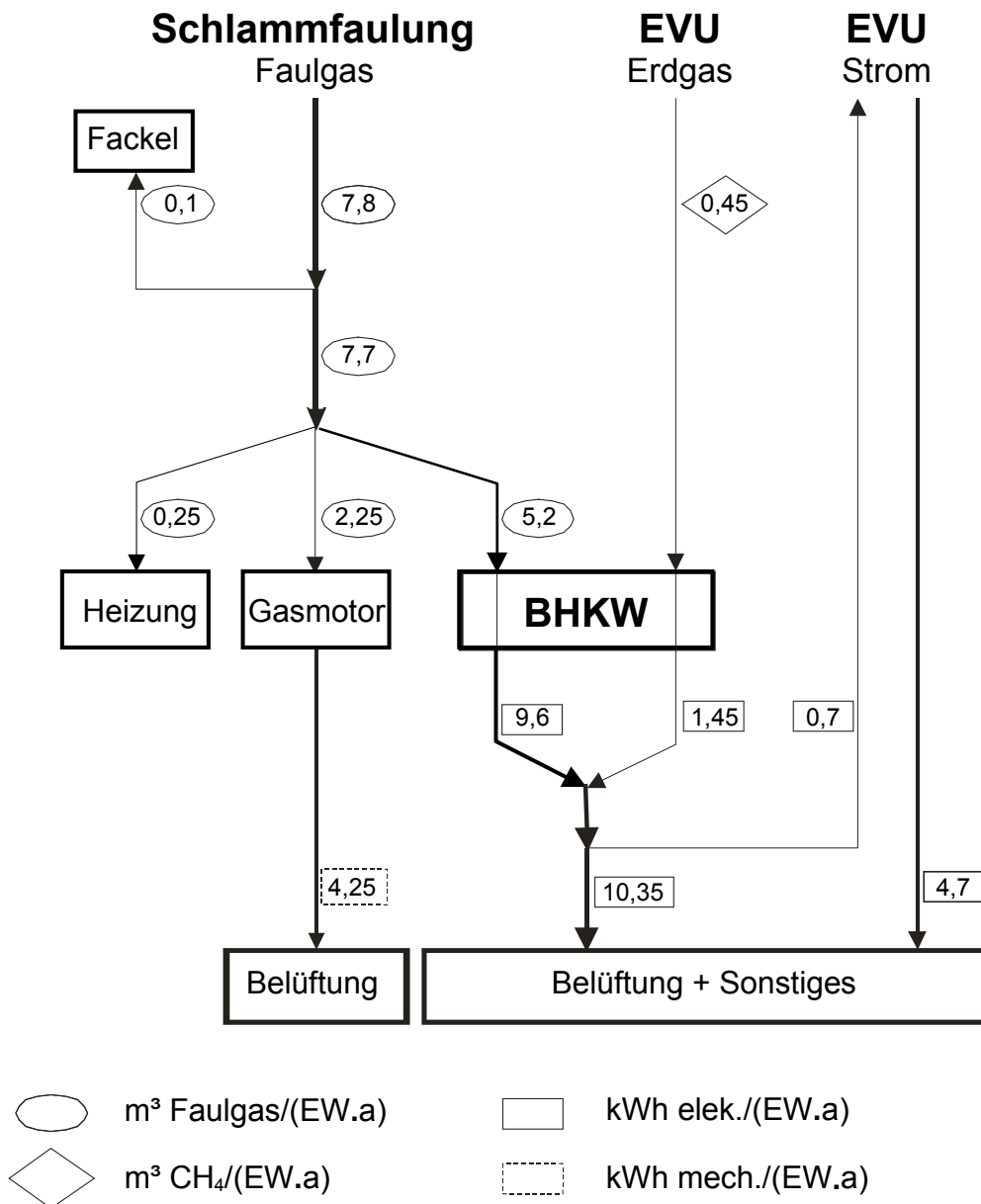


Abbildung 15: Energiebilanz der ARA Wolfgangsee-Ischl für das Jahr 1999 (Nowak, 2001)

Abschließend ist jedoch auf 2 Randbedingungen hinzuweisen, die es möglich machten, dass dieser „minimal notwendige Bezug an elektro-mechanischer Energie“ im Jahre 1999 erzielt wurde:

- Im Jahre 1998 wurden die (12 Jahre alten) „Schlauchbelüfter“ im Belebungsbecken erneuert, was zu einer deutlichen Verminderung des Energieverbrauchs für die Belüftung geführt hat.
- Die beiden Faulbehälter der ARA Wolfgangsee-Ischl weisen ein spezifisch äußerst großes Volumen von insgesamt 170 l/EW(!) bezogen auf die mittlere

CSB-Belastung auf. Abgesehen davon, dass der zweite in Serie durchflossene Faulbehälter im wesentlichen zur Nacheindickung verwendet wird, ermöglicht dieses große Volumen den Verzicht auf eine maschinellen Überschuss-schlammeindickung sowie eine sparsame Umwälzung des Faulraums.

Dieses Beispiel zeigt, dass der zuvor dargestellte „Benchmarkbereich“ für den Energiebezug von kommunalen Kläranlagen grundsätzlich erreichbar ist, dass jedoch bei der Beurteilung des Energieverbrauchs von kommunalen Kläranlagen in jedem Fall auch die örtlichen Randbedingungen zu beachten sind.

4 Erkenntnisse aus dem Projekt Energie-Benchmarking aus abwassertechnischer Sicht

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich Ammoniumabbau, Stickstoff- und Phosphorentfernung – außer in geringem Umfang bei der Nitrifikation – zu keinem vermehrten Energiebedarf führen.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der im Zuge des „Projekts Energie-Benchmarking“ durchgeführten energetischen Detailanalysen Folgendes abgeleitet werden:

- Besonders ist darauf hinzuweisen, dass ein zukünftig hoher Energieverbrauch häufig bereits durch die Konzeption der Anlage festgelegt wird. Dies betrifft einerseits unwirtschaftliche Belüftungssysteme, zumal der Energiebedarf für die Belüftung im Allgemeinen zu mehr als zur Hälfte zum Energieverbrauch beiträgt, sowie „Sonderverbraucher“. Zu letzteren zu zählen sind zum Beispiel Abluftgebläse bei Einhausungen oder eine sehr weitgehende aerobe Stabilisierung mit schlechtem Wirkungsgrad der Belüftung – wie etwa bei aerob-thermophiler Schlammstabilisierung (ATS). Belüftungssysteme können nur mit relativ hohem Kostenaufwand ersetzt werden, was nur in Einzelfällen und auch nur bei längerfristiger Betrachtung wirtschaftlich sein wird. Abluftgebläse müssen mit einer bestimmten Luftwechselzahl in Betrieb gehalten werden. Auf jeden Fall wäre zu fordern, dass bei der Kläranlagenplanung auf den später zu erwartenden Energiebedarf insbesondere von „Sonderverbrauchern“ sehr genau Bedacht genommen wird.

- Bei mehreren Anlagen hat sich herausgestellt, dass die Umwälzung der Belebungsbecken in erheblichem Maße zum Energieverbrauch der Kläranlage beiträgt. Dies gilt vor allem für Anlagen mit einem großen spezifischen Belebungsbeckenvolumen, wie dies bei gleichzeitiger aerober Schlammstabilisierung der Fall ist. Grundsätzlich ist bei der Konzeption der Anlage darauf zu achten, dass geeignete Röhreinrichtungen (Umwälzaggregate) installiert werden, was nicht bei allen untersuchten Anlagen der Fall war. Zudem ist der Betrieb der Umwälzaggregate zu optimieren. Dabei wird es auch bei Umlaufbecken in manchen Fällen genügen, die Rührwerke nur außerhalb der Belüftungsphasen zu betreiben. Bei Anlagen mit relativ geringem spezifischen Belebungsbeckenvolumen, d.h. wenn das Schlammalter für Nitrifikation (und Denitrifikation) gerade ausreicht, ist in kritischen Belastungsphasen auf eine ausreichende Durchmischung zu achten, da ein nicht ausreichender Kontakt zwischen Biomasse und Substrat zu einer Limitierung der Abbauraten führt. Außerdem bringt bei einem geringen spezifischen Belebungsbeckenvolumen (in l/EW) eine Verminderung des spezifischen Energieeintrags (in W/m³) keine nennenswerte Energieersparnis mit sich.
- Als nennenswerte Energieverbraucher haben sich bei einigen Anlagen die Pumpaggregate zur Rückführung des Rücklaufschlammes und insbesondere von Belebtschlamm im Falle einer vorgeschalteten Denitrifikation herausgestellt. Um hier einen erhöhten Energiebedarf zu vermeiden, ist bei der Anlagenkonzeption auf geringe hydraulische Verluste entlang der Fließweges zu achten. Bei den Rücklaufschlammumpfen, im besonderen bei Kreiselpumpen, sollte der Förderstrom in gewissem Umfang an die Abwassermenge angepasst werden können. Bei interner Rückführung von Belebtschlamm sind in Anbetracht der hohen Fördermengen kurze Fließwege sicherzustellen.
- Bei einigen Anlagen haben auch weitere Umwälz- und Belüftungsaggregate in nennenswertem Umfang zum Energieverbrauch beigetragen. Darunter zu zählen sind die Belüftung des Sandfangs sowie die Umwälzung des Faulraumes. Auch diese Punkte betreffen eher die Planung als den Betrieb der Kläranlage.
- Bei der Belüftung des Belebungsbeckens, dem im Allgemeinen größten Einzelverbraucher bei Belebungsanlagen, sind in vielen Fällen die größten Energieeinsparungen möglich. Hier wäre vielfach ein verbessertes Regelkon-

zept zu erstellen bzw. die Regelung der Belüftung zu optimieren. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass unsinnig hohe Sauerstoffkonzentrationen im Belebungsbecken vermieden werden. Im Weiteren sind die Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen zu beobachten. Insgesamt ist bei der Belüftungsregelung noch einiger Handlungsbedarf gegeben.

5 Abschließende Bemerkungen

Der Verbrauch an elektro-mechanischer Energie liegt heute bei Belebungsanlagen (mit Schlammfäulung) zur Reinigung kommunalen Abwassers im Schnitt bei etwa 30 bis 35 kWh/(EW.a). Dieser Wert könnte mit einem optimierten Betrieb und bei optimaler Planung(!) um rund 15 kWh/(EW.a) vermindert werden. Da ein erhöhter Energiebedarf – wie ausgeführt – häufig bereits durch die Planung festgelegt wird, kann nicht erwartet werden, dass durchschnittlich mehr als 5 bis 10 kWh/(EW.a) eingespart werden können.

Geht man von einem Primärenergieeinsatz für die kommunale Abwasserreinigung von derzeit 100 kWh/(EW.a) aus, so kann daraus abgeschätzt werden, dass für die Gesamtheit des kommunalen, gewerblichen und industriellen Abwassers für die aerobe Reinigung jährlich rund 200 kWh an Primärenergie je Einwohner aufgewendet werden müssen. Dies entspricht rund 23 W bzw. etwa 7 W an elektrischer Energie, womit gerade ein schwaches Halogenlämpchen betrieben werden könnte. Anders ausgedrückt könnte jeder Einwohner bei einem Verzicht auf die aerobe Abwasserreinigung mit der dabei „eingesparten“ Energie mit einem einigermaßen energieeffizienten Pkw rund 300 km pro Jahr zusätzlich zurücklegen. Beziehungsweise ergibt sich aus dem zu erwartenden Einsparungspotenzial bei der kommunalen Abwasserreinigung für jeden Einwohner eine Wegstrecke mit dem Pkw von rund 50 km.

Der Primärenergieeinsatz, der für eine entsprechende Reinigung aller Abwässer nach dem Stand der Technik erforderlich, entspricht in Österreich etwa 0,5% des gesamten Verbrauchs an Primärenergie. Eingespart werden könnten bei einer Energieoptimierung aller kommunaler Kläranlagen maximal rund 0,1% der insgesamt in Österreich aufgewendeten Primärenergie. Dieser Wert mag einerseits zu gering erscheinen, als dass Maßnahmen zur Energieoptimierung in

der kommunalen Abwasserreinigung lohnenswert wären. Andererseits sollten heute doch auch relativ geringe Einsparungspotenziale beim Energieverbrauch Anlass dazu sein diese auch zu nutzen.

6 Literatur

- Agis, H. (2002) xxx. In diesem Band. *Wiener Mitteilungen* 176, 133-178
- Andreottola, G., Bonomo, L., Poggiali, L., Zaffaroni, C. (1994) A methodology for the estimation of unit nutrient and organic loads from domestic and non-domestic sources. *Europ. Wat. Pollut. Contro*, **4(6)**, 13-19
- ATV (2000) Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., D-53773 Hennef.
- Lindtner, S., Nowak, O., Kroiß, H. (2002) Benchmarking für Abwasserreinigungsanlagen. *Wiener Mitteilungen* **176**, 95-132
- Müller, E.A., Thommen, R., Stähli, P. (1994) *Energie in ARA - Handbuch*. Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK), CH-3003 Bern.
- Nowak, O. (1995) Nährstoff- und Schwermetallfrachten im Klärschlamm. *Wiener Mitteilungen* **125**, J1-J54
- Nowak, O. (1999) Möglichkeiten und Grenzen der Betriebskosten- und Energieeinsparung auf Kläranlagen. *Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband - ÖWAV)* - Folge **7**, 77-114.
- Nowak, O. (2000) Möglichkeiten von Energiesparmaßnahmen auf Abwasserreinigungsanlagen durch das Betriebspersonal. *Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband - ÖWAV)* - Folge **8**, 61-104.
- Nowak, O., Keil, S., Maier, W. (2001) Beispiele für einstufige Belebungsanlagen mit Schlammfäulung: ARA Wolfgangsee-Ischl und ARA Wallersee-Süd. *Wiener Mitteilungen* **166**, 503-551.
- Nowak, O., Svardal, K. (1990) Nitrifikation und Denitrifikation. *Wiener Mitteilungen* **81**, 2. Auflage, G 1 - G 55.

Verfasser:

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto Nowak
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/226
A-1040 Wien

Tel.: +43/1/58801-22626
Fax: +43/1/58801-22699
e-mail: otto.nowak@tuwien.ac.at

WIENER MITTEILUNGEN WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Eine von den Wasserbauinstituten an der Technischen Universität Wien, den Instituten für Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur und dem Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband herausgegebene Schriftenreihe

Band Nr		Preis €
1	Das Wasser (1968) Kresser W.	vergriffen
2	Die Gesetzmäßigkeiten der stationären Flüssigkeitsströmung durch gleichförmig rotierende zylindrische Rohre (1968) Breiner, H.	vergriffen
3	Abwasserreinigung - Grundkurs (1969) von der Emde, W.	vergriffen
4	Abwasserreinigungsanlagen - Entwurf-Bau-Betrieb (1969) 4. ÖWWV-Seminar, Raach 1969	vergriffen
5	Zukunftsprobleme der Trinkwasserversorgung (1970) 5. ÖWWV-Seminar, Raach 1970	vergriffen
6	Industrieabwässer (1971) 6. ÖWWV-Seminar, Raach 1971	vergriffen
7	Wasser- und Abfallwirtschaft (1972) 7. ÖWWV-Seminar, Raach 1972	vergriffen
8	Das vollkommene Peilrohr (Zur Methodik der Grundwasserbeobachtung) (1972) Schmidt, F.	vergriffen
9	Über die Anwendung von radioaktiven Tracern in der Hydrologie (1972) Pruzinsky, W. Über die Auswertung von Abflußmengen auf elektronischen Rechenanlagen Doleisch, M.:	18
10	1. Hydrologie-Fortbildungskurs (1972)	vergriffen

Band Nr		Preis €
11	Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von HW-Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten (1972) Gutknecht, D.	vergriffen
12	Uferfiltrat und Grundwasseranreicherung (1973) 8. ÖWWV-Seminar, Raach 1973	vergriffen
13	Zellstoffabwässer-Anfall und Reinigung (1972) von der Emde W., Fleckseder H., Huber L., Viehl K.	vergriffen
14	Abfluß - Geschiebe (1973) 2. Hydrologie-Fortbildungskurs 1973	vergriffen
15	Neue Entwicklung in der Abwassertechnik (1983) 9. ÖWWV-Seminar, Raach 1974	vergriffen
16	Praktikum der Kläranlagentechnik (1974) von der Emde W.	vergriffen
17	Stabilitätsuntersuchung von Abflußprofilen mittels hydraulischer Methoden und Trendanalyse (1974) Behr, O.:	18
18	Hydrologische Grundlagen zur Speicherbemessung(1975) 3. Hydrologie-Fortbildungskurs 1975	vergriffen
19	Vorhersagen in der Wasserwirtschaft (1976) 1. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1976	10
20	Abfall- und Schlammbehandlung aus wasserwirtschaftlicher Sicht (1976) 11. ÖWWV-Seminar, Raach 1976	vergriffen
21	Zur Theorie und Praxis der Speicherwirtschaft (1977) 2. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1977	22
22	Abwasserreinigung in kleineren Verhältnissen (1977) 12. ÖWWV-Seminar, Raach 1977	vergriffen
23	Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern (1977) Baron W., Heindl W., Behr O., Reitingner J.	vergriffen
24	Ein Beitrag zur Reinigung des Abwassers eines Chemiefaserwerkes, eines chemischen Betriebes und einer Molkerei (1978) Begert A.	vergriffen

Band Nr		Preis €
25	Ein Beitrag zur Reinigung von Zuckerfabrikabwasser (1978) Kroiss H.	vergriffen
26	Methoden der hydrologischen Kurzfristvorhersage (1978) Gutknecht D.	vergriffen
27	Wasserversorgung-Gewässerschutz (1978) 13. ÖWWV-Seminar, Raach 1978	vergriffen
28	Industrieabwasserbehandlung - Neue Entwicklungen (1979) 14. ÖWWV-Seminar, Raach 1979	vergriffen
29	Probleme der Uferfiltration und Grundwasseranreicherung mit besonderer Berücksichtigung des Wiener Raumes (1979) Frischherz H.	vergriffen
30	Beiträge zur Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft (1979) o. Univ.-Prof. DDr. Werner Kresser zum 60. Geburtstag	vergriffen
31	Grundwasserzuströmungsverhältnisse zu Horizontalfilterrohrbrunnen (1980) Schügerl W.	vergriffen
32	Grundwasserwirtschaft (1980) 3. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1980	25
33	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1) (1980)	vergriffen
34	Behandlung und Beseitigung kommunaler und industrieller Schlämme (1980) 15. ÖWWV-Seminar, Raach 1980	vergriffen
35	Faktoren, die die Inaktivierung von Viren beim Belebungsverfahren beeinflussen (1980) Usrael G.	vergriffen
36	Vergleichende Kostenuntersuchungen über das Belebungsverfahren (1980) Flögl W.	vergriffen
37	Ein Beitrag zur Reinigung und Geruchsfreimachung von Abwasser aus Tierkörperverwertungsanstalten (1980) Ruider E.	vergriffen
38	Wasserwirtschaftliche Probleme der Elektrizitätserzeugung (1981) Schiller, G.:	vergriffen

Band Nr		Preis €
39	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1981) Teil 2	vergriffen
40	Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung als zusammengehörige Techniken (1981) 16. ÖWWV-Seminar, Raach 1981	vergriffen
41	Filterbrunnen zur Erschließung von Grundwasser (1981) ÖWWV-Fortbildungskurs 1981	29
42	Zur Ermittlung von Bemessungshochwässern im Wasserbau (1981) Kirnbauer R.	22
43	Wissenschaftliche Arbeiten, Zeitraum 1977 bis 1981 (1981)	25
44	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (1981) Teil 3	25
45	Verbundwirtschaft in der Wasserversorgung (1982) ÖWWV-Fortbildungskurs 1982	29
46	Gewässerschutzplanung, deren Umsetzung und Zielkontrolle im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees (1982) Stalzer W.	vergriffen
47	Wechselwirkung zwischen Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen, Erfahrungen und Probleme (1982) 17. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1982	vergriffen
48	Kleinwasserkraftwerke - Notwendigkeit und Bedeutung (1982) Flußstudien: Schwarza, kleine Ybbs, Saalach	vergriffen
49	Beiträge zur Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (1982) o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. v.d. Emde zum 60. Geburtstag	vergriffen
50	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (1982) Teil 4	vergriffen
51	Sicherung der Wasserversorgung in der Zukunft (1983) 18. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1983	vergriffen
52	Thermische Beeinflussung des Grundwassers (1983) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1983	vergriffen

Band Nr		Preis €
53	Planung und Betrieb von Regenentlastungsanlagen (1984) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1984	vergriffen
54	Sonderabfall und Gewässerschutz (1984) 19. ÖWWV-Seminar, Gmunden 1984	vergriffen
55	Naturnahes Regulierungskonzept "Pram" (1984)	26
56	Blähschlamm beim Belebungsverfahren (1985) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1985	vergriffen
57	Chemie in der Wassergütewirtschaft (1985) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1985	vergriffen
58	Klärschlamm - Verwertung und Ablagerung (1985) 20. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1985	vergriffen
59	Wasserkraftnutzung an der Thaya (1985) Pelikan B.	23
60	Seminar "Wasser - Umwelt - Raumordnung" (1985)	16
61	Gewässerschutz im Wandel der Zeit Ziele und Maßnahmen zu ihrer Verwirklichung (1985) Fleckseder, H.	vergriffen
62	Anaerobe Abwasserreinigung (1985) Kroiss H.	vergriffen
63	Kleine Belebungsanlagen mit einem Anschlußwert bis 500 Einwohnergleichwerte (1985) Begert A.	vergriffen
64	Belüftungssysteme beim Belebungsverfahren (1986) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1986	vergriffen
65	Planung und Betrieb von Behandlungsanlagen für Industrieabwässer (1986) 21. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1986	vergriffen
66	Ausspracheseminar Grundwasserschutz in Österreich (1986) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1986	29
67	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (5) (1986)	vergriffen

Band Nr	Preis €
68 Zur mathematischen Modellierung der Abflusstehung an Hängen (1986) Schmid B.H.	22
69 Nitrifikation - Denitrifikation (1987) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1987	vergriffen
70 Flußbau und Fischerei (1987)	vergriffen
71 Wasserversorgung und Abwasserreinigung in kleinen Verhältnissen (1987) 22. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1987	vergriffen
72 Wasserwirtschaft und Lebensschutz (1987) Wurzer E.	vergriffen
73 Anaerobe Abwasserreinigung Grundlagen und großtechnische Erfahrung (1988) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1988	vergriffen
74 Wasserbau und Wasserwirtschaft im Alpenraum aus historischer Sicht (1988)	22
75 Wechselbeziehungen zwischen Land-, Forst und Wasserwirtschaft (1988) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1988	vergriffen
76 Gefährdung des Grundwassers durch Altlasten (1988) 23. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1988	vergriffen
77 Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (6) (1987)	vergriffen
78 Wasserwirtschaftliche Planung bei mehrfacher Zielsetzung (1988) Nachtnebel, H.P.	25
79 Hydraulik offener Gerinne (1989) Symposium, 1989	vergriffen
80 Untersuchung der Fischaufstiegshilfe bei der Stauhaltung im Gießgang Greifenstein (1988) Jungwirth M., Schmutz S.	vergriffen
81 Biologische Abwasserreinigung (1989) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1989, TU-Wien	vergriffen
82 Klärschlamm Entsorgung (1989) 24. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1989	vergriffen

Band Nr		Preis €
83	Viruskontamination der Umwelt und Verfahren der Kontrolle (1990) 2. Symposium	18
84	Schadstofffragen in der Wasserwirtschaft (1989) ÖWWV-Fortbildungskurs 1989, TU-Wien	29
85	Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Trinkwasseraufbereitung mit Ultraschall, Projekt Abschnitt I (1989) Frischherz H.; Benes E.; Ernst J.; Haber F.; Stuckart W.	18
86	Umfassende Betrachtung der Erosions- und Sedimentationsproblematik (1989) Summer W.	25
87	Großräumige Lösungen in der Wasserversorgung (1990) 25. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1990	vergriffen
88	Revitalisierung von Fließgewässern (1990) Beiträge zum Workshop Scharfling, 1989	vergriffen
89	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1990) Teil 9	vergriffen
90	A Study on Kinematic Cascades (1990) Schmid B.H.	18
91	Snowmelt Simulation in Rugged Terrain - The Gap Between Point and Catchment Scale Approaches (1990) Blöschl G.	18
92	Dateninterpretation und ihre Bedeutung für Grundwasserströmungsmodelle (1990) Blaschke A.P.	nicht erschienen
93	Decision Support Systeme für die Grundwasserwirtschaft unter Verwendung geografischer Informationssysteme (1990) Fürst J.	18
94	Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Trinkwasseraufbereitung mit Ultraschall; Projekt-Abschnitt 1990 (1990) Frischherz H., Benes E., Stuckhart W., Ilmer A., Gröschl M., Bolek W.	18
95	Anaerobe Abwasserreinigung - Ein Modell zur Berechnung und Darstellung der maßgebenden chemischen Parameter (1991) Svardal K.	22

Band Nr		Preis €
96	EDV-Einsatz auf Abwasserreinigungsanlagen (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991, TU-Wien	29
97	Entfernung von Phosphorverbindungen bei der Abwasserreinigung (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991, TU-Wien	25
98	Auswirkungen der Wasserrechtsgesetznovelle 1990 auf Behörden, Planer und Betreiber kommunaler Abwasserreinigungsanlagen - aus technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht (1991) 26. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1991	36
99	Geruchsemissionen aus Abwasserreinigungsanlagen (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991,	22
100	Anpassung von Kläranlagen an den Stand der Technik (1992) ÖWWV-Fortbildungskurs 1992, TU-Wien	vergriffen
101	Umweltbezogene Planung wasserbaulicher Maßnahmen an Fließgewässern (1992) Pelikan B.	18
102	Erfassung hydrometeorologischer Elemente in Österreich im Hinblick auf den Wasserhaushalt (1992) Behr O.	i.V.
103	Wasser- und Abfallwirtschaft in dünn besiedelten Gebieten (1992) 27. ÖWWV-Seminar Ottenstein 1992	36
104	Virus Contamination of the Environment (1992) Methods and Control	vergriffen
105	Fließgewässer und ihre Ökologie (1993) ÖWAV-Fortbildungskurs 1992, TU-Wien	22
106	Festlegung einer Dotierwassermenge über Dotationsversuche (1992) Mader H.	22
107	Wasserrechtsgesetznovelle 1990 und neue Emissionsverordnungen (1992) Vorträge anlässlich der UTEC 1992	29
108	Chemische Analytik für einen zeitgemäßen Gewässerschutz (1992) Vorträge anlässlich der UTEC 1992	29
109	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1994) Teil 10 - Beiträge zum Seminar an der Universität für Bodenkultur im November 1994	i.V.

Band Nr	Preis €
110 Bemessung u. Betrieb von Kläranlagen zur Stickstoffentfernung (1993) ÖWAV-Seminar 1993, TU-Wien	36
111 Wasserreserven in Österreich - Schutz und Nutzung in Gegenwart und Zukunft (1993) 28. ÖWAV-Seminar Ottenstein 1993	vergriffen
112 Contamination of the Environment by Viruses and Methods of Control (1993)	18
113 Wasserkraft () O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. S. Radler anlässlich seiner Emeritierung	vergriffen
114 Klärwärter-Grundkurs (1994) 2. Auflage 1994	vergriffen
115 Beitrag zur Reduzierung der Abwasseremissionen der Bleicherei beim Sulfatverfahren (1994) Urban W. ISBN 3-85234-001-2	22
116 Eigenüberwachung von Abwasserreinigungsanlagen für den Gewässerschutz (1994) ÖWAV-Seminar 1994, TU-Wien ISBN 3-85234-002-0	25
117 Abwasserreinigungskonzepte - Internationaler Erfahrungsaustausch über neue Entwicklungen (1995) ÖWAV-Seminar 1994, TU Wien ISBN 3-85234-003-9	25
118 3 Jahre WRG-Novelle (1994) 29. ÖWAV-Seminar: Ottenstein 1994 ISBN 3-85234-004-7	19
119 Landeskulturelle Wasserwirtschaft (1994) anlässlich der Emeritierung von o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. Supersperg	vergriffen
120 Gewässerbetreuungskonzepte - Stand und Perspektiven (1994) Beiträge zur Tagung an der BOKU 1994 ISBN 3-85234-010-1	32
121 Generelle Entwässerungsplanung im Siedlungsraum (1996) ÖWAV-Seminar 1995, TU Wien ISBN 3-85234-011-X	29

122	Bedeutung von geowissenschaftlicher Zusatzinformation für die Schätzung der Transmissivitätsverteilung in einem Aquifer (1994) Kupfersberger H.	18
123	Modellierung und Regionalisierung der Grundwassermengenbildung und des Bodenwasserhaushaltes (1994) Holzmann, H.	22
124	Pflanzenkläranlagen - Stand der Technik, Zukunftsaspekte (1995) ÖWAV-Seminar, BOKU Wien ISBN 3-85234-014-4	22
125	Abwasserreinigung - Probleme bei der praktischen Umsetzung des Wasserrechtsgesetzes, (1995) ÖWAV-Seminar 1995, TU-Wien ISBN 3-85234-015-2	32
126	Konfliktfeld Landwirtschaft - Wasserwirtschaft (1995) 30. ÖWAV-Seminar, Ottenstein 1995 ISBN 3-85234-016-0	29
127	Alte und neue Summenparameter (1995) ÖWAV-Seminar 1995, TU-Wien ISBN 3-85234-017-9	29
128	Viruskontamination der Umwelt und Verfahren der Kontrolle (deutsch oder englisch) (1995) 4. Symposium Univ.Prof.Dr. R. Walter ISBN 3-85234-019-5	0
129	Einfluß von Indirekteinleitungen auf Planung und Betrieb von Abwasseranlagen (1996) ÖWAV-Seminar 1996, TU-Wien ISBN 3-85234-020-9	vergriffen
130	Zentrale und dezentrale Abwasserreinigung (1996) 31. ÖWAV-Seminar, Ottenstein 1996 ISBN 3-85234-021-7	36
131	Methoden der Planung und Berechnung des Kanalisationssystems (1996) ÖWAV-Seminar 1996, BOKU-Wien ISBN 3-85234-022-5	29

Band Nr	Preis €
132 Scale and Scaling in Hydrology (1996) Blöschl G. ISBN 3-85234-023-3	vergriffen
133 Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (11) (1996) Integrale Interpretation eines zeitgemäßen Gewässerschutzes ISBN 3-85234-024-0	12
134 Ein Beitrag zur Charakterisierung von Belüftungssystemen für die biologische Abwasserreinigung nach dem Belebungsverfahren mit Sauerstoffzufuhrmessungen (1996) Frey W. ISBN 3-85234-025-X	22
135 Nitrifikation im Belebungsverfahren bei maßgebendem Industrieabwassereinfluß (1996) Nowak O. ISBN 3-85234-026-8	36
136 1. Wassertechnisches Seminar (1996) Nebenprodukte von Desinfektion und Oxidation bei der Trinkwasseraufbereitung ISBN 3-85234-027-6	i.V.
137 Modellanwendung bei Planung und Betrieb von Belebungsanlagen (1997) ÖWAV - Seminar 1997, TU-Wien ISBN 3-85234-028-4	32
138 Nitrifikationshemmung bei kommunaler Abwasserreinigung (1997) Schweighofer P. ISBN 3-85234-029-2	25
139 Ein Beitrag zu Verständnis und Anwendung aerober Selektoren für die Blähschlammvermeidung (1997) Prendl L. ISBN 3-85234-030-6	22
140 Auswirkungen eines Kläranlagenablaufes auf abflußschwache Vorfluter am Beispiel der Kläranlage Mödling und des Krottenbaches (1997) Franz A. ISBN 3-85234-031-4	25
141 Neue Entwicklungen in der Abwassertechnik (1997) ÖWAV - Seminar 1997, TU-Wien ISBN 3-85234-032-2	36

Band Nr		Preis €
142	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (11) (1997) Abfallwirtschaft und Altlastensanierung morgen ISBN 3-85234-033-0	18
143	Abwasserbeseitigung und Wasserversorgung in Wien (1997) Eine ökonomische Beurteilung der Einnahmen, Ausgaben und Kosten Kosz M. ISBN 3-85234-034-9	22
144	Raum-Zeitliche Variabilitäten im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau (1997) Habersack H. ISBN 3-85234-035-7	29
145	Fortbildungskurs: Biologische Abwasserreinigung (1998) ÖWAV - Seminar 1998, TU-Wien ISBN 3-85234-036-5	vergriffen
146	2. Wassertechnisches Seminar (1998) Desinfektion in der Trinkwasseraufbereitung ISBN 3-85234-037-3	i.V.
147	Eigenüberwachung und Fremdüberwachung bei Kläranlagen (1998) 32. ÖWAV-Seminar , Linz 1998 ISBN 3-85234-038-1	36
148	Grundwasserdynamik (1998) ISBN 3-85234-039-C	36
149	Die Tradition in der Kulturtechnik (1998) Kastanek F. Simulationsanwendung bei der Störung durch poröses Medium (1998) Loiskandl W. ISBN 3-85234-040-4	22
150	Auswirkungen von Niederschlagsereignissen und der Schneeschmelze auf Karstquellen (1998) Steinkellner M. ISBN 3-85234-041-1	36
151	Experiences with soil erosion models (1998) ISBN 3-85234-042-X	29

Band Nr		Preis €
152	Ein Beitrag zur Optimierung der Stickstoffentfernung in zweistufigen Belebungsanlagen (1998) Dornhofer K. ISBN 3-85234-043-8	25
153	Hormonell aktive Substanzen in der Umwelt (1998) ÖWAV / UBA Seminar 1998, BOKU Wien ISBN 3-58234-044-6	vergriffen
154	Erfassung, Bewertung und Sanierung von Kanalisationen (1998) ÖWAV Seminar 1999, BOKU Wien ISBN 3-8523-045-4	29
155	Nährstoffbewirtschaftung und Wassergüte im Donauraum (1999) ÖWAV - Seminar 1999, TU-Wien ISBN 3-85234-046-2	32
156	Der spektrale Absorptionskoeffizient zur Bestimmung der organischen Abwasserbelastung (1999) UV-Seminar 1998, Duisburg ISBN 3-85234-047-0	22
157	Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen des Abwassers (1999) Zessner M. ISBN 3-85234-048-9	25
158	Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft (1999) Rechberger H. ISBN 3-85234-049-7	vergriffen
159	Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Abwasseranlagen und deren Evaluierung (2000) ÖWAV – Seminar 2000, TU-Wien ISBN 3-85234-050-0	22
160	Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete (2000) Hebenstreit K. ISBN 3-85234-051-9	25

161	Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft (2000) Präsentation eines Forschungsprojektes ÖWAV – Seminar 2000, BOKU – Wien ISBN 3-85234-052-7	vergriffen
162	Sickerwasser und Oberflächenabdichtung auf Reaktordeponien (2000) ÖWAV - Seminar 2000, Wirtschaftskammer Wien ISBN 3-85234-053-5	25
163	Abfall- und Abwasserentsorgung in kleinen Verhältnissen (2000) ÖWAV - Seminar 2000, Ottenstein ISBN 3-85234-054-3	25
164	Niederschlag-Abfluss-Modellierung – Simulation und Prognose (2000) ÖWAV-Seminar 2000, TU Wien ISBN 3-85234-055-1	i.V.
165	Mehrdimensionale Abflussmodellierung am Beispiel der Lafnitz (2000) Habersack, H. / Mayr, P. / Girlinger, R. / Schneglberger, St. ISBN 3-85234-056-x	25
166	Anpassung von Kläranlagen – Planung und Betrieb (2001) ÖWAV-Seminar 2001, TU Wien ISBN 3-85234-057-8	40
167	Bepflanzte Bodenfilter zur weitergehenden Reinigung von Oberflächenwasser und Kläranlagenabläufen (2001) Laber J. ISBN 3-85234-058-6	25
168	Kanalbetrieb und Niederschlagsbehandlung (2001) ÖWAV-Seminar 2001, BOKU Wien. ISBN 3-85234-059-4	29
169	Development of a Simulation Tool for Subsurface Flow Constructed Wetlands (Entwicklung eines Simulationsmodells für bepflanzte Bodenfilter) (2001) Langergraber G. ISBN 3-85234-060-8	25
170	Simulation von Niederschlagszeitreihen mittels stochastischer Prozess-modelle unter Berücksichtigung der Skaleninvarianz (2001) Bogner ISBN 3-85234-061-6	i.V.
171	Sewage Sludge Disposal – Sustainable and/or Reliable Solutions (2001) ÖWAV / EWA Workshop 2001, TU-Wien ISBN 3-85234-062-4	25

-
- | | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 172 | Stickstoffentfernung mit Biofiltern (2002)
Nikolavcic B.
ISBN 3-85234-063-2 | i.V. |
| 173 | Anaerobe Abwasserreinigung: Beeinflussende Faktoren der Versäuerung eines Zitronensäurefabrikabwassers (2002)
Moser D.
ISBN 3-85234-064-0 | i.V. |
| 174 | Gewässerschutz bei Entlastungsbauwerken der Mischkanalisation (2002)
Fenz R.
ISBN 3-85234-065-9 | i.V. |
| 175 | Wechselwirkung von physikalischen, chemischen und biotischen Prozessen in aquatischen Systemen (2002)
Kreuzinger N.
ISBN 3-85234-066-7 | i.V. |
| 176 | Benchmarking in der Abwasserentsorgung (2002)
ÖWAV Workshop Februar 2002, TU-Wien
ISBN 3-85234-067-5 | 30 |

Die Bände sind zu beziehen bei:

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
der Technischen Universität Wien
Karlsplatz 13/226, A-1040 Wien

Band: 12, 15, 16, 20, 28, 34, 35, 36, 37, 47, 49, 53, 54, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 73, 81, 82, 84, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 105, 107, 108, 110, 114, 116, 117, 121, 125, 127, 129, 130, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 145, 147, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 166, 171, 172, 173, 174, 175, 176

Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft
der Technischen Universität Wien
Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Band: 1, 2, 8, 9, 17, 21, 23, 26, 30, 31, 41, 42, 52, 66, 68, 74, 90, 91, 92, 102, 122, 132, 148, 164

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
der Universität für Bodenkultur,
Muthgasse 18, A-1190 Wien

Band: 18, 19, 32, 38, 43, 44, 45, 48, 50, 55, 59, 60, 70, 75, 78, 86, 89, 93, 101, 106, 109, 113, 123, 144, 160, 165, 167, 169

Institut für Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft
der Universität für Bodenkultur,
Muthgasse 18, A-1190 Wien

Band: 22, 29, 39, 40, 46, 67, 71, 72, 76, 77, 80, 83, 85, 87, 88, 94, 103, 112, 115, 118, 120, 124, 126, 128, 131, 133, 136, 142, 146, 150, 154, 163, 167, 168, 169

Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft
der Universität für Bodenkultur
Muthgasse 18, A-1190 Wien

Band: 119, 149, 151, 170