

DWA- Themen

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft Schwerpunkt Abwasser

April 2010



DWA- Themen

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft Schwerpunkt Abwasser

April 2010



Herausgeber und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-940173-91-1

Gefördert mit Mitteln der Deutschen
Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Fördernummer: 26089-23

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2010

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Die Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung durch die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien ist hinsichtlich des Klimawandels und der Versorgungssicherheit eine der dringendsten gesellschaftspolitischen Herausforderungen unserer Zeit. In diesem Zusammenhang stehen das im Dezember 2007 beschlossene integrierte Energie- und Klimapakete der Bundesregierung sowie das im Januar 2008 vorgestellte Klima- und Energiepaket der Europäischen Kommission.

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) hat sich zum Ziel gesetzt, den Beitrag der Wasserwirtschaft zur nachhaltigen Energiegewinnung in all seinen Facetten – von der Wasserkraft über die Verstromung von Klärgas bis hin zur Nutzung der Abwasserwärme – in Form einer umfassenden Studie zusammen zu stellen.

Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Projekt wurde in drei Stufen umgesetzt:

Stufe I: Ermittlung von Status Quo und möglicher Potenziale basierend auf einer Literaturstudie

Stufe II: Verifizierung der in der Stufe I ermittelten Daten (A) konkretisiert am Beispiel Abwasserbehandlung unter anderem durch Umfragen bei Betreibern bzw. Ergänzung bestehender Umfragen (B)

Stufe III: Entwicklung von Ansätzen zum Ressourcen schonenden und nachhaltigen Umgang mit Energie im Bereich der Abwasserbehandlung.

In den Abschnitten 3 bis 7 des vorliegenden Berichtes werden für die einzelnen Themenfelder die Ergebnisse der Literaturstudie (Stufe I) dargestellt und verifiziert bzw. bewertet (Teil A der Stufe II). Abweichend von der Aufgabenstellung erfolgt diese Bewertung nicht nur für den Bereich Abwasserbehandlung sondern für alle Fachgebiete. Im nächsten Schritt (Stufe II, B) wurde eine Umfrage zu innovativen Lösungen bei der Energieoptimierung von Kläranlagen durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Stufe III in Steckbriefen dokumentiert und erläutert sowie zusammenfassend dargestellt (siehe Abschnitt 8 und Anhang 4).

Verfasser

Nach einem Leistungswettbewerb hat die DWA die TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH mit der Erstellung dieser Studie zur Abschätzung der Energiepotenziale der deutschen Wasserwirtschaft beauftragt. Die Studie wurde seitens der TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH von Dipl.-Ing. Tanja Gehlen, Dipl.-Ing. Bernadette Geiger, Dipl.-Ing. Stefan Koenen, Prof. Dr.-Ing. Markus Schröder und Dipl.-Ing. Bernhard Wöffen erarbeitet. Koordinierung und Projektleitung in der DWA-Bundesgeschäftsstelle hatten Dipl.-Ing. Anett Baum und Dipl.-Geogr. Georg Schrenk.

Danksagung

Dieser Themenband ist der Abschlussbericht eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojektes „Ermittlung der Potenziale zur Energieeinsparung, Steigerung der Energieeffizienz und ressourcenschonenden Energieerzeugung in der deutschen Wasserwirtschaft“ (AZ 26089-23), das im Februar 2008 begonnen wurde.

Wir danken der DBU für die finanzielle Förderung, die diversen Anregungen und die Unterstützung im Rahmen der Projektbearbeitung.

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	3
Danksagung	3
Bilderverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Anmerkungen zur Literaturrecherche	9
3 Energie aus Wasserkraft	11
3.1 Historie	11
3.2 Iststand der Energieerzeugung aus Wasserkraft	13
3.3 Konflikte	14
3.3.1 Ökologische Konflikte	14
3.3.2 Sonstige Konflikte	15
3.4 Potenziale	16
3.4.1 Allgemeines	16
3.4.2 Potenzial großer Wasserkraftanlagen	16
3.4.3 Potenzial kleiner Wasserkraftanlagen	17
3.4.4 Zusammenstellung der Potenziale	18
4 Energie in Kläranlagen	19
4.1 Vorbemerkungen	19
4.2 Historie	20
4.3 Stand der Technik und Potenziale	21
4.3.1 Kläranlagen in Deutschland	21
4.3.2 Klärgaserzeugung und -nutzung	23
4.3.2.1 Kläranlagen mit Klärgasgewinnung	23
4.3.2.2 Klärgasverwertung	25
4.3.2.3 Potenziale der Klärgasverwertung	26
4.3.3 Gaserzeugung aus Bioabfall (Co-Fermentation) und Biogasnutzung	29
4.3.4 Biomethangas-Einspeisung in das Erdgasnetz	30
4.3.5 Klärschlamm Entsorgung	31
4.3.6 Wärmeenergie	34
4.4 Energieverbrauchsreduzierung und -effizienzsteigerung	35
5 Energie in Kanalnetzen	37
5.1 Reduzierung des Energieverbrauchs	37
5.2 Energiegewinnung	38
5.2.1 Allgemeines	38
5.2.2 Wasserkraftnutzung	38
5.2.2.1 Wasserräder im Kanal	38
5.2.2.2 Wasserkraftschnecken im Kanal	39
5.2.2.3 Potenzial Wasserkraft in Kanälen	39
5.2.3 Abwasserwärmenutzung	39
5.2.3.1 Rahmenbedingungen	39

5.2.3.2	Wärmetauscher im Kanalnetz	40
5.2.3.3	Externe Wärmetauscher	41
5.2.3.4	Potenziale	42
5.2.3.5	Grundsätzliche Vorgehensweise zur Erschließung der Potenziale	43
5.3	Zusammenfassung Energiepotenzial in der Abwasserableitung.....	44
6	Energie in Trinkwasser	45
7	Solarenergie auf wasserwirtschaftlichen Anlagen	45
8	Umfrage	46
8.1	Vorgehensweise	46
8.2	Allgemeine Projektdaten	47
8.3	Kategorisierung der Beispielprojekte nach dem DWA-Energieschema	47
8.3.1	Kategorisierung nach Hauptgruppen.....	49
8.4	Kategorisierung nach Handbuch „Energie in Kläranlagen“ des Landes NRW.....	51
8.5	Weitergehende Kategorisierung und Bewertung	52
8.5.1	Übertragbarkeit.....	52
8.5.2	Einsparung.....	52
8.5.3	Jahr und Einwohnerwerte.....	52
8.5.4	Stand	52
8.5.5	Aufwand/Invest	52
8.6	Steckbriefe	53
8.7	Anmerkungen zu den Umfrageergebnissen	53
9	Verifizierung der Daten, Aufgaben der DWA.....	53
10	Zusammenfassung.....	53
Literatur	56
Anhang 1	Fragebogen des Statistischen Bundesamtes zur Erhebung über die Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas.....	59
Anhang 2	Beispiele für die Abwasserwärmenutzung in Kanälen	60
Anhang 3	Bewertungstabelle der Beispielprojekte.....	61
Anhang 4	Steckbriefe der Beispielprojekte	77
Anhang 5	Schematische Darstellung – Optimierung Kläranlage	146

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Bruttostromerzeugung in Deutschland 2006 nach Energieträgern	7
Bild 2:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006	8
Bild 3:	Anzahl relevanter Veröffentlichungen zum Thema Energie und Abwasser 1980 bis 2007.....	10
Bild 4:	Entwicklung der Rohölpreise 1960 – 2007.....	10
Bild 5:	Oberschlächtiges Wasserrad.....	11
Bild 6:	Altes Kraftwerk Rheinfelden.....	12
Bild 7:	Bruttostromerzeugung nach Energieträgern 1990 – 2006.....	12
Bild 8:	Anzahl der 1999 vorhandenen Wasserkraftwerke (ausgenommen Pumpspeicherkraftwerke) unterteilt nach ihrer installierten Leistung	13

Bild 9:	Wasserrad Grüntal (Schweiz) mit Fischeaufstieg	15
Bild 10:	Stauanlage im westfälischen Borken – bisher ungenutztes Wasserkraftpotenzial	17
Bild 11:	Oberschlächtiges Wasserrad (14 kW, Durchmesser 4,8 m) am Auslauf des Klärwerks Warendorf.....	18
Bild 12:	Chronologie der Klärgasnutzungsmöglichkeiten.....	20
Bild 13:	Anzahl der Kläranlagen nach Größenklassen.....	22
Bild 14:	Statistische Verteilung der Kläranlagenanschlussgrößen in Einwohnerwerten (E) im Jahr 2004 in Deutschland.....	22
Bild 15:	Statistische Verteilung der Kläranlagen-Bemessungsgrößen in Einwohnerwerten (E) im Jahr 2004 in Deutschland.....	23
Bild 16:	Anzahl der Kläranlagen mit Faulgasproduktion und jährlich produzierte Faulgasmenge	24
Bild 17:	Auszug aus dem Erhebungsbogen „öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“.....	25
Bild 18:	Anzahl der Kläranlagen mit Stromerzeugung aus Faulgas und jährlich produzierte Strommenge	26
Bild 19:	Kapazitätsreserven bestehender Faulbehälter in Deutschland	29
Bild 20:	Zentralisierung der Biomethangas-Verwertung über das Erdgasnetz.....	31
Bild 21:	Verteilung der zu beseitigenden Klärschlammengen auf die Entsorgungspfade im Jahr 2004	32
Bild 22:	Heizwert von Klärschlamm im Vergleich zu Müll, Braun- und Steinkohle	33
Bild 23:	Wirkungsgrad von Kreiselpumpen und Förderschnecken	37
Bild 24:	Wärmerückgewinnung mit einem externen abwassertauglichen Wärmetauscher, System Huber/ThermWin ®, Firma Huber SE	41
Bild 25:	Abwasserwärmepotenzial in NRW.....	42
Bild 26:	Beispiel einer Energiekarte.....	44
Bild 27:	Aufruf zur Benennung innovativer Beispielprojekte zur energieoptimierten Abwasserbehandlung ...	46
Bild 28:	Kategorien nach dem DWA-Energieschema mit ihren Kürzeln.....	48
Bild 29:	Prozentuale Verteilung der Beispielprojekte auf der 3. Ebene des Energieschemas der DWA	49
Bild 30:	Gliederung der Maßnahmen nach Bedarf/Quellen.....	50
Bild 31:	Gliederung nach Realisierungsstufen.....	51
Bild 32:	Potenziale der Stromerzeugung in der Wasserwirtschaft.....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklung der Wasserkraft in Deutschland seit 1991	18
Tabelle 2:	Energiepotenzial der Wasserkraft.....	19
Tabelle 3:	Energiepotenzial aus Klärgas.....	28
Tabelle 4:	Energiepotenzial aus Co-Fermentation.....	30
Tabelle 5:	Beseitigte Klärschlammengen 1998 bis 2004.....	31
Tabelle 6:	Eckdaten des Klärschlammberichtes, Klärschlammengen in Tonnen Trockensubstanz	32
Tabelle 7:	Energiepotenzial bei der Klärschlammverbrennung	34
Tabelle 8:	Wärmepotenzial im Abwasser gegliedert nach KA-Größenklassen.....	34
Tabelle 9:	Abwasserwärmeproduktion auf Kläranlagen	35
Tabelle 10:	Gesamtstromverbrauch aller Kläranlagen nach spezifischen Richt- und Idealwerten.....	36
Tabelle 11:	Voraussetzungen für den Einsatz von Wasserrädern im Kanal.....	38
Tabelle 12:	Kennzahlen von Wärmetauschern im Kanal	41
Tabelle 13:	Potenzial zur Energiegewinnung in der Kanalisation.....	44
Tabelle 14:	Abschätzung des solaren Potenzials auf Dachflächen der Kläranlagengebäude	45
Tabelle 15:	Zusammenstellung des Energiepotenziales der deutschen Wasserwirtschaft.....	54

1 Einleitung

Die Wasserwirtschaft ist einerseits Energieverbraucher, andererseits leistet sie aber auch einen Beitrag zur Energiegewinnung aus regenerativen Quellen zum Beispiel durch die Wasserkraft und durch die energetische Nutzung von Klärschlamm. Im Jahre 2006 hatten die erneuerbaren Energien in Deutschland einen Anteil von 5,6 % am Primärenergieverbrauch bzw. von 11,5 % (70,4 TWh) an der Stromerzeugung [62].

Bild 1 zeigt die Bruttostromerzeugung in Deutschland 2006 aufgeteilt nach Energieträgern. Die Bruttostromerzeugung ist dabei die tatsächlich bereitgestellte Strommenge und beinhaltet sowohl den Eigenstromverbrauch der Kraftwerke als auch die Netzverluste.

Aus regenerativer Wasserkraft ohne Pumpspeicherwerke wurden im Jahr 2006 rund 21,6 TWh [26] Strom erzeugt. Bezogen auf die gesamte Bruttostromerzeugung entspricht dies einem Anteil von 3,4 %. Die Differenz zu dem in Bild 1 ausgewiesenen Anteil von 4,2 % ergibt sich aus der Stromerzeugung durch Pumpspeicherwerke, die bei Betrachtung der Wasserkraft beinhaltet sind, jedoch nur unter besonderen Umständen (zum Beispiel Strom aus regenerativen Quellen wird gespeichert) zur regenerativen Wasserkraft gerechnet werden dürfen. Die Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in 2006 ist in Bild 2 dargestellt.

Die Stromerzeugung aus Klärgas lag im Jahr 2006 bei rund 0,9 TWh/a [61] und hatte damit einen Anteil von rund 0,15 % bezogen auf die Bruttostromerzeugung in Deutschland.

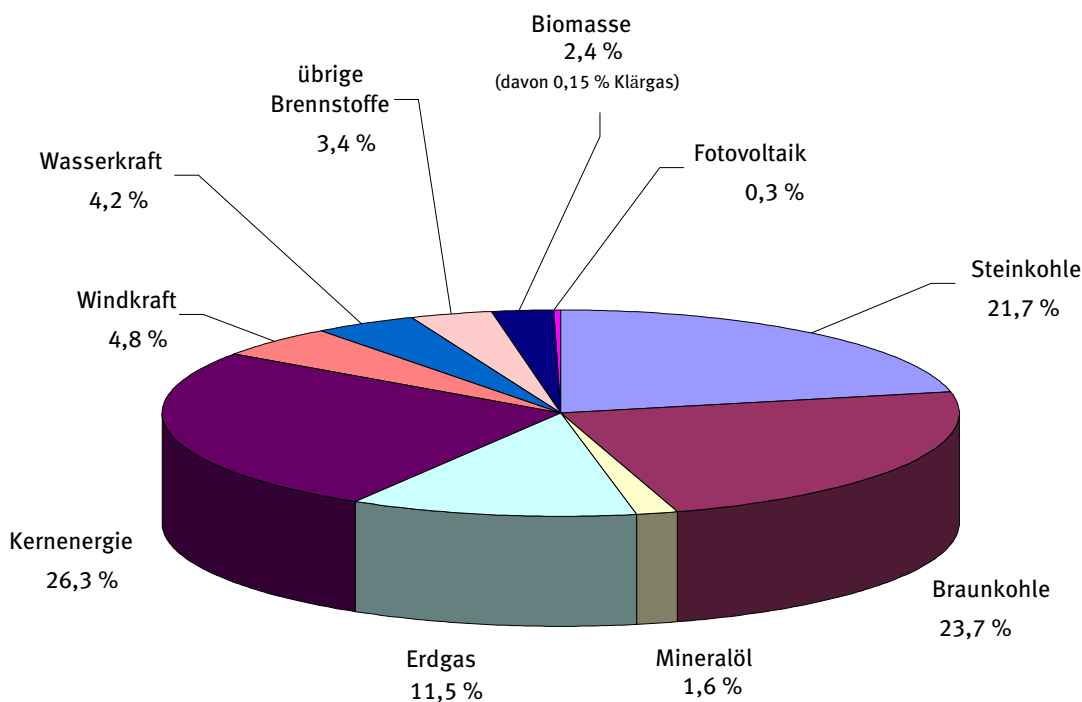


Bild 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2006 nach Energieträgern [Datenherkunft 26]

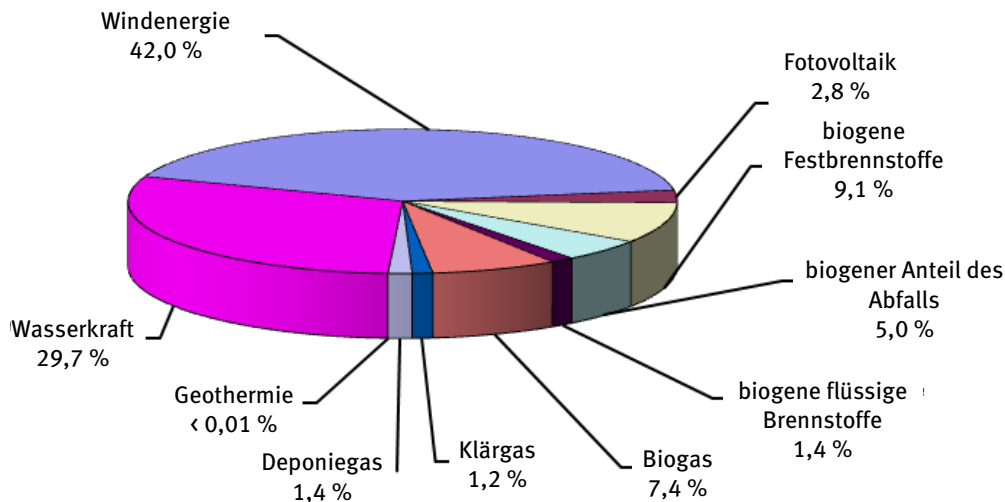


Bild 2: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006 [Datenherkunft 62]

Durch bislang nicht genutzte Potenziale kann die Wasserwirtschaft das Ausbauziel der Bundesregierung, das einen Anteil der erneuerbaren Energien von 20 % am Primärenergieverbrauch bzw. von 25 % – 30 % an der Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 vorsieht, unterstützen. Gleichzeitig kann sie durch immer effizienteren Einsatz von Energie zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und somit zum Klimaschutz beitragen. Die in dieser Studie vorgenommene Abschätzung der Potenziale basiert unter anderem auf Annahmen zu zukünftigen Entwicklungen. Ob und in welchem Umfang und Zeitraum diese Potenziale in der Praxis genutzt werden können, ist neben der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit im Einzelfall von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung insbesondere auf dem Energiesektor, eventuellen Versorgungsengpässen und den politischen Rahmenbedingungen abhängig.

Im nachfolgenden Abschnitt 2 finden sich erläuternde Anmerkungen zu der in der Stufe I des Vorhabens durchgeführten Literaturstudie. Die in den Abschnitten 3 bis 7 vorgenommene Darstellung, Verifizierung und Bewertung wurde nach folgenden Themenfeldern unterschieden:

- Energie aus Wasserkraft
- Energie in Kläranlagen
- Energie in Kanalnetzen
- Energie in Trinkwasser
- Solarenergie auf wasserwirtschaftlichen Anlagen.

2 Anmerkungen zur Literaturrecherche

In die Literaturerfassung wurden folgende Informationsquellen einbezogen:

- Literaturdatenbank der DWA
- Bibliothek des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- LIDA-Datenbank der ibu-GmbH mit nachstehenden Schriftenreihen und Zeitschriften:
 - Bauingenieur
 - Gesundheitsingenieur – gi
 - gwf – Das Gas- und Wasserfach (Ausg. Wasser/Abwasser)
 - KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall
 - Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau
 - Wasser und Abfall
 - Wasserwirtschaft
 - Essen: Forum Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft
 - Aachen: Gewässerschutz-Wasser-Abwasser
 - Karlsruhe: Institut für Siedlungswasserwirtschaft
 - Bochum: Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
 - München: Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft
 - Stuttgart: Bereich zur Siedlungswasserwirtschaft
 - Braunschweig: Institut für Siedlungswasserwirtschaft
 - Hamburg-Harburg: Bereich zur Siedlungswasserwirtschaft
 - Hannover: Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft
 - Kassel: Wasser – Abwasser – Abfall
 - Darmstadt: Institut für W A R
 - Wien: Wiener Mitteilungen
- Bibliothek der TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH

Aus der großen Zahl recherchierter Quellen mit relevanten Stichworten wurden rund 400 Literaturstellen als wesentlich eingestuft und in die weitere Bearbeitung einbezogen. In Bild 3 ist die Anzahl der Literaturstellen aus den Jahren 1980 bis 2007 sortiert nach Erscheinungsdatum dargestellt.

Legt man den Rohölpreis als Indikator für die Energiepreisentwicklung zugrunde, zeigen sich zwei Energiepreisanstiege in den letzten 50 Jahren: 1981 und ab 2004 (siehe Bild 4). Bei einem Vergleich der Darstellungen in Bild 3 und Bild 4 ist eine gewisse Korrespondenz zwischen der Entwicklung des Rohölpreises und der Anzahl der Veröffentlichungen zum Thema „Energie in der Wasserwirtschaft“ zu erkennen. Es bleibt zu hoffen, dass zukünftig eine ständige Auseinandersetzung mit der Thematik stattfindet und nicht bei abklingendem Interesse der Öffentlichkeit oder fallenden Preisen das Problem der nachhaltigen und umweltfreundlichen Energiewirtschaft wieder aus dem Fokus der Fachwelt verschwindet.

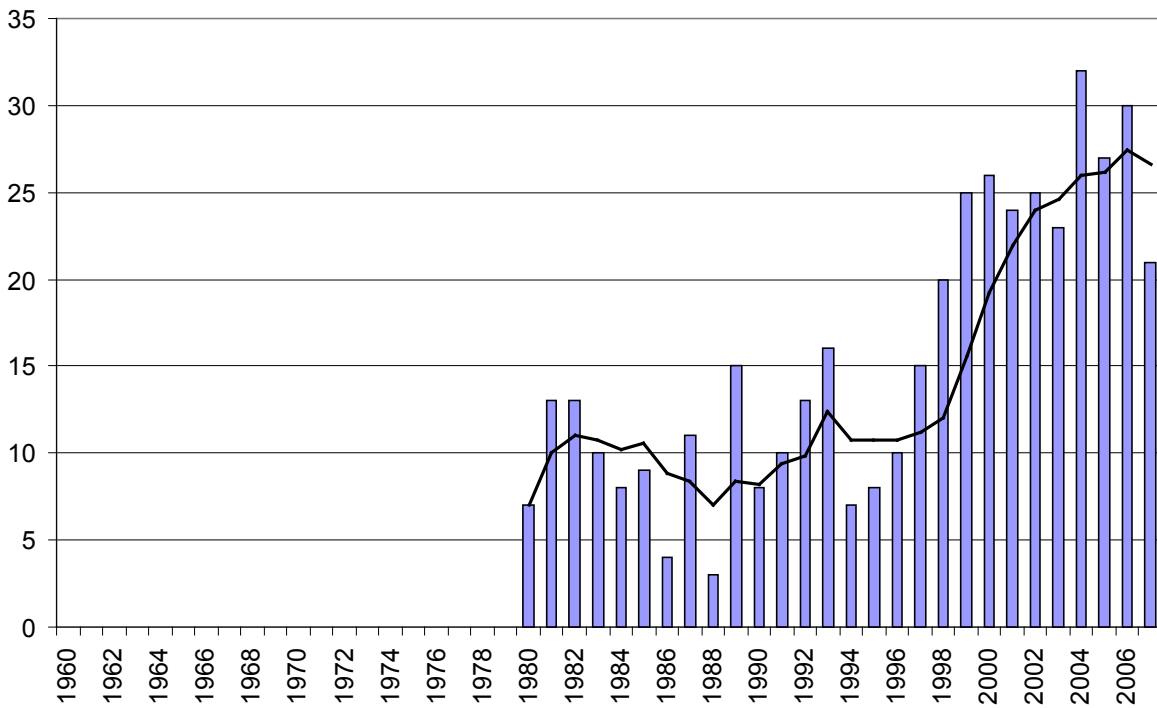


Bild 3: Anzahl relevanter Veröffentlichungen zum Thema Energie und Abwasser 1980 bis 2007

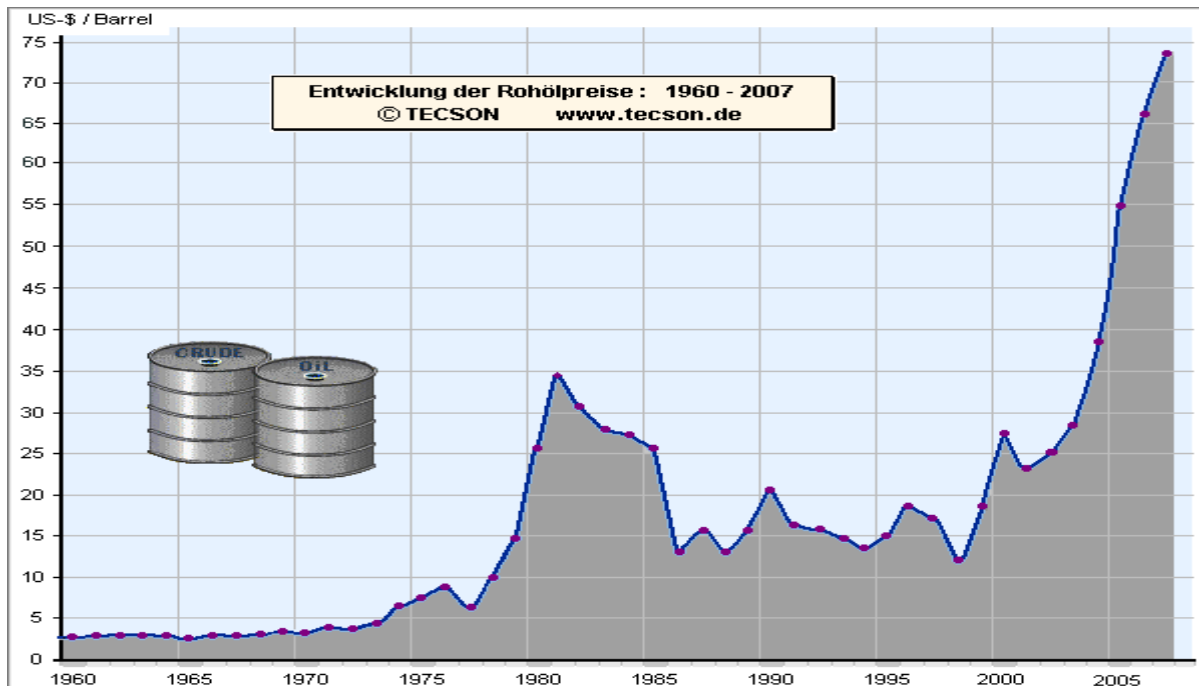


Bild 4: Entwicklung der Rohölpreise 1960 – 2007 [Datenherkunft 21]

3 Energie aus Wasserkraft

3.1 Historie

Wasserkraft stellt die älteste Verbindung von Energie- und Wasserwirtschaft dar. Eine Nutzung der durch Wasser bereitgestellten Kraft ist – belegt durch archäologische Funde – bereits aus dem antiken Griechenland und Rom bekannt. Vornehmlich wurden vorhandene Wasserräder zum Antrieb von Getreidemahlwerken oder Schöpfwerken verwendet. Jedoch wurde zu jener Zeit der Einsatz von billigen Arbeitskräften wie Sklaven und Tieren im Allgemeinen gegenüber der Wasserkraftnutzung bevorzugt.

Im Mittelalter wurden große Wasserräder aus Holz entwickelt, die durchaus eine Leistung von 35 kW bereitstellen konnten (siehe Bild 5). Über Jahrhunderte hinweg war das Wasserrad eine der wichtigsten Arbeitsmaschinen. Allein in Deutschland waren über 100.000 Wasserräder zum Antrieb von Getreidemühlen, Säge- und Hammerwerken im Einsatz [38]. Die Wasserkraft spielte eine entscheidende Rolle bei der europaweiten industriellen Entwicklung mit deutlichem Einfluss auf das rasche Wachstum der Textil-, Leder- und allgemeinen Fertigungsindustrie. Trotz der Erfindung der Dampfmaschine war die Wasserkraft bis Mitte des 19. Jahrhunderts unverzichtbar, da bis zur Fertigstellung von Kanälen als Wasserschiffahrtsstraßen die Anfuhr von Brennstoffen nur in relativ geringen Mengen möglich war.

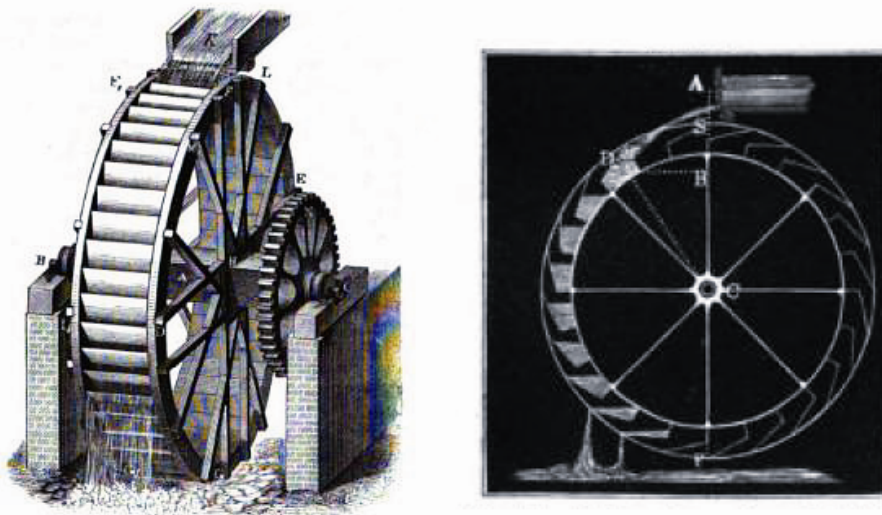


Bild 5: Oberschlächtiges Wasserrad (Quelle: „Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik“ von Julius Weisbach, Braunschweig 1851)

1824 entwickelte der Franzose Claude Burdin die erste Turbine, die innerhalb eines geschlossenen Systems durch den Wasserdruck angetrieben wurde. Werner von Siemens entdeckte 1866 das elektro-dynamische Prinzip und ebnete somit den Weg für die Stromerzeugung aus Bewegungsenergie.

Das erste Wasserkraftwerk zur Erzeugung von elektrischer Energie wurde 1880 im englischen Northumberland errichtet.

1898 ging das älteste deutsche Wasserkraftwerk, das Flusskraftwerk Rheinfelden am Hochrhein im Grenzgebiet zur Schweiz, in Betrieb (siehe Bild 6). Das Kraftwerk ist noch heute mit Teilen der originalen Maschinen aktiver Stromerzeuger. 2003 begann ein Neubau des Kraftwerkes am gleichen Standort, der spätestens 2019 abgeschlossen sein soll [45].



Bild 6: Altes Kraftwerk Rheinfelden (Foto: Wladyslaw Sojka, Quelle: www.wikipedia.org)

Obwohl die Nutzung der Wasserkraft in großen Kraftwerken bereits stark im Vormarsch war, wurden im Jahr 1925 in Deutschland noch 33.500 Wasserräder registriert. Sie lieferten damals eine Gesamtleistung von ca. 190 MW [37].

Bis zum Jahr 2003 stellte die Wasserkraft auf dem Sektor der erneuerbaren Energien in Deutschland den größten Anteil an der Bruttostromerzeugung bereit. Aufgrund der enorm steilen Entwicklung der bereitgestellten Windenergie seit Mitte der neunziger Jahre konnte diese die tendenziell gleich bleibende Wasserkraft von der Spitze der erneuerbaren Energieträger verdrängen [42] (siehe auch Bild 7).

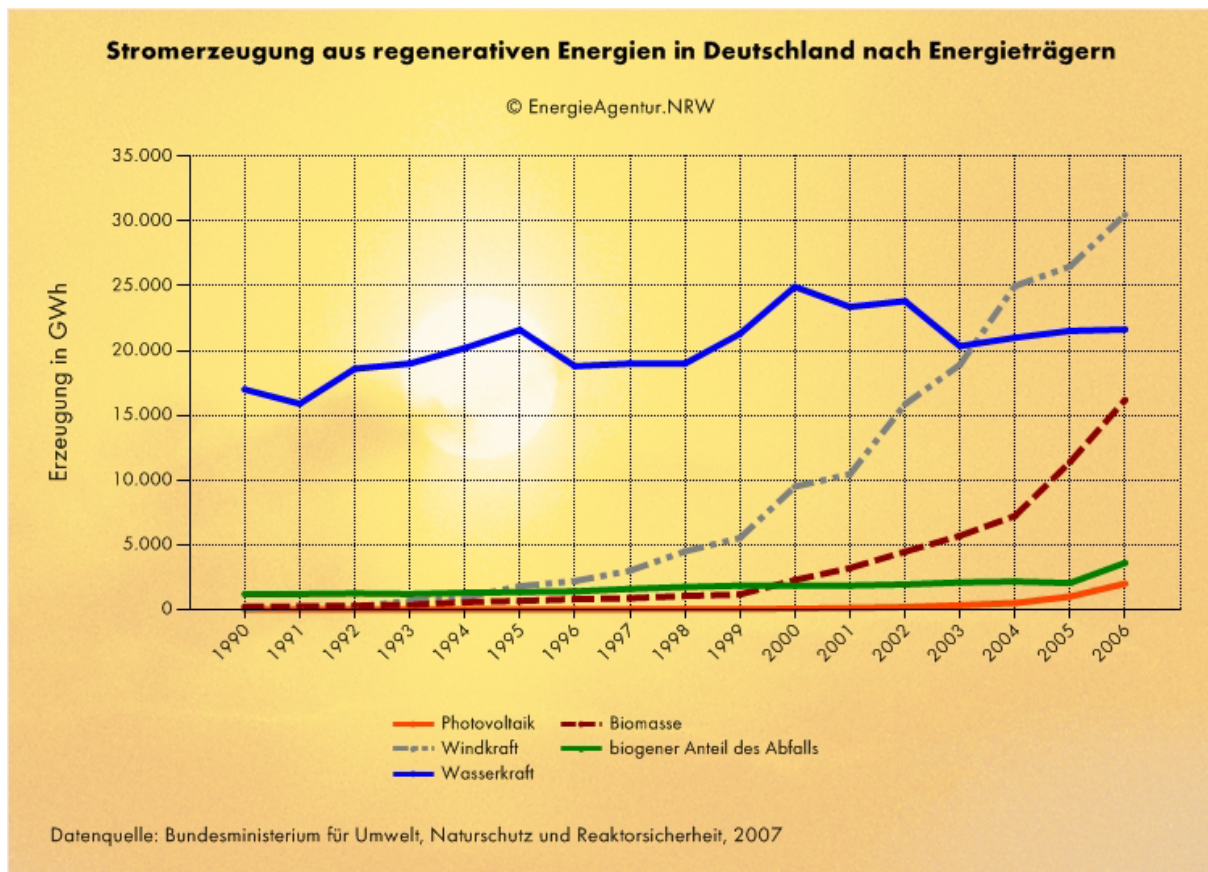


Bild 7: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern 1990 – 2006 [Datenherkunft 12]

3.2 Iststand der Energieerzeugung aus Wasserkraft

Die regenerative Wasserkraft trug im Jahr 2006 rund 20,0 TWh zur Bruttostromerzeugung in Deutschland bei, was einem prozentualen Anteil von 3,2 % [62] an der gesamten Bruttostromerzeugung von 635,8 TWh [26] entsprach. Hinzu kamen 1,3 TWh Bruttostromerzeugung aus nicht regenerativer Wasserkraft [27], zu welcher die Erzeugung mittels Pumpspeicherkraftwerken zählt, die nicht über die Nutzung eines natürlichen Zuflusses zur Energiegewinnung beitragen können. Bild 1 in Abschnitt 1 zeigt die Bruttostromerzeugung in Deutschland 2006 nach Energieträgern.

Bis Ende 2007 stieg der Teil der erneuerbaren Energien um 13,7 TWh, sodass 2007 etwa 14,3 % des deutschen Stromverbrauchs durch regenerative Energiequellen abgedeckt werden konnten. Der Beitrag der Wasserkraft blieb in 2007 im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren mit 21,7 TWh nahezu konstant [30].

Unterteilt nach Anlagentypen leisten Laufwasserkraftwerke mit 73 % den größten Anteil an der Stromerzeugung aus Wasserkraft gefolgt von Pumpspeicherkraftwerken mit 20 % und Speicherkraftwerken mit 7 % (Basis 1997) [32].

Wasserkraftwerke werden hinsichtlich ihrer installierten Leistung in kleine Wasserkraftanlagen mit weniger als 1 MW installierter Leistung und große Wasserkraftanlagen ab 1 MW installierter Leistung untergliedert. Im Jahr 2003 wurden im Rahmen der Erstellung eines Gutachtens zur Berücksichtigung großer Laufwasserkraftwerke im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), der so genannten „Fichtner-Studie“ [43], 155 Anlagen mit mehr als 5 MW Leistung registriert. In diesen Anlagen wurden in den letzten Jahren über 90 % der Energie aus Wasserkraft gewonnen [31]. Kleine Anlagen mit weniger als 1 MW installierter Leistung stellten Ende der neunziger Jahre nur 7 % – 9 % des Stroms aus Wasserkraft zur Verfügung [28]. Anlagen im Bereich zwischen 1 und 5 MW waren demnach nur zu einem geringen Anteil an der Stromerzeugung aus Wasserkraft beteiligt.

Im Rahmen einer Datenerhebung im Jahr 1999 [28] wurde ein Bestand von 403 großen Wasserkraftanlagen (354 Laufwasserkraftwerke, 49 Speicherkraftwerke) zuzüglich 31 Pumpspeicherkraftwerken mit mehr als 1 MW Leistung festgestellt. 248 Kraftwerke und damit ein überwiegender Teil dieser Anlagen weisen eine Leistung zwischen 1 und 5 MW auf [28] (siehe auch Bild 8).

Eindeutige Angaben zum Bestand kleiner Wasserkraftanlagen mit weniger als 1 MW Leistung in Deutschland scheinen derzeit nicht vorhanden zu sein, was auf einen deutlichen Datenerhebungsbedarf auf diesem Gebiet hinweist. In den bisher ausgewerteten Literaturquellen schwanken die Angaben zur Anzahl dieser Anlagen zwischen 4.881 (Stand 1996 [29]) und ca. 7.300 (Stand Ende 2006 [42]). Detaillierte Angaben in Bezug auf den Bestand kleiner Wasserkraftanlagen lagen gemäß [28] im Jahr 1999 nur für das Bundesland Bayern durch das dort geführte Wasserkraftanlagenkataster vor.

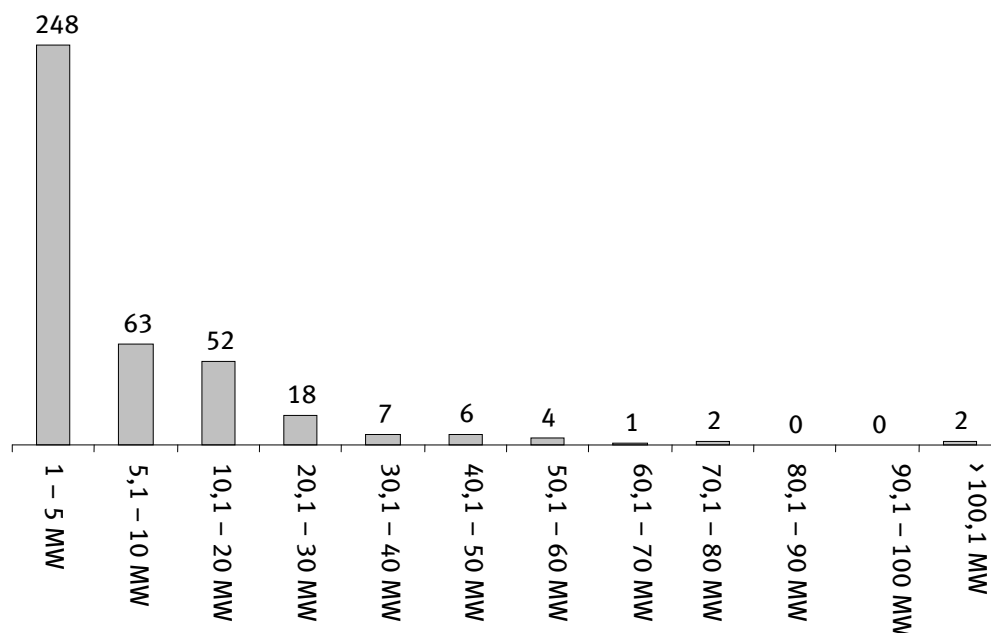


Bild 8: Anzahl der 1999 vorhandenen Wasserkraftwerke (ausgenommen Pumpspeicherkraftwerke) unterteilt nach ihrer installierten Leistung [Datenherkunft 28]

Im Zuge der Datenerhebung zur so genannten „Fichtner-Studie“ [43] wurde bei den vorhandenen Laufwasserkraftwerken mit mehr als 5 MW Leistung die folgende Altersstruktur festgestellt:

- Inbetriebnahme vor 1945 19 Stück
- Inbetriebnahme 1945 – 1970 48 Stück
- Inbetriebnahme nach 1970 34 Stück
- Inbetriebnahme keine Angabe 58 Stück

Kraftwerke älterer Bauart müssen ca. alle 50 Jahre weitreichenden Modernisierungsmaßnahmen unterzogen werden [34]. Stauwehre der alten Generation besitzen eine Lebensdauer von rd. 100 Jahren. Die Erneuerung vorhandener Stauwehre, die gewaltige Summen in Anspruch nehmen wird, steht an zahlreichen Wasserkraftanlagen an [34].

Neben der Lebensdauer der Anlage spielt auch die Konzessionsdauer im Hinblick auf erforderlich werdende Modernisierungen und weitergehende Investitionen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Bei einer Konzessionserneuerung, in der Regel alle 60 bis 80 Jahre, wird oftmals dem Kraftwerksbetreiber ein Katalog von Ausgleichsmaßnahmen auferlegt, dessen Umsetzung sich vielfach in massiven Investitionen niederschlägt [34].

3.3 Konflikte

3.3.1 Ökologische Konflikte

Die Wasserkraftnutzung beinhaltet aufgrund der erforderlichen technischen Bauwerke naturgemäß einen nicht unerheblichen Eingriff in die Ökologie eines Gewässers, sodass sich vielfältige ökologische Konfliktpunkte aber auch zusätzliche Zielkonflikte über die ökologische Betrachtungsweise hinaus nicht von der Hand weisen lassen. Insbesondere in Bezug auf die kleinen Wasserkraftanlagen ist die Diskussion zwischen Naturschutzgruppen und Wasserkraftanlagenbetreibern durchaus durch Schärfe und Brisanz geprägt. Die DWA mit ihrer heterogenen Mitgliederstruktur hat hier eine wichtige, moderierende Rolle. Dabei darf aber der frühere sehr stark von wirtschaftlichem Nutzen geprägte Blick auf die Gewässer nicht ins Gegenteil verkehrt werden, in dem die Gewässerökologie zum alleinigen Maßstab des Handelns wird. Für eine nachhaltige Entwicklung von Fließgewässern sind ökologische, wasserwirtschaftliche, ökonomische und soziale Ziele gleichermaßen zu berücksichtigen [64].

Wesentliche ökologische Konfliktpotenziale liegen in

- der Störung der Durchgängigkeit eines Gewässers,
- Lebensraumverlusten zum Beispiel durch verstärkte Sedimentation oder Monotonisierung der Strömungsverhältnisse,
- fehlende periodische Überflutungen von Auen unterhalb von Stauwehren,
- Unterbrechung des Feststofftransportes,
- Schädigung von Fischen und anderen wandernden Lebewesen.

Stauwehre für Wasserkraftanlagen stellen Querbauwerke und somit optisch auch für Außenstehende sichtbare Wanderungshindernisse für Fische und andere aquatische Lebewesen wie zum Beispiel Wirbellose dar. Doch auch die Unterschreitung eines Mindestwasserabflusses kann die Durchgängigkeit eines Gewässers behindern.

Der Bau einer Stauhaltung zur Wasserkraftnutzung zieht den Verlust von aquatischen Lebensräumen nach sich. Zu Lebensraumverlusten kann unter anderem die verstärkte Sedimentation vor den Stauwehren aber auch die Monotonisierung der Strömungsverhältnisse vor und unterhalb der Stauanlage führen.

Periodische Überflutungen von Auen unterhalb der Stauwehre bleiben aus, was eine Veränderung des Wasserhaushaltes der Auen und vielfach einen Verlust der Auenvegetation verursacht. Statt der natürlichen Abflussverhältnisse ist unterhalb der Stauwehre mit unnatürlichen Schwall- und Sunkverhältnissen zu rechnen. Zudem entstehen durch die Änderung der Abflüsse gegenüber dem natürlichen Zustand Änderungen der Wassertemperaturverhältnisse und des Sauerstoffgehaltes [29, inhaltliche Quelle der vorstehenden Absätze].

An den Querbauwerken von Wasserkraftanlagen wird der Feststofftransport in Form von Geschiebe, Totholz usw. unterbrochen [29, 31], der zur eigendynamischen Entwicklung der unterhalb liegenden Gewässerabschnitte beiträgt.

Bei der stromabwärts gerichteten Wanderung kann es zu einer Schädigung von Fischen und anderen wandernden Lebewesen (Wirbellosen) in den Turbinen kommen. Die Schädigung ist abhängig von der Turbinenart, dem Schaufelabstand, der Drehzahl, der Turbinenauslastung, der Fischart und Fischgröße [29, 31].

Einer Vielzahl der ökologischen Konflikte wird so weit wie möglich durch Gegenmaßnahmen entgegengewirkt. Die wohl bekannteste Maßnahme zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit ist die Erstellung von Fischaufstiegen und Umgehungsgerinnen, durch deren Gestaltung (raue Sohle) auch die artenspezifische Wanderung weiterer standorttypischer Organismen gewährleistet werden soll (siehe Bild 9).

Doch auch betriebliche Maßnahmen wie zum Beispiel eine Mindestwasserregelung (LAWA-Empfehlungen) oder die Durchführung einer Feststoffbewirtschaftung (Umlagerung von natürlichen Feststoffen, die sich vor der Stauanlage ansammeln) tragen zur Minderung der ökologischen Konflikte bei. Über eine gezielte Stauraumbewirtschaftung sollen annähernd natürliche Strömungsverhältnisse erhalten bleiben. Weitergehend kann eine Anpassung der Technik (Turbinen, Einlaufrechen) sowie die Anpassung des Betriebes auf das Wanderverhalten von Fischen (ggf. zeitweise Abschaltung der Turbinen) auch als Maßnahme zum Schutz der wandernden Lebewesen dienen [31].



Bild 9: Wasserrad Grüntal (Schweiz) mit Fischaufstieg

3.3.2 Sonstige Konflikte

Über die ökologischen Konflikte hinaus können bei der Wasserkraftnutzung noch vielfältige anderweitige Konfliktpunkte auftreten.

Beispiel für einen solchen Konflikt ist die konkurrierende Nutzung zur Energieerzeugung aus Wasserkraft und die Trinkwassergewinnung an Talsperren. Dem Ziel eines möglichst großen Turbinendurchflusses zur Maximierung der Leistung steht speziell in regenarmen Zeiten die Vorratshaltung für die Wassergewinnung entgegen. Zusätzlich ist für die Gewährleistung der Wasserqualität ein Mindestinhalt in den Talsperren einzuhalten, der wiederum Einschränkungen hinsichtlich des Nutzvolumens für die Energieerzeugung bedeutet. Durch die Aufstellung eines anlagenspezifischen und durchdachten Betriebsplanes für die Energiegewinnung/den Turbinenbetrieb unter Berücksichtigung der Maßgaben durch die Wassergewinnung lässt sich das Energiepotenzial an solchen Standorten optimieren, sodass sich Wasserversorgung und Turbinenbetrieb nicht ausschließen müssen [41].

Von der Wasserkraftnutzung gehen externe Effekte aus, die Auswirkungen in positiver und negativer Hinsicht auf die Ökologie aber auch auf soziale und gesamtwirtschaftliche Aspekte beschreiben.

Externe Nutzen beschreiben Vorteile, die Dritten durch die Anlage zu Gute kommen, ohne dass diese Nutzen entlohnt werden. Externe Nutzen umfassen beispielsweise die Anziehung von Tourismus durch eine Wasserkraftanlage oder die Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze während und nach der Bauzeit. Als weiterer wichtiger externer Nutzen ist die Verminderung von Luftschadstoffen durch die Wasserkraftanlage zu sehen. Externe Kosten entstehen durch eine Schädigung Dritter, die nicht ausgeglichen werden. Solche externen Kosten beinhalten beispielsweise Emissionen, die von Wasserkraftanlagen ausgehen (Lärm usw.) oder auch negative ökologische Auswirkungen. Durch die Bewertung der externen Effekte der Wasserkraftnutzung soll eine transparentere Darstellung der Auswirkungen einer Anlage möglich und Entscheidungen sowie Verfahren zu Gestattungen unterstützt werden [40].

3.4 Potenziale

3.4.1 Allgemeines

Innerhalb der Wasserkraftnutzung wird zwischen den folgenden Potenzialbegriffen unterschieden [46]:

Theoretisches Potenzial:

Das theoretische Potenzial umfasst die potenzielle Energie aller Gewässer eines Gebietes (Hydrologie, Geologie, Morphologie) ohne Berücksichtigung physikalischer, technischer und wirtschaftlicher Begrenzungen.

Linienpotenzial:

Das Linienpotenzial entspricht dem Arbeitsvermögen eines Fließgewässerabschnittes (Fallhöhe, Mittelwasserabfluss).

Technisch nutzbares Potenzial:

Das technisch nutzbare Potenzial definiert das Arbeitsvermögen unter Berücksichtigung technischer (Standortbedingungen, Wirkungsgradverluste), ökologischer, infrastruktureller und anderer Belange. Das technisch nutzbare Potenzial beträgt ca. 20 % – 30 % des theoretischen Potenzials.

Ausbauwürdiges Potenzial:

Das ausbauwürdige Potenzial berücksichtigt die Einschränkungen der Nutzung durch die Belange des Umwelt-, Natur-, Denkmal- und Landschaftsschutzes. [46]

Wirtschaftliches Potenzial:

Das wirtschaftliche Potenzial beinhaltet die betriebswirtschaftliche Beurteilung eines Standortes.

Mehr als Dreiviertel des technisch nutzbaren Wasserkraftpotenzials in Deutschland liegen in Bayern und Baden-Württemberg, während im Norden Deutschlands verhältnismäßig geringe Möglichkeiten der Stromerzeugung durch Wasserkraft bestehen. Weiterführende Detailinformationen zur Verteilung der Wasserkraftanlagen in Deutschland haben Heimerl und Giesecke erarbeitet und können [65] entnommen werden. Das technisch nutzbare Wasserkraftpotenzial gilt in Deutschland als zu ca. 70 % erschlossen [29].

3.4.2 Potenzial großer Wasserkraftanlagen

Aufgrund der bereits hohen Ausnutzung der Möglichkeiten zur großen Wasserkraftnutzung an Gewässern und unter Berücksichtigung aller Umweltaspekte wird die Erschließung neuer Standorte für große Wasserkraftanlagen nur sehr eingeschränkt möglich sein. Ein begrenzter Leistungszuwachs durch Neubauten ist daher vor allem im Bereich der Kleinwasserkraft zu erzielen [28].

Das umsetzbare zusätzliche Potenzial großer Wasserkraftanlagen ist aufgrund dieser Situation vornehmlich in Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen vorhandener Anlagen zu sehen.

Ein Beispiel für eine Modernisierungsmaßnahme ist der Austausch einer vorhandenen Francisturbine gegen eine Kaplan-turbine mit einem ca. 10 % höheren Wirkungsgrad. Weitergehend ist vielfach der Austausch einer veralteten Maschinentechnik mit einer Leistungssteigerung von bis zu 30 % verbunden [33]. Neben der Turbinen- und Maschinentechnik haben die Teile des Wasserbaus (Ein- und Auslaufbauwerke, Saugrohr) sowie die Regel- und Leittechnik entscheidenden Einfluss auf den Wirkungsgrad von Wasserkraftanlagen [43].

Für die 403 im Jahr 1999 erfassten Wasserkraftwerke mit mehr als 1 MW Leistung lässt sich nach Hochrechnungen durch eine weitreichende Modernisierung ein Zuwachs bei der Energieerzeugung aus diesen Anlagen um 12 % bis 15 % erzielen. Das entspricht einer zusätzlichen Leistung von ca. 400 bis 500 MW [28] bzw. 2.200 bis 2.700 GWh/a bezogen auf umgerechnet rd. 5.500 Volllaststunden/a.

Ähnliche Tendenzen ergeben sich aus der 2003 vorgelegten „Fichtner-Studie“ [43], die sich auf die Betrachtung der Laufwasserkraftanlagen mit mehr als 5 MW installierter Leistung beschränkt. Bei dieser Betrachtung lassen sich durch die Modernisierung von Turbinentechnik und Wasserbau bei den Anlagen > 5 MW 254 MW zusätzliche Leistung bereitstellen. Unter der Annahme von 6.000 Volllaststunden/a ergäbe sich aus dieser Leistungssteigerung ein Zuwachs der Stromerzeugung von 1.525 GWh/a. Aufgrund der hohen Investitionskosten, die infolge einer Modernisierung erforder-

lich sind, wird für die Zukunft angenommen, dass ausschließlich das zusätzliche Potenzial, das sich durch eine Turbinenerneuerung bereitstellen lässt (200 MW bzw. 1.195 GWh/a), als realistisch einzuschätzen ist. Die Umsetzung dieses Potenzials wird gemäß Schätzungen bis 2045 erfolgen [43].

Zusätzliches Potenzial bei den Anlagen > 5 MW Leistung kann im Rahmen von Erweiterungen vorhandener Anlagen (theoretisches Potenzial 239 MW bzw. 1.034 GWh/a) sowie stark eingeschränkt im Bereich von Neubauten (300 MW bzw. 1.862 GWh/a) erzielt werden. Aufgrund der langen Planungs- und Genehmigungsverfahren ist die Abschätzung einer Nutzung des Potenzials durch Anlagen-Neubau äußerst schwierig. Zusammenfassend wird das zusätzliche Stromerzeugungspotenzial (Mittelwert) aus Laufwasserkraftanlagen > 5 MW, das innerhalb von 10 Jahren bereitgestellt werden kann, auf 1.115 GWh/a bzw. 266 MW zusätzliche Leistung geschätzt [43].

Das Modernisierungspotenzial der vorhandenen großen Wasserkraftanlagen steigt mit dem Alter der Anlagen. Während bei Anlagen, die vor 1945 in Betrieb gegangen sind, etwa 15 % Leistungssteigerung erzielt werden kann, sind bei Anlagen nach 1985 nur noch rund 4 % Leistungszuwachs erreichbar [44].

3.4.3 Potenzial kleiner Wasserkraftanlagen

Das zusätzlich erschließbare Potenzial im Bereich der kleinen Wasserkraftanlagen mit weniger als 1 MW installierter Leistung wird auf ca. 500 bis 800 MW geschätzt. Die zusätzliche Erschließung dieses Potenzials wird vor allem in der Modernisierung vorhandener Anlagen sowie in der Reaktivierung stillgelegter Kleinwasserkraftwerke gesehen [29].

Bei der Neuerschließung von Standorten, aber auch bei Maßnahmen an vorhandenen Anlagen sind insbesondere die Bedürfnisse hinsichtlich der Ökologie der genutzten Fließgewässer abzuwägen und zu berücksichtigen.

An vielen Standorten mit niedrigen Fallhöhen stellt sich der Einsatz von Turbinentechnik unwirtschaftlich dar. Bei niedrigen Fallhöhen ist der Einsatz von Wasserrädern zur Energieerzeugung denkbar. Aus Modellversuchen sind für mittelschlächtige Wasserräder Wirkungsgrade zwischen 78 % und 87 % ermittelt worden [37]. Mit Hilfe von Wasserrädern ist eine sinnvolle Reaktivierung von alten Mühlenstandorten mit Leistungen von zum Teil sogar bis zu 10 kW möglich [38].

Zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit von Fließgewässern als Schritt zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist vielerorts – auch in flachen Regionen Deutschlands – der Rückbau von Wehren bzw. deren Nachrüstung mit einem Fischauf- und -abstieg erforderlich. Die Baumaßnahmen an diesen Wehranlagen sind vielfach umfangreich und bieten die Chance, mit relativ geringem Mehraufwand eine Wasserkraftnutzung durch Wasserräder ergänzend zu installieren (siehe Bild 10).



Bild 10: Stauanlage im westfälischen Borken – bisher ungenutztes Wasserkraftpotenzial

Neben der Wasserkraftnutzung an natürlichen Gewässern können sich auch prinzipielle Möglichkeiten an technischen Fließgerinnen ergeben, an denen eine Wasserkraftnutzung nicht mit ökologischen Konfliktpunkten verbunden ist. Beispielhaft für eine solche Nutzung des Wasserkraftpotenzials an technischen Fließgerinnen sei an dieser Stelle der – allerdings bisher kaum praktizierte und auf wenige Einsatzfälle beschränkte – Einsatz von Wasserrädern an Kläranlagenausläufen genannt, an denen vor Einleitung in den Vorfluter ein mehrere Meter tiefer Absturz der Auslaufwassermenge erfolgt [35] (siehe Bild 11).



Bild 11: Oberschlächtiges Wasserrad (14 kW, Durchmesser 4,8 m) am Auslauf des Klärwerks Warendorf
(Quelle: Bega Wasserkraftanlagen GmbH, Bochum)

3.4.4 Zusammenstellung der Potenziale

Zusammenfassend werden in der nachstehenden Tabelle 1 die Entwicklung in der Wasserkraftnutzung in den vergangenen Jahren sowie das derzeit geschätzte Entwicklungspotenzial wiedergegeben.

Tabelle 1: Entwicklung der Wasserkraft in Deutschland seit 1991

Jahr	Anlagen < 1 MW Leistung	Anlagen 1-5 MW Leistung	Anlagen > 5 MW Leistung	Energie ¹⁾	Quelle
Anzahl Anlagen					
1991				15,9 TWh/a	[26]
1995				21,6 TWh/a	[26]
1996	4.881			18,8 TWh/a	[26], [29]
1999		248	155	21,3 TWh/a	[26], [28]
2000				25,5 TWh/a	[26]
2003			159	19,0 TWh/a	[26], [43]
2004	~ 6.000			21,7 TWh/a	[26], [31]
2005				20,8 TWh/a	[26]
2006	~ 7.300			21,6 TWh/a	[26], [42]
2007				21,7 TWh/a	[30]
Noch erschließbares Potenzial					
zusätzliche Energie²⁾ in TWh/a	3,0 – 4,8	1,1 – 1,6 ³⁾	1,1 (bis 2013)	Gesamt: 5,2 – 7,5	[28], [29], [42]
1) Bruttostromerzeugung aus regenerativer Wasserkraft 2) bezogen auf ~ 6.000 Volllaststunden /a 3) Potenzial der Anlagen > 1 MW Leistung [28] abzüglich des zusätzlichen Potenzials, das durch Anlagen > 5 MW Leistung erzielt werden soll [42]					

In Tabelle 2 sind der Istzustand und das Entwicklungspotenzial summarisch dargestellt.

Tabelle 2: Energiepotenzial der Wasserkraft

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
1a	Wasserkraft, Istzustand 2006			21,70 TWh/a			
1b	Wasserkraft Potential ¹⁾			29,20 TWh/a			
HINWEIS: 1) Die Abschätzungen über den Zuwachs schwanken zwischen 5,2 und 7,5 TWh, angesetzt wurden hier 7,5 TWh							

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der Stromerzeugung aus Wasserkraft ein Zuwachspotenzial von rund einem Drittel entsprechend 5,2 bis 7,5 TWh/a bezogen auf den Istzustand realistisch erscheint. Mit diesem Zuwachs könnten bis zu 1,7 Mio. Vier-Personen-Haushalte (Stromverbrauch 4.500 kWh/a) mit Strom versorgt werden.

4 Energie in Kläranlagen

4.1 Vorbemerkungen

Die deutsche Siedlungswasserwirtschaft leistet seit vielen Jahrzehnten einen Beitrag zur Stromerzeugung durch die Verstromung des bei der anaeroben Klärschlammbehandlung anfallenden Klärgases.

Die Stromerzeugung aus Klärgas betrug im Jahr 2006 ca. 0,9 TWh pro Jahr. Damit waren die Kläranlagen mit ca. 1,1 % an der Stromerzeugung aus regenerativen Energien beteiligt [62], bezogen auf den gesamten Stromendverbrauch in Deutschland (617 TWh in 2006 [75]) lag der Anteil bei rund 0,15 %.

Kläranlagen tragen ebenfalls zur Wärmeerzeugung bei. Der Wärmebedarf betrug im Jahr 2005 in Deutschland 1.437 TWh und ist damit etwa dreifach höher als der Stromverbrauch (617 TWh in 2006 [75]).

Der Anteil der mit Blockheizkraftwerken (BHKW) aus Klärgas erzeugten Wärme lässt sich entsprechend den Berechnungen in Abschnitt 4.3.2.2 mit ca. 1,8 TWh/a im Jahr 2005 abschätzen. Dies entspricht einem Anteil von ca. 1,2 % der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland.

Neben diesem Beitrag zur Energieerzeugung sind Kläranlagen aber auch die größten kommunalen Energieverbraucher. So wird der Stromverbrauch der Kläranlagen in Deutschland mit mehr als 4,2 TWh/a [10,11] bis 4,4 TWh/a [57] abgeschätzt und liegt damit deutlich über dem Stromverbrauch aller Schulen (3 TWh/a laut [1, Seite 6]) oder dem der Straßenbeleuchtung (im Mittel 40 kW/E · a, also bei 80 Mio E rund 3,4 TWh/a).

Der Wärmeverbrauch der Anlagen lässt sich in Anlehnung an die Situation in NRW [1, Seite 27] zu rund $0,9/1,2 = 75\%$ des Stromverbrauchs abschätzen, also zu rund 3,2 TWh pro Jahr.

Bei der Energieoptimierung von Kläranlagen steht neben der Energieerzeugung immer zuerst die Energieverbrauchsminimierung bzw. Energieeffizienzsteigerung im Fokus. Die Vorgehensweise bei der Energieeinsparung ist in [1] und vergleichbaren Handbüchern anderer Bundesländer und der Schweiz detailliert beschrieben. Eine Anpassung an neue Entwicklungen soll kurzfristig erfolgen, ein unterstützendes DWA-Arbeitsblatt wird erstellt.

Die Energie-Erzeugungspotenziale der Kläranlagen können allgemein als regenerative Energien bezeichnet werden und folgenden Bereichen zugeordnet werden:

- Klärgas¹⁾ (elektrisch und thermisch nutzbar)
- Energie aus der Schlammverbrennung

1) Anmerkung: Klärgas umfasst als Oberbegriff alle Arten der Gasgewinnung aus Klärschlamm (z. B. auch Pyrolysegase). Der Begriff Faulgas ist beschränkt auf das bei anaeroben Prozessen entstehende Klärgas.

- Thermische Energie des Abwassers oder des Vorfluters (durch Wärmepumpen nutzbar)
- Wasserkraft bei nutzbaren Wasserspiegelgefällen im Wasserweg oder entlang des Vorfluters

Weitere Potenziale sind nicht direkt mit der Aufgabe der Abwasserreinigung verbunden, bieten sich aber zum Einsatz auf Kläranlagen an:

- Bioabfall-Verarbeitung (Co-Vergärung und getrennte Verarbeitung am Standort Kläranlage)
- Geothermie
- Solare Energie (Solarthermie, Fotovoltaik)

4.2 Historie

Abwasserreinigung besteht zu großen Teilen aus einer Aufkonzentration der Abwasserinhaltsstoffe im Klärschlamm. Wegen seines hohen Anteils an organischer Masse geht dieser Schlamm sehr schnell in Fäulnis über. Um Geruchsbildungen zu vermeiden und die Schlammmenge zu reduzieren bzw. eine verbesserte Entwässerbarkeit zu ermöglichen, muss der organische Anteil im Schlamm gesenkt werden („Schlammstabilisierung“).

Mit Beginn des 20. Jahrhunderts erfolgte eine Schlammstabilisierung in durchflossenen Faulräumen („Septic Tank“), in denen der Schlamm bis zu einem Jahr verblieb. Die Erkenntnis, dass Abwasser frisch zu halten ist sowie Abwasser und Schlamm separat effektiver zu behandeln sind, führte zur Trennung von Absetzraum und Faulraum [15].

Der sogenannte Emscherbrunnen stellte eine Weiterentwicklung der Septic Tanks dar. Der eigentliche Faulraum wurde nun nicht mehr durchströmt und gewährte dem abgesetzten Schlamm eine Aufenthaltszeit von 60 Tagen.

Die gezielte Klärgaserzeugung wurde erstmalig 1921 durch einen vollständig mit Gasfängern ausgerüsteten Emscherbrunnen realisiert. Die Erzeugung von energiereichem Klärgas trat nun in den Vordergrund des Interesses. Mit dem Ziel, die Faulung zu intensivieren, begann man, den Faulraum aufzuheizen und umzuwälzen. Die außen liegende Umwälzung bot überdies den Vorteil, den eingebrachten Faulschlamm zu impfen und notwendige Aggregate wie Pumpen und Wärmetauscher außerhalb des Faulraumes aufzustellen.

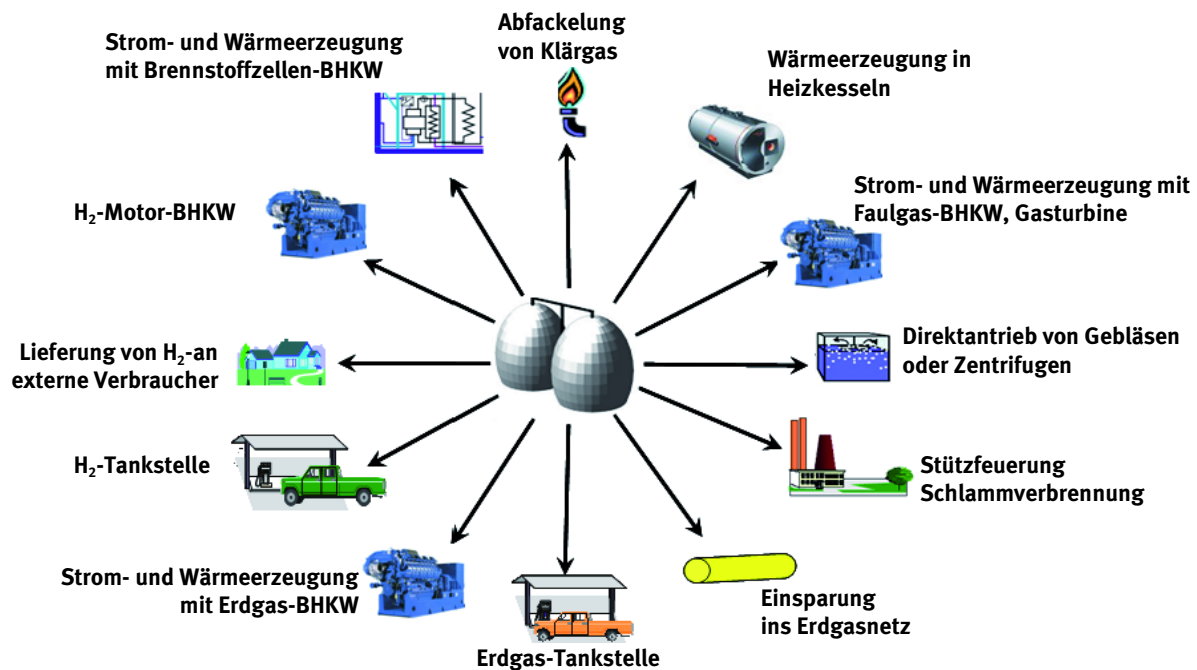


Bild 12: Chronologie der Klärgasnutzungsmöglichkeiten, weiterentwickelt und modifiziert nach [Datenherkunft 16]

Die Verwertung von Klärgas hat sich geschichtlich entwickelt, beginnend mit einer einfachen Abfackelung des Gases über Befeuerung von Heizkesseln bis zur Nutzung in Klärgas-Blockheizkraftwerken (siehe Bild 12). Diese erfolgte bereits früh in Gasmotoren, die in der Folgezeit erhebliche technische Optimierungen erfuhren und heute in vielfältigen Kombinationen eingesetzt werden können, beispielsweise als Otto-Gasmotor in einem BHKW oder als reine Kraftmaschine [17].

Trotz der beschriebenen Möglichkeiten der Klärgaserzeugung und -verwertung wurden viele Kläranlagen in Deutschland mit einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung gebaut, da niedrige Energiepreise und geringe Schlammmentsorgungskosten die höheren Investitionskosten für die getrennte anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung) nicht rechtfertigten.

Die niedrigen Energiepreise waren auch ein Grund dafür, dass die Energieoptimierung auf Kläranlagen (Verbrauchssenkung, Effizienzsteigerung) lange Zeit nicht im Fokus der Kläranlagenbetreiber stand. Zudem lag der Energieverbrauch der Anlagen bis in die 90iger Jahre des 20. Jahrhunderts wegen der geringeren Ablaufanforderungen und der damit verbundenen energiesparenden Verfahrenstechnik bei nur 17,5 kWh/(E·a) [18]. Berechnet man den heutigen mittleren Strombedarf von Kläranlagen, so ergibt sich seit 1980 eine Verdopplung des mittleren spezifischen Strombedarfs auf ca. 35 kWh/(E·a) (Gesamtstrombedarf von 4,2 TWh/a bezogen auf die Gesamtanschlussgröße von 121 Mio. E laut [7] für Kläranlagen > 2.000 E).

Aus den genannten Gründen fand erst zu Beginn der 80iger Jahre des letzten Jahrhunderts eine systematische Auseinandersetzung mit dem Thema Energieoptimierung von Kläranlagen in der Literatur statt (siehe auch Bild 3). So erschien im Jahr 1982 in der Zeitschrift KA – Korrespondenz Abwasser erstmalig ein Schwerpunktheft zur Energieeinsparung [19]. Darin wurde ein Themenspektrum von der Abwasserwärmenutzung bis hin zur Erzeugung von Öl aus Klärschlamm und Wärmenutzung auf Kläranlagen und in Kanalnetzen behandelt.

Bei Kläranlagen ohne Faulung reduzierte sich der Wärmebedarf auf die Gebäudebeheizung und war damit wirtschaftlich unbedeutend. Erst mit Einführung der beheizten Faulbehälter mit einem Wärmeniveau von ca. 36 °C wurde auch die Wärmeversorgung von Kläranlagen zu einem Wirtschaftsfaktor. In der Regel konnte dieser Bedarf durch das anfallende Klärgas gedeckt werden. Trotzdem mussten aus Sicherheitsgründen und zur Abdeckung von Bedarfsspitzen im Winter Zusatzheizungen installiert werden.

Der in Kläranlagen anfallende Klärschlamm wurde unabhängig von der Art der Stabilisierung ursprünglich meist landwirtschaftlich bzw. im Landbau verwertet oder deponiert. Mit Änderung der Abfallgesetzgebung, insbesondere dem Verbot der Deponierung von Stoffen mit einem organischen Anteil größer 5 %, stand der Entsorgungsweg Deponie für Klärschlamm nicht mehr zur Verfügung. Auch die landwirtschaftliche Verwertung wird in einigen Bundesländern kritisch gesehen, kann aber unabhängig davon den Ausfall der Deponierung nicht kompensieren. Die thermische Verwertung des Klärschlammes wird zukünftig einen wesentlichen Entsorgungsweg darstellen.

4.3 Stand der Technik und Potenziale

4.3.1 Kläranlagen in Deutschland

In Deutschland werden rund 10.000 Kläranlagen (ohne Kleinkläranlagen) betrieben, die sich wie in Bild 13 dargestellt auf einzelne Größenklassen verteilen. In Bild 14 sind Anschlussgrößen, das heißt die tatsächliche Belastung der Kläranlagen, und in Bild 15 die Ausbaugrößen bzw. Bemessungsgrößen dargestellt. Das Verhältnis liegt bei 124 zu 155 Mio. E, so dass die theoretische Gesamtreserve der Kläranlagen in Deutschland bezogen auf die Ausbaugröße mit

$$(155-124)/155 = \text{rund } 20 \%$$

abgeschätzt werden kann.

Hinzuweisen ist auf die Tatsache, dass in den 2.214 Anlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 10.000 E rund 90 % der gesamten Kläranlagenkapazität also ca. 140 Mio. E erfasst sind.

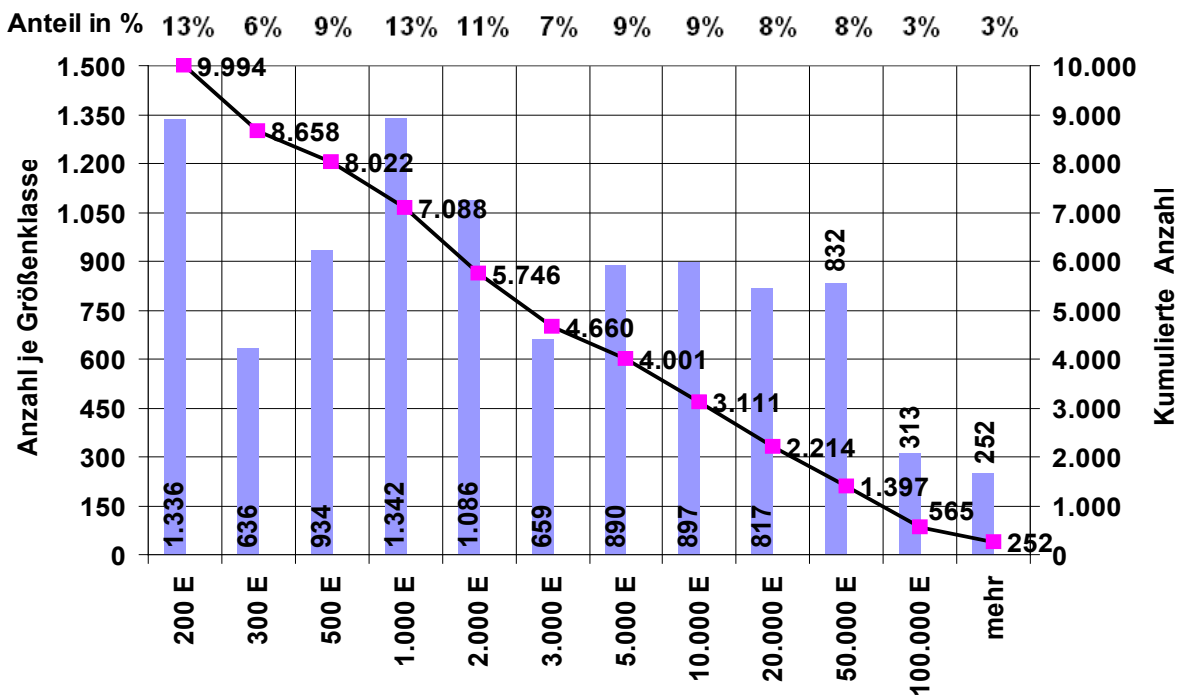


Bild 13: Anzahl der Kläranlagen nach Größenklassen [Datenherkunft 7]

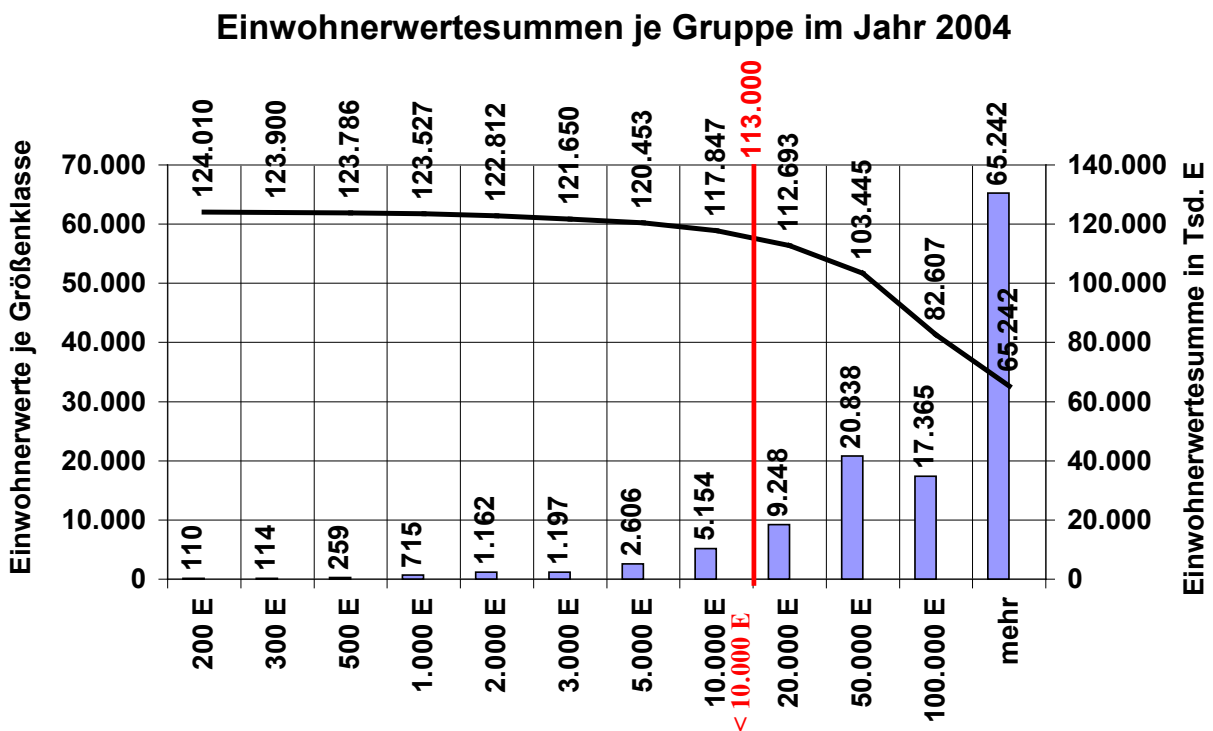


Bild 14: Statistische Verteilung der Kläranlagenanschlussgrößen in Einwohnerwerten (E) im Jahr 2004 in Deutschland [Datenherkunft 7]

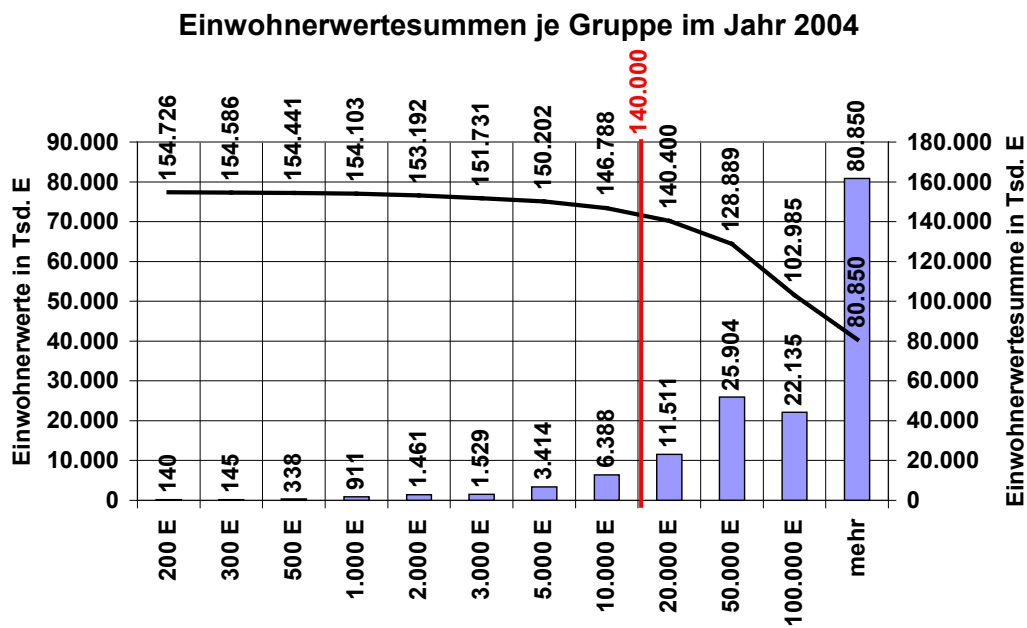


Bild 15: Statistische Verteilung der Kläranlagen-Bemessungsgrößen in Einwohnerwerten (E) im Jahr 2004 in Deutschland [Datenherkunft 7]

4.3.2 Klärgaserzeugung und -nutzung

4.3.2.1 Kläranlagen mit Klärgasgewinnung

Das Statistische Bundesamt erfasst seit 1964 Zahlen zur Klärgasgewinnung [61], die nicht veröffentlicht, aber auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden. In Bild 16 sind auf Basis dieser Zahlen die Anzahl der Kläranlagen mit Klärgasproduktion und die insgesamt jährlich erzeugte Klärgasmenge in den Jahren 1965 bis 2006 dargestellt.

Seit 1998 ermittelt das Statistische Bundesamt zusätzlich Zahlen zur Eigenstromerzeugung (siehe Fragebogen im Anhang 1 aus [60]). Für das Jahr 2006 ergab sich aus der Umfrage [61] eine Zahl von 1.190 Kläranlagen, die eine Klärgasmenge von rund 710 Mio. m³/a erzeugten. Leider werden die Anschluss- und Ausbaugrößen der Kläranlagen nicht mit angefragt und ausgewertet. Hier besteht Nachbesserungsbedarf für zukünftige Umfragen. Daher wird nachstehend die Anschlussgröße über theoretische Literaturansätze abgeschätzt:

1.190 Kläranlagen erzeugten rund 710 Mio. m³ Klärgas. Bei einem spezifischen Klärgasanfall von 450 l/kg oTS_{zu} (Richtwert bei C- und N-Elimination nach [1]), einem Schlammanteil von rund 70 g/(E·d) (Primär- und Überschussschlamm, [23], vgl. auch Abschnitt 4.3.5) und einem mittleren organischen Anteil im Schlamm von 64 % (Mittelwert nach [2]) ergibt sich ein spezifisches Klärgasvolumen

$$450 \text{ l/kg oTS}_{\text{zu}} \cdot 0,07 \text{ kg/(E} \cdot \text{d)} \cdot 0,64 = \text{ca. } 20 \text{ l/(E} \cdot \text{d)}.$$

Legt man diese spezifische Klärgasproduktion zugrunde, lässt sich aus dem Klärgasanfall von 710 Mio. m³/a eine Anschlussgröße von rund 97 Mio. E ableiten. Diese entspricht rund 78 % der gesamten Kläranlagenanschlussgröße in Deutschland in 2006.

Würden niedrigere Ansätze zugrunde gelegt (400 l/kg oTS_{zu}, 60 % oTS) ergäbe sich ein spezifischer Klärgasanfall bei rund 17 l/(E·d). Damit läge die theoretische Anschlussgröße der Kläranlagen mit Klärgasproduktion von rund 116 Mio. E. Diese Zahl ist größer als die Gesamtanschlussgröße aller Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 10.000 E (vergleiche Bild 14) und damit unrealistisch. Für die weitere Potenzialabschätzung wurden daher der Ansatz von 20 l/(E·d) zugrunde gelegt. Dieser Ansatz entspricht auch den bisherigen Ansätzen im DWA-Regelwerk. So wird in [66] der Gasanfall für Kläranlagen mit Belebungsbecken, BSB₅-Schlammalter 8 Tage, im Mittel mit 20,7 l/(EW · d) angesetzt. Bei Anlagen mit höherem Schlammalter wird der Gasertrag nach diesem Arbeitsblatt allerdings deutlich zurückgehen.

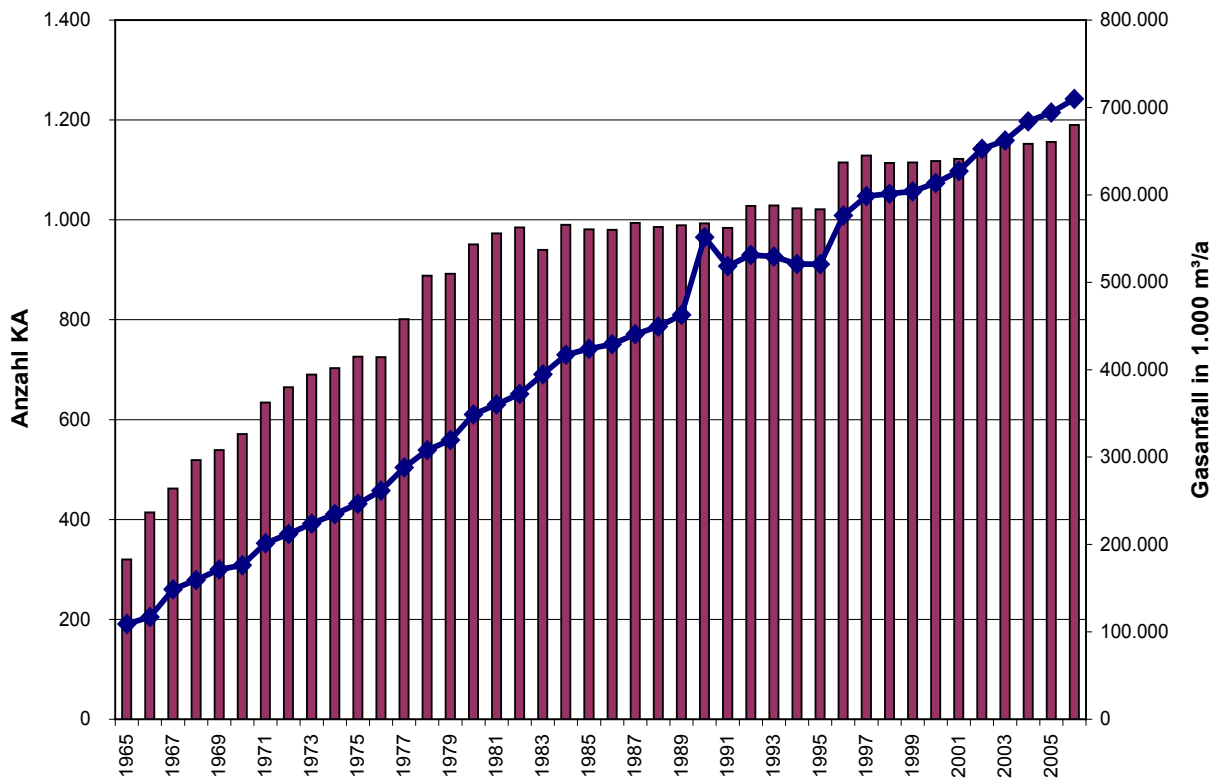


Bild 16: Anzahl der Kläranlagen mit Faulgasproduktion und jährlich produzierte Faulgasmenge [Datenherkunft 61]

Hier besteht ein deutlicher Datenerhebungs- und Verifizierungsbedarf.

Nach der Klärschlammhebung der DWA zum Stand 2003 [8, Seite 28] wurden 925 Kläranlagen in Deutschland mit Faulung betrieben, die Anschlussgröße dieser Anlagen lag bei 73 Mio. E. Das Statistische Bundesamt weist zum gleichen Zeitpunkt 1.153 Kläranlagen mit Faulgasproduktion aus, die erzeugte Faulgasmenge lag bei rund 662 Mio. m³. Legt man wiederum eine spezifische Klärgasproduktion von 20 l/(E·d) zugrunde, entspricht dies einer Anschlussgröße von rund 90 Mio. E. Die Abweichung ist vermutlich darin begründet, dass im Rahmen der DWA-Umfrage nicht alle Kläranlagen erfasst werden konnten.

Laut anderen Angaben des Statistischen Bundesamtes werden von den rund 10.000 Kläranlagen in Deutschland ca. 3.136 „mit Faulung“ betrieben [7]. Diese Zahl wurde in einer anderen Abteilung des Statistischen Bundesamtes erhoben und muss aufgrund der Fragestellung (Erhebungsbogen Frage G1 aus [7] Bild 17) insofern als weniger relevant angesehen werden, da in der entsprechenden Frage 1.1.1 jeder Betreiber einer kleinen Kläranlage mit Faulgrube mit „ja“ antwortet, hier aber keine Faulgaserzeugung erfolgt.

In 2006 wurden in 1.190 Kläranlagen eine Klärgasgewinnung/Faulung betrieben. Dies entspricht einem Anteil von rund 12 % bezogen auf die Gesamtanzahl der Kläranlagen in Deutschland.

G Klärschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung 2004 SA 11 Sst 10 - 11
(ausgenommen Rechen-, Sieb- und Sandfanggut)

1 Klärschlammbehandlung
 Bitte alle angewandten Behandlungsarten in dieser Anlage angeben, auch wenn nur Teilströme betroffen sind
 (Mehrfachnennung möglich):

1.1 biologische Schlammstabilisation		1.4 Hygienisierung (z.B. Pasteurisierung) ...	165 <input type="text"/>
1.1.1 anaerob (z.B. Faulung)	161 <input type="text"/>	1.5 Entwässerung, Eindickung, Konditionierung	166 <input type="text"/>
1.1.2 aerob (z.B. Langzeitbelebung)	162 <input type="text"/>	1.6 sonstige Behandlung	167 <input type="text"/>
1.2 chemische Behandlung (z.B. Kalkung)...	163 <input type="text"/>	1.7 keine Behandlung (in dieser Anlage)	168 <input type="text"/>
1.3 thermische Behandlung (z.B. Trocknung)	164 <input type="text"/>		

Seite 4 Erhebung über die öffentliche Abwasserbehandlung 2004

Sst 1-9

 Ident.-Nummer (Bitte freilassen)

Bild 17: Auszug aus dem Erhebungsbogen „öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ aus [7]

4.3.2.2 Klärgasverwertung

Im Jahr 2006 wurde laut Statistischem Bundesamt [61] das Klärgas der 1.190 Anlagen mit Klärgasgewinnung (Gesamtproduktion 710 Mio. m³/a) nur in 778 Fällen in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Produktion von Strom und Wärme verarbeitet [61]. Dabei wurden rund 507 Mio. m³ Klärgas eingesetzt. In weiteren 829 Fällen diente das Klärgas mit einer Menge von rund 122 Mio. m³ zur reinen Wärmeerzeugung (Heizungen) oder für Direktantriebe (zum Beispiel Gasmotoren für Turbobelüfter). Die Summe der Fälle von 778 + 829 = 1.607 liegt über der Anzahl der Kläranlagen (1.190) mit Klärgaserzeugung. Dieser scheinbare Widerspruch dürfte dadurch erklärt sein, dass auf vielen Anlagen parallel sowohl BHKW als auch Heizungen und/oder Direktantriebe eingesetzt werden.

Die nicht selbst verwertete Klärgasmenge (710-507-122 = 81 Mio. m³ Klärgas) setzt sich zusammen aus einem Anteil für Abgabe an Externe (rund 23 Mio. m³) und Verlusten (rund 58 Mio. m³).

Da vor 1998 keine Zahlen des Statistischen Bundesamtes zur Verstromung von Faulgas vorliegen, muss hier auf Literaturangaben zurückgegriffen werden. So wurde in einer Studie von 1983 [3, Seite 4-5] im Erfassungsjahr 1980 die gasmotorische Energienutzung auf 95 Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von rd. 16 Mio. E untersucht. Die Autoren der damaligen Studie schlossen aus Referenzlisten der Gasmotorenhersteller, dass damit 2/3 der Faulgas-motorenanlagen erfasst wurden – somit hätte sich der Nutzungsanteil auf 142 Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von 24 Mio. E ergeben.

Im Jahr 1990 wurde bei einer Wiederholung der Datenerhebung zur Faulgasnutzung auf Kläranlagen [2, Seite 87] nur eine geringfügig höhere Anzahl nämlich 98 Kläranlagen mit gasmotorischer Energienutzung untersucht, das heißt bei gleichem Erfassungsanteil von 2/3 wären zu diesem Zeitpunkt rund 150 Kläranlagen mit Faulgasmotoren ausgestattet gewesen. Eine proportionale Hochrechnung der Anschlussgröße führt zu einem Wert von ca. 25 Mio. E (= 150/142 · 24).

Die seit 1998 vorliegenden Zahlen der Umfrage des Statistischen Bundesamtes zur Stromerzeugung sind in Bild 18 dargestellt.

Mit den 507 Mio. m³ zur Stromerzeugung genutzten Klärgas werden rund 0,936 TWh Strom erzeugt [61]. Die 507 Mio. m³/a Klärgas hatten laut Betreiberangaben (Umrechnung je Betrieb aufgrund des durchschnittlichen Methan-gehalts) einen Primärenergiegehalt von rund

$$12,9 \text{ Mio. GJ, also rund } 12,9 / 3,6 \text{ MWh/GJ} \cdot 10^6 \text{ TWh/MWh} = 3,58 \text{ TWh.}$$

Damit lag der mittlere elektrische Wirkungsgrad bei 26,1 %.

Bei einem angenommenen Wärme-Wirkungsgrad von 50 % ergibt sich die jährliche Wärmeenergiemenge aus BHKW im Jahr 2006 zu $3,58 \cdot 0,5 = \text{rund } 1,8 \text{ TWh/a}$.

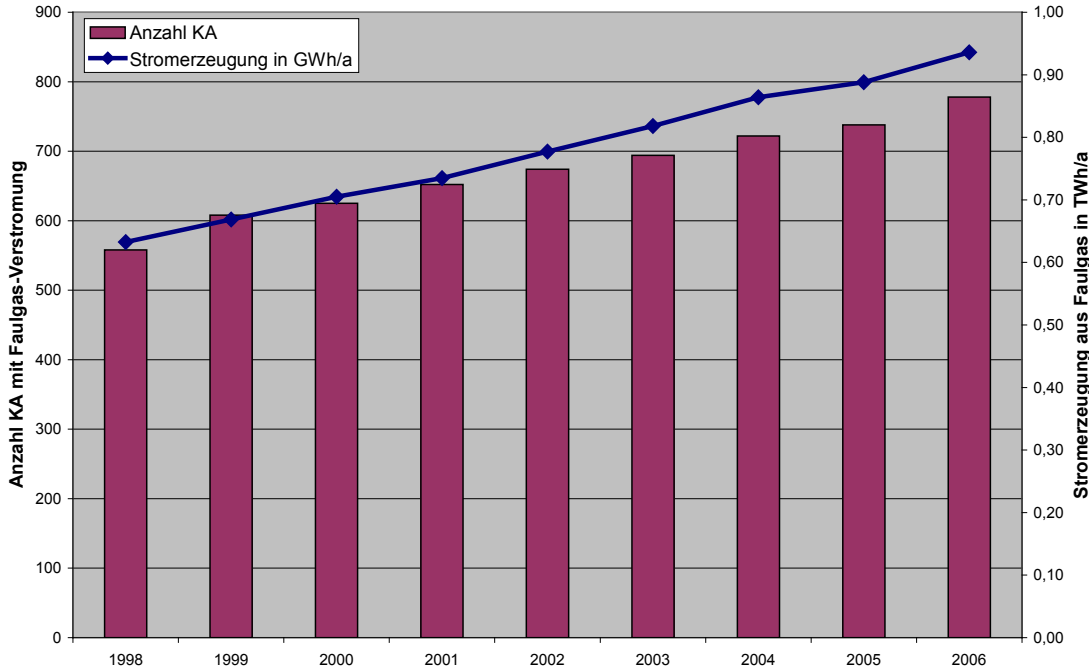


Bild 18: Anzahl der Kläranlagen mit Stromerzeugung aus Faulgas und jährlich produzierte Strommenge [Datenherkunft 61]

4.3.2.3 Potenziale der Klärgasverwertung

Zur Abschätzung des Potenzials der Energieerzeugung aus Klärgas wird von nachstehendem Ansatz ausgegangen:

Bei einem mittleren Energiegehalt im Faulgas von $6,5 \text{ kWh/m}^3$ (Annahme: Im Mittel 65 % Methangehalt) ergibt sich mit der vorstehenden Abschätzung von $20 \text{ l/(E}\cdot\text{d)}$ spezifischem Klärgasanfall eine spezifische Jahres-Primärenergiemenge im Klärgas von

$$6,5 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,02 \text{ m}^3/(\text{E}\cdot\text{d}) \cdot 365 \text{ d/a} = \text{rund } 48 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}).$$

Die im Jahr 2006 verstromte Klärgasmenge von $507 \text{ Mio m}^3/\text{a}$ entspricht bei dem Ansatz der spezifischen Klärgasproduktion von $20 \text{ l/(E}\cdot\text{d)}$ einer Anschlussgröße von rund 69 Mio. E . Wie in Abschnitt 4.3.2.1 berechnet wird aber auf Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von 97 Mio. E Klärgas produziert.

Bei dem spezifischen Primärenergiepotenzial von $48 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a})$ ergäbe sich für das Jahr 2006 für die Verstromung ein zusätzliches Primärenergiepotenzial von

$$(97 \text{ Mio. E} - 69 \text{ Mio. E}) \cdot 48 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}) \cdot 10^{-9} \text{ TWh/kWh} = 1,34 \text{ TWh/a}.$$

Bei einer kompletten thermischen Nutzung dieses Anteils mit einem Wirkungsgrad von 90 % ergibt sich eine theoretische Wärmeenergiemenge von $1,21 \text{ TWh/a}$.

Für die weiteren Überlegungen werden folgende Annahmen getroffen:

Die Wärmepotenziale der Kläranlage reichen bei modernen Anlagen zur Bedarfsdeckung aus (siehe Abschnitt 4.3.6). Eine Abgabe von überschüssiger Wärme an externe Nutzer ist in der Regel wegen der zu großen Entfernung zu den Verbrauchern weder technisch noch wirtschaftlich sinnvoll. Daher wird bei der Abschätzung der zukünftigen Potenziale als vorrangiges Ziel das Erreichen eines möglichst hohen elektrischen Wirkungsgrades für die Klärgasnutzung zugrunde gelegt.

Bei der Abschätzung des maximal denkbaren Energiepotenzials soll davon ausgegangen werden, dass die für die Faulgasnutzung notwendige Faulgaserzeugung erst ab einer Kläranlagengröße von 10.000 E wirtschaftlich ist. Damit werden die bisherigen Grenzen für die Faulgasnutzung (ab frühestens 15.000 E laut [67, Abbildung 4]), weiter nach unten korrigiert. Dies geschieht vor dem Hintergrund weiter steigender Energiepreise, wodurch sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze entsprechend verschoben hat. Diese Aussage entbindet den Betreiber nicht davon, eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für den jeweiligen Einzelfall aufstellen zu lassen, bevor die Entscheidung zugunsten einer Faulungsanlage getroffen wird.

Die Summe der Kläranlagenkapazitäten der größer 10.000 E dimensionierten Kläranlagen (insgesamt 2.214 Anlagen, siehe Bild 13) betrug 2004 140 Mio. E (siehe Bild 15) [7]. Die entsprechende Anschlussgröße lag in Summe bei ca. 113 Mio. E (siehe Bild 14). Die meisten Kläranlagen ohne getrennte anaerobe Schlammstabilisierung werden zurzeit als Belebungsanlagen ohne Vorklärung mit simultaner aerober Schlammstabilisierung betrieben. Werden diese Anlagen mit Faulungsanlagen ausgerüstet, muss gleichzeitig eine Optimierung des Wasserweges erfolgen (z. B. Errichtung einer Vorklärung, Senkung des aeroben Schlammalters). Andernfalls wird der spezifische Klärgasanfall so gering ausfallen, dass die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme nicht gegeben ist.

Bei einem elektrischen Gesamtwirkungsgrad der BHKW von 32 % lassen sich aus der vorstehend berechneten spezifischen jährlichen Primärenergiemenge von 48 kWh/(E·a)

$$48 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}) \cdot 0,32 = \text{ca. } 15,4 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a})$$

Strom erzeugen.

Mit diesem Ansatz ergibt sich ein Verstromungspotenzial von

$$113 \text{ Mio. E} \cdot 15,4 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}) \cdot 10^{-9} \text{ TWh/kWh} = 1,74 \text{ TWh/a.}$$

Durch Ausrüstung aller Kläranlagen größer 10.000 E mit Faulungsanlagen und Klärgas – BHKW ergibt sich mit diesem Ansatz auf Basis der in 2006 erzeugten Strommenge von rund 0,9 TWh/a ein theoretisches Zuwachspotenzial zur Stromerzeugung von rund 0,8 TWh/a. Dies entspricht einer theoretisch möglichen Steigerung von rund 90 %, also einer annähernden Verdopplung der Stromerzeugung aus Klärgas. Die elektrische Arbeit von 1,74 TWh/a entspricht bei Ansatz eines elektrischen Wirkungsgrades von 32 % einem Primärenergiegehalt von 5,44 TWh/a. Bei einem Wärme-Wirkungsgrad von 50 % ergibt sich die jährliche Wärmeenergiemenge zu 2,72 TWh/a.

Aufgrund verbesserten Aufschlusses des Rohschlammes (zum Beispiel durch Desintegration) bzw. optimierter Verfahren (Pyrolyse, Hydrolyse) könnte bei optimistischer Betrachtung der spezifische Klärgasanfall auf bis zu 650 l/kg oTR_{zu} gesteigert werden. Damit steigt die Primärenergiemenge um den Faktor 650 l/kg oTS_{zu} / 450 l/kg oTS_{zu} = 1,44 und ergäbe sich zu rund 7,86 TWh/a. Sicherlich werden in der wissenschaftlichen Literatur ausgehend von dem theoretischen Energiegehalt in der organischen Fracht noch höhere Werte für den spezifischen Klärgasanfall genannt, diese konnten aber in großtechnischen Anlagen bisher nicht bestätigt werden.

Wenn neben dieser Steigerung der Primärenergiemenge die Verstromung durch Einsatz moderner BHKW mit einem erwarteten elektrischen Gesamtwirkungsgrad von 40 % erfolgen würde, könnte die Stromausbeute sich zukünftig wie folgt ergeben:

$$650 \text{ l/kg oTS}_{\text{zu}} / 450 \text{ l/kg oTS}_{\text{zu}} \cdot 40 \% / 32 \% \cdot 15,4 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}) = \\ 1,44 \cdot 1,25 \cdot 15,4 = 27,7 \text{ bzw. rund } 28 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}).$$

Damit ergäbe sich bei der Stromerzeugung aus Klärgas eine Größenordnung von

$$113 \text{ Mio. E} \cdot 27,7 \text{ kWh}/(\text{E}\cdot\text{a}) \cdot 10^{-9} \text{ TWh/kWh} = \text{rund } 3,14 \text{ TWh/a}$$

beziehungsweise ein Zuwachs um 2,44 TWh/a gegenüber dem Zustand im Jahr 2000, also mehr als eine Verdreifachung. Das Stromerzeugungspotenzial steigt damit auf rund 3,14 TWh/a. Diese elektrische Arbeit entspricht bei Ansatz eines verbesserten elektrischen Wirkungsgrades von 40 % einem Primärenergiegehalt von 7,86 TWh/a. Bei einem Wärme-Wirkungsgrad von 45 % ergibt sich die jährliche Wärmeenergiemenge zu 7,86 TWh/a · 0,45 = 3,54 TWh/a, das bedeutet eine Verdreifachung gegenüber dem Istzustand im Jahr 2000.

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft

Bei 7.300 Jahres-Betriebsstunden müsste zur Nutzung des zusätzlichen Potenzials von 2,2 TWh/a (3,14-0,94) eine BHKW-Leistung von

$$2,2 \text{ TWh/a} \cdot 10^6 \text{ MWh/TWh} / 7.300 \text{ h/a} = \text{ca. } 300 \text{ MW}_{\text{el}}$$

installiert werden. Bei einem Kostenansatz von 2 Mio. €/MW_{el} ergibt sich ein Investitionsvolumen von 600 Mio. €. Hinzu kommen mittelfristig die Ersatzinvestitionen für die bestehenden, veralteten BHKW.

Wenn langfristig zusätzlich die Verstromung in Brennstoffzellen mit einem erwarteten elektrischen Gesamtwirkungsgrad bzw. Systemwirkungsgrad [siehe 68] von 50 % erfolgen würde, könnte die Stromausbeute sich zukünftig wie folgt darstellen:

$$50 \% / 40 \% \cdot 28 \text{ kWh/(E}\cdot\text{a)} = 1,25 \cdot 28 = \text{rund } 35 \text{ kWh/(E}\cdot\text{a)}.$$

Damit ergibt sich ein Zuwachs bei der elektrischen Arbeit um weitere 0,8 TWh/a, sodass das Potenzial auf rund 3,9 TWh/a steigt. Die Wärmeerzeugung sinkt um rund 0,4 TWh, liegt aber immer noch fast um den Faktor 3 höher als im Istzustand Jahr 2000. Dennoch könnte in diesem Fall ein Wärmefizit bei der Eigenwärmeversorgung auftreten, das anderweitig gedeckt werden müsste (siehe Abschnitt 4.3.6).

Schon in naher Zukunft eröffnen sich wie in Bild 12 dargestellt weitere Möglichkeiten, die ein Kläranlagenbetreiber in seine Überlegungen zur Gasverwertung einbeziehen kann. Hierbei ist konsequent zu unterscheiden zwischen einer Nutzung vor Ort zur Strom- und Wärmeerzeugung und der Möglichkeit zur Abgabe des Produktes in das Erdgasnetz oder als Kraftstoff an Fahrzeuge. Für die nachstehend erarbeitete Energiebilanz ist die Art der Klärgasverwertung nur von begrenzter Bedeutung. Hier werden letztlich Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Einzelfall, aber auch gesamtpolitische Entscheidungen wie zum Beispiel die Einführung einer wasserstoffbasierten Energie-Infrastruktur von Bedeutung sein.

In Tabelle 3 sind die vorstehend ermittelten Zahlen zusammengestellt. Es zeigt sich, dass bei Nutzung aller Möglichkeiten bei positiver Betrachtung langfristig eine Vervielfachung der Stromausbeute aus Klärschlamm bzw. Klärgas auf rund 3,9 TWh/a möglich ist. Dies entspricht dem Strombedarf von annähernd 900.000 Vier-Personen-Haushalten (4.500 kWh/a je Haushalt). Mittelfristig ist eine Verdoppelung durchaus realistisch.

Tabelle 3: Energiepotenzial aus Klärgas

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
2aa	Klärgas Ist-Situation (nur BHKW) ²⁾	3,60 TWh/a	1,80 TWh/a	0,94 TWh/a	50 %	26 %	76 %
2ab	nicht verstromte Menge ²⁾	1,34 TWh/a	1,21 TWh/a		90 %		
2b	+ Ausrüstung aller KA > 10.000 E mit BHKW =	5,44 TWh/a	2,72 TWh/a	1,74 TWh/a	50 %	32 %	82 %
2c	+ Steigerung Energieausbeute ^{3) 4)} =	7,86 TWh/a	3,54 TWh/a	3,14 TWh/a	45 %	40 %	85 %
2d	+ Stromerzeugung in Brennstoffzellen ⁴⁾ =	7,86 TWh/a	3,14 TWh/a	3,93 TWh/a	40 %	50 %	90 %

HINWEISE:
 2) Beim Istzustand wurde das Basisjahr 2006 gewählt. Es existierten 1.190 Kläranlagen mit Faulung mit einer Ausbaugröße von 97 Mio. E, von 69 Mio. E wurde das Klärgas verstromt (2aa). In 2ab wurde unterstellt, dass der gesamte restliche Klärgasanfall in Wärme umgesetzt wird.
 3) Die Steigerung beinhaltet neben der Verbesserung der Gasausbeute die Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades durch Einsatz besserer BHKW
 4) Beim Potenzial sinkt durch die veränderten Wirkungsgrade ($\eta_{\text{el}} = 40 \% \text{ bzw. } 50 \%$, $\eta_{\text{Wärme}} = 45 \% \text{ bzw. } 40 \%$) die Wärmearbeit zugunsten der elektrischen Arbeit.

4.3.3 Gaserzeugung aus Bioabfall (Co-Fermentation) und Biogasnutzung

Um die Effektivität und Effizienz der Energieerzeugung auf Kläranlagen zu steigern, werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert. Eine bedeutende Möglichkeit ist sicherlich die Aufnahme zusätzlicher Biomasse in bestehenden Anlagen (Co-Fermentation). Technische und rechtliche Rahmenbedingungen für die Co-Vergärung in kommunalen Kläranlagen sowie Hinweise zur Wirtschaftlichkeit sind in [76] enthalten. Eine Abschätzung von Roos [24] zeigt, dass hierfür nicht zwingend neue Faulbehälterkapazitäten aufgebaut werden müssten, sondern mit den vorhandenen Reserven bereits viele Bioabfälle verwertet werden können (siehe Bild 19).

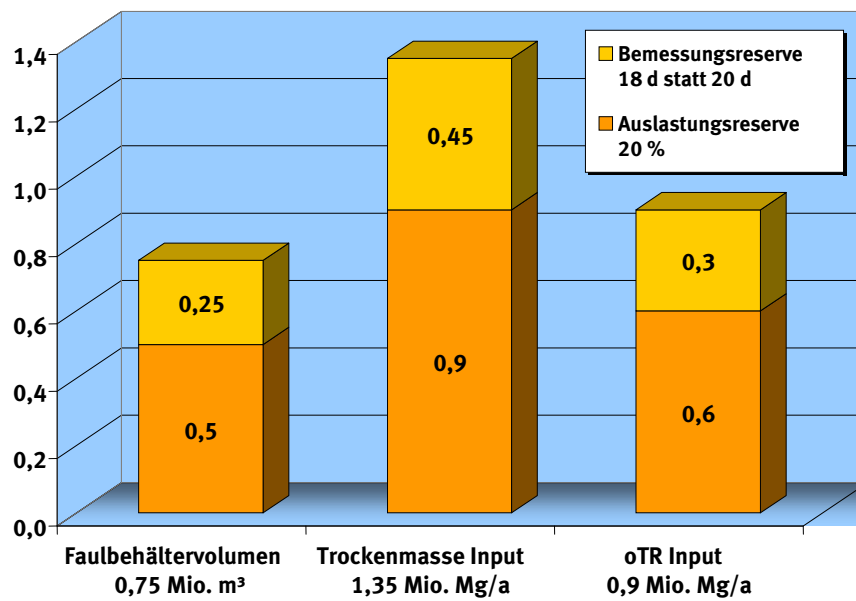


Bild 19: Kapazitätsreserven bestehender Faulbehälter in Deutschland nach [24]

Eine Verifizierung dieser Angaben ist schwierig. Die Auslastungsreserven können alternativ zu den Angaben von Roos wie folgt abgeschätzt werden:

Ausbaugröße Anlagen > 10.000 E nach Bild 14	= 113 Mio. E
Bemessungsgröße Anlagen > 10.000 E nach Bild 15	= 140 Mio. E
Reserve:	27 Mio. E

Bei einem spezifischen Schlammanfall von rund 70 g/(E·d) (Primär- und Überschussschlamm, vgl. auch Abschnitt 4.3.5) und einem organischen Anteil im Schlamm von 64 % (Mittelwert nach [2]) ergibt sich die organische Trockenmasse aus der Auslastungsreserve zu rund 0,44 Mio. Mg/a also niedriger als bei Roos [24].

Die Abschätzung der Bemessungsreserve über die Faulbehälteraufenthaltszeit ist wegen fehlender Datenbasis nur schwer nachvollziehbar. Zusätzlich müsste auch noch die Reserve durch Verbesserung der Voreindickung des Rohschlammes (maschinell statt statisch) berücksichtigt werden.

Aufgrund der vorstehenden Ausführungen wird bei der nachstehenden Abschätzung zwar basierend auf den Zahlen von Roos gerechnet, allerdings mindernd angenommen, dass mit den Bioabfällen im Mittel kein höherer spezifischer Gasertrag als beim Klärschlamm erzielt werden kann. Dies ist zumindest für Fettabfälle eine äußerst vorsichtige Annahme. Weitergehende Informationen zum spezifischen Gasanfall unterschiedlicher Abfallarten gibt das Merkblatt ATV-DVWK-M 372 [69].

Es ist im Einzelfall zu beachten, dass je nach Mischungsverhältnis von Klärschlamm zu Bioabfällen deutlich abweichende Klärgaserträge erreicht werden können. Zudem ist der evtl. notwendige Aufwand für die Hygienisierung der Abfälle unabhängig von den sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen bei Einzelfalluntersuchungen zu beachten (siehe auch [70]).

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft

Mit den vorstehenden Ansätzen ergibt sich folgende Potenzialabschätzung:

$$\begin{aligned}
 \text{organische Feststoffmasse} &= 900 \text{ Mio. kg/a oTR} \\
 \text{spez. Gasanfall} &= 450 \text{ l/kg} \\
 \rightarrow \text{Gasfall} &= 0,45 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot 0,9 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{a}} = 405 \text{ Mio. m}^3/\text{a} \\
 \text{spez. Primärenergie Klärgas} &= 6,5 \text{ kWh/m}^3 \\
 \rightarrow \text{Primärenergiemenge} &= 6,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 0,405 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \cdot 10^9 = 2,63 \text{ TWh/a}
 \end{aligned}$$

Bei der elektrischen Arbeit errechnet sich ein zusätzliches Potenzial von 1,05 TWh/a und bei der Wärme von 1,18 TWh/a, bei Annahme eines elektrischen Wirkungsgrades von 40 % und eines Wärmewirkungsgrades von 45 %.

Diese Berechnungen decken sich mit Abschätzungen des Umweltbundesamtes [57, Abschnitt 4.3.2], bei denen zwar die theoretische Kapazität bestehender Faulbehälter deutlich höher angesetzt wird, aber unter Wertung aller Rahmenbedingungen das theoretisch realisierbare Potenzial ebenfalls bei 1,0 TWh/a liegt.

Bei Verbrennung des Biogases in Brennstoffzellen kann ein elektrischer Wirkungsgrad von 50 % erreicht werden, der Wärmewirkungsgrad sinkt auf 40 %. Mit diesen Werten erhöht sich das Energiepotenzial beim Strom auf 1,32 TWh/a elektrisch, die Wärmeenergiemenge sinkt auf 1,05 TWh/a thermisch.

Grundsätzlich ist die Menge des mitbehandelbaren Bioabfalls begrenzt und es bestehen alternative Verwertungspfade wie zum Beispiel Biogasanlagen. Bei notwendigen Zusatz-Investitionen für die Aufnahme von Bioabfall müssen sich die Kläranlagenbetreiber daher im Einzelfall so absichern, dass das eingesetzte Produkt über die Abschreibungszeit zur Verfügung steht.

In Tabelle 4 sind die vorstehenden Daten zusammengefasst.

Tabelle 4: Energiepotenzial aus Co-Fermentation

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
4a	Co-Vergärung ⁵⁾	2,63 TWh/a	1,18 TWh/a	1,05 TWh/a	45 %	40 %	85 %
4b	Co-Vergärung + BZ ^{4) + 5)}	2,63 TWh/a	1,05 TWh/a	1,32 TWh/a	40 %	50 %	90 %

HINWEISE:
 4) Beim Potenzial sinkt durch die veränderten Wirkungsgrade ($\eta_{el} = 40\%$ bzw. 50% , $\eta_{Wärme} = 45\%$ bzw. 40%) die Wärmearbeit zugunsten der elektrischen Arbeit.
 5) nur Nutzung der theoretisch verfügbaren Faulbehälter-Reservekapazität

4.3.4 Biomethangas-Einspeisung in das Erdgasnetz

Die Möglichkeit zur Einspeisung des aus Klärgas bzw. Biogas durch entsprechende Aufbereitung erzeugten Biomethangases in das Erdgasnetz könnte zukünftig von besonderer Bedeutung für die Errichtung von Faulbehältern auch auf kleineren Kläranlagen sein. Das aufbereitete Faulgas (Biomethangas) würde über das Erdgasnetz zu zentralen Verwertungsstandorten geleitet werden, auf denen größere Gasverwertungsanlagen wirtschaftlicher betrieben werden könnten (siehe Bild 20).

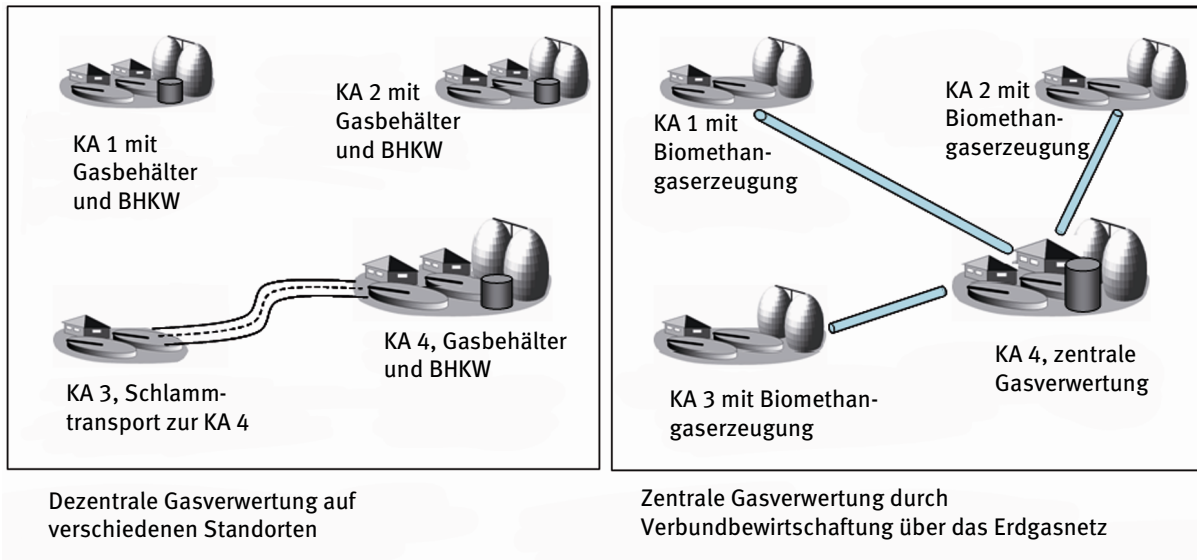


Bild 20: Zentralisierung der Biomethangas-Verwertung über das Erdgasnetz nach [25]

Eine weitere Option besteht in der Nutzung des Erdgasnetzes als Speicher, der die heute übliche und kostenaufwendige Speicherung in Membrangasbehältern ersetzt.

Ob die beschriebenen Nutzungsoptionen im Erdgasnetz verwirklicht werden können, wird letztlich von den Durchleitungsgebühren der Netzbetreiber abhängen bzw. von evtl. gesetzlichen Regelungen. Zudem ist zu beachten, dass eventuell eine kostenaufwendige Brennwertanhebung durch Propangaszugabe erfolgen muss.

Hier könnte die Abgabe von aufbereitetem Klärgas an Fahrzeuge technisch weniger aufwendig und wirtschaftlicher sein. In jedem Fall ist bei externer Gasverwertung der Wärmehaushalt der Kläranlage zu beachten.

4.3.5 Klärschlamm Entsorgung

In Tabelle 5 ist die jährlich in Deutschland beseitigte Klärschlammmenge für die Jahre 1998 bis 2004 dargestellt.

Tabelle 5: Beseitigte Klärschlammmengen 1998 bis 2004 nach [Datenherkunft 7]

	1998	2001	2004
Deponie	205.140 t TR/a	159.673 t TR/a	79.052 t TR/a
Stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft nach AbklärV	1.490.074 t TR/a	1.399.456 t TR/a	1.175.694 t TR/a
Thermische Entsorgung	395.859 t TR/a	554.924 t TR/a	711.170 t TR/a
Abgabe an andere Abwasserbehandlungsanlagen	254.254 t TR/a	234.227 t TR/a	230.726 t TR/a
Zwischenlagerung	113.850 t TR/a	81.123 t TR/a	64.204 t TR/a
Beseitigte Menge insgesamt	2.459.177 t TR/a	2.429.403 t TR/a	2.260.846 t TR/a

Abweichend von diesen Zahlen des Statistischen Bundesamtes weist das Umweltbundesamt für das Jahr 2004 mit ca. 2,1 Mio t TR ein um 10 % niedrigeres Klärschlamm aufkommen aus (vergleiche Tabelle 6).

Tabelle 6: Eckdaten des Klärschlammberichtes, Klärschlammengen in Tonnen Trockensubstanz [Datenherkunft 22]

	2004	2005	2006
Klärschlammaufkommen insgesamt	2.106.756	2.105.915	2.059.351
Verwertung in der Landwirtschaft	672.483	645.460	613.476

Die rund 10 %ige Verminderung der zu beseitigenden Klärschlammmenge von 1998 bis 2004 kann viele Ursachen haben wie zum Beispiel:

- Rückgang des Schlammanfalls zum Beispiel durch längere Aufenthaltszeiten in den Belebungsbecken und damit aerober Teilstabilisierung,
- verbesserte Ausfäulung durch längere Aufenthaltszeiten zum Beispiel aufgrund höherer Trockenmassegehalte des Rohschlammes durch Vorentwässerung,
- zusätzlich errichtete Faulungsanlagen und damit erhöhter Umsatz von Feststoffen in Gas.

Zukünftig ist von einer Fortsetzung des abnehmenden Trends bei der zu beseitigenden Klärschlammmenge auszugehen, wenn der sinnvolle Bau weiterer Faulungs- und Klärgasverwertungsanlagen anhält.

In Bild 21 ist die Verteilung der Klärschlammengen auf die verschiedenen Entsorgungspfade dargestellt.

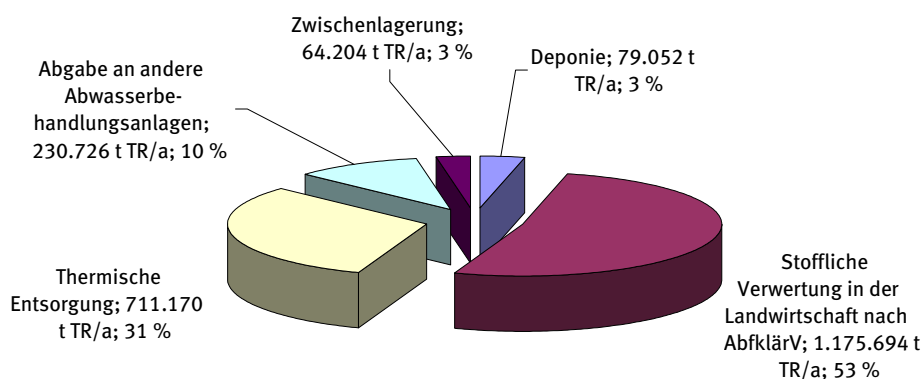


Bild 21: Verteilung der zu beseitigenden Klärschlammengen auf die Entsorgungspfade im Jahr 2004 [Datenherkunft 7]

Der Verbrennung und damit der Energiegewinnung wurden danach rund 711.000 t/a TR zugeführt. Die zukünftig maximal verfügbare Klärschlammmenge wird wegen der oben dargestellten Zusammenhänge mit nur 50 % des Wertes aus 2004 angenommen, das heißt ca. 1,2 Mio. t/a TR.

Der Heizwert von Klärschlamm ändert sich abhängig vom Anteil der organischen Trockenmasse und – wie bei allen Brennstoffen – abhängig vom Wassergehalt (siehe Bild 22).

Für die Abschätzung des Energiepotenzials im zu beseitigenden Klärschlamm wurden folgende Annahmen getroffen:

- Weitgehende Umsetzung des organischen Anteils in Klärgas → oTR = 45 %
- Geringer Wassergehalt durch Entwässerung und Trocknung → WG = 30 %

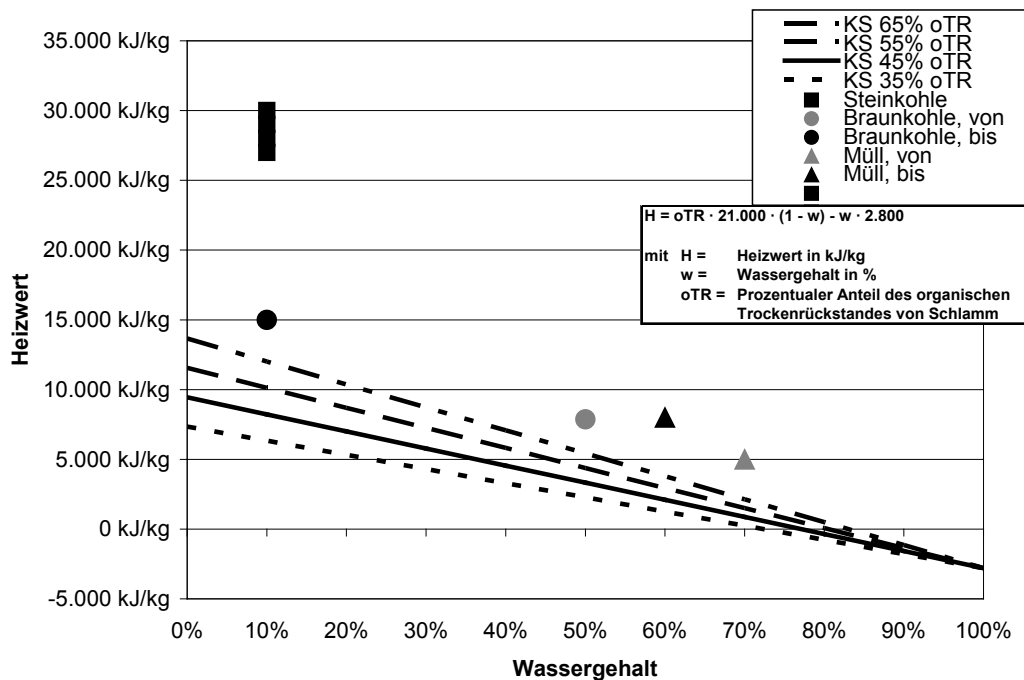


Bild 22: Heizwert von Klärschlamm im Vergleich zu Müll, Braun- und Steinkohle [20]

Laut Bild 22 ergibt sich damit ein realistischer Brennwert von rund 6.000 kJ/kg Trockenmasse des Klärschlammes. Dieser Wert liegt deutlich unter Literaturangaben, die dem Klärschlamm Brennwerte von 11.000 bis 17.000 kJ/kg zuordnen. Der gewählte Ansatz ist dennoch sinnvoll, da nicht auf der einen Seite das Energiepotenzial durch Verbesserung der Gasausbeute hoch gesetzt und gleichzeitig mit sehr hohen Brennwerten beim zu beseitigenden Klärschlamm gerechnet werden darf.

Der Wert von 6.000 kJ/kg entspricht

$$6.000 \text{ kJ/kg} / 3.600 \text{ kJ/kWh} = 1,67 \text{ kWh/kg.}$$

Für den Istzustand 2004 berechnet sich das Primärenergiepotenzial des zu beseitigenden Klärschlammes damit zu rund:

$$700.000 \text{ t/a} \cdot 1.000 \text{ kg/t} \cdot 1,67 \text{ kWh/kg} \cdot 10^{-9} \text{ TWh/kWh} = 1,17 \text{ TWh/a.}$$

Bei einem elektrischen Wirkungsgrad der Verbrennungsanlagen von 30 % und einem Wärmewirkungsgrad von 55 % errechnet sich das Energiepotenzial zu 0,35 TWh/a elektrisch und 0,64 TWh/a thermisch.

Für die Prognose ergibt sich das Primärenergiepotenzial damit zu

$$1.200.000 \text{ t/a} \cdot 1.000 \text{ kg/t} \cdot 1,67 \text{ kWh/kg} \cdot 10^{-9} \text{ TWh/kWh} = 2,00 \text{ TWh/a.}$$

Bei einem elektrischen Wirkungsgrad der Verbrennungsanlagen von 30 % und einem Wärmewirkungsgrad von 55 % errechnet sich das Energiepotenzial zu 0,60 TWh/a elektrisch und 1,10 TWh/a thermisch.

Bei Verbrennung in Kraftwerken mit optimierter Anlagentechnik kann ein elektrischer Wirkungsgrad von 50 % erreicht werden, der Wärmewirkungsgrad sinkt auf 40 %. Mit diesen Werten erhöht sich das Energiepotenzial beim Strom auf 1,00 TWh/a elektrisch, die Wärmeenergiemenge sinkt auf 0,80 TWh/a thermisch.

In Tabelle 7 ist das Energiepotenzial der Klärschlammverbrennung zusammengestellt. Im Einzelfall muss der Eigenenergieverbrauch der eingesetzten Aggregate und hier insbesondere der erhebliche Wärmebedarf der Klärschlamm-trocknung berücksichtigt werden. Der Verbrauch an elektrischer Energie kann je nach Trocknungsverfahren bei 70 bis 110 kWh pro Tonne Wasserverdampfung liegen [71].

Tabelle 7: Energiepotenzial bei der Klärschlammverbrennung

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
3a	Istzustand Klärschlammverbrennung	1,17 TWh/a	0,64 TWh/a	0,35 TWh/a	55 %	30 %	85 %
3b	+ Zunahme Verbrennungsanteil =	2,00 TWh/a	1,10 TWh/a	0,60 TWh/a	55 %	30 %	85 %
3c	+ optimierte Anlagentechnik =	2,00 TWh/a	0,80 TWh/a	1,00 TWh/a	40 %	50 %	90 %

4.3.6 Wärmeenergie

Bei Nutzung aller in Tabelle 15, Zeile 2d dargestellten Nutzungsoptionen (weitgehende Verstromung) könnten die Kläranlagen in der Summe noch 3,14 TWh/a Wärmeenergie aus dem Klärgas erzeugen. Damit ergäbe sich ein Wärmedefizit von

$$7,82^{2)} - 3,14 = 4,69 \text{ TWh/a.}$$

Eine Möglichkeit zur Deckung dieses Defizits bietet das Abwasser. Das im Abwasser enthaltene Energiepotenzial aus der Wärmerückgewinnung (mittels Wärmetauschern und Wärmepumpen) ist bei einer Abkühlung des Abwassers um 2 °K so hoch, dass es theoretisch den Gesamt-Wärmeenergiebedarf der Kläranlage abdecken könnte. Da die Zu- und Ablaufkanäle einer Kläranlage oftmals nicht die Anforderungen für eine Abwasserwärmenutzung erfüllen, muss hier eine Ausschleusung des Abwassers und Wärmerückgewinnung zum Beispiel in Rohrwärmetauschern erfolgen.

Bisher wurde die Abwasserwärme auf Kläranlagen kaum genutzt, sodass die Darstellung des Istzustandes entfällt. Eine Abschätzung des nutzbaren Wärmepotenzials ist in Tabelle 8 dargestellt.

Folgende Rahmenbedingungen liegen den Berechnungen zugrunde:

- Der mittlere Trockenwetterzufluss inkl. Fremdwasser wird mit 200 l/(E·d) angesetzt.
- Der Nachtzufluss pro Stunde (= minimal dauerhaft verfügbare Abwassermenge) wurde angenommen zu 2,78 % ($Q_{T,d}/36$) vom Tages-Trockenwetterzufluss.
- Bei einer Temperaturspreizung von 2 °K (z. B. von Kühlung von 16 °C auf 14 °C) lassen sich je m³ Abwasser und Stunde 2.000 kcal/m³/860 kcal/kWh = rd. 2 kWh/h Wärme entnehmen.
- Die Jahresbetriebsstunden wurden mit 6.000 h angesetzt.

Damit ergibt sich laut Tabelle 8 ein theoretisches Wärmepotenzial von rund 8 TWh/a.

Tabelle 8: Wärmepotenzial im Abwasser gegliedert nach KA-Größenklassen

Kläranlagen-Größenklassen	Anlagen	Einwohnerwerte (Anschlussgröße)	Summen	Spez. Wärme, Kläranlagen	Nutzung Wärme
	Anzahl	E	Q_{Nacht}	2,0 kW/(m ³ /h)	6.000 h/a
1 E – 1.000 E	4.248	1.198.000 E	6.656 m ³ /h	13.311 kW	0,08 TWh/a
1.000 E – 5.000 E	2.635	4.965.000 E	27.583 m ³ /h	55.167 kW	0,33 TWh/a
5.000 E – 50.000 E	2.546	35.240.000 E	195.778 m ³ /h	391.556 kW	2,35 TWh/a
50.000 E – 1000.000 E	313	17.365.000 E	96.472 m ³ /h	192.944 kW	1,16 TWh/a
> 1000.000 E	252	65.242.000 E	362.456 m ³ /h	724.911 kW	4,35 TWh/a
Summen:	9.994	124.010.000 E	688.944 m ³ /h	1.377.889 kW	8,27 TWh/a

2) Berechnung des Wärmebedarfs siehe Abschnitt 4.4

Bei Nutzung dieser Wärmeenergiemenge ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) zu beachten. Sie gibt das Verhältnis der über das Jahr abgegebenen Heizenergie zur aufgenommenen elektrischen Energie an und liegt in der Größenordnung von 3 bis maximal 4,5. Unter der Annahme einer JAZ von 4, das heißt, dass je 4 kWh erzeugter Wärmeenergie 1 kWh Strom benötigt wird, würde zur Nutzung des gesamten Wärmepotenzials eine Strommenge von 2 TWh/a benötigt. Bei Direktantrieb der Wärmepumpen mit Klärgas könnte die JAZ erhöht werden und ein höheres Temperaturniveau bis 85 °C und damit eine verbesserte Wirtschaftlichkeit erreicht werden [47].

Im Rahmen der Gesamtbewertung des Energiepotenzials wird davon ausgegangen, dass nur der in Abschnitt 4.4 berechnete Wärmebedarf von 5,87 TWh/a zukünftig im Rahmen eines energetischen Gesamtkonzeptes gedeckt werden muss, da die Energieeinsparung vor Planung der Energiebedarfsdeckung erfolgen muss. Damit verbleibt bei Nutzung aller Energie-Erzeugungspotenziale (siehe Tabelle 15, Zeile 2d und Zeile 4b) eine Wärmeproduktion von

$$3,14 \text{ TWh/a} + 1,05 \text{ TWh/a} = 4,19 \text{ TWh/a.}$$

Somit verbleibt eine Deckungslücke bei der Wärme von

$$5,87 \text{ TWh/a} - 4,19 \text{ TWh/a} = 1,68 \text{ TWh/a,}$$

die durch Nutzung der Abwasserwärme (oder alternativ durch Geothermie) gedeckt werden könnte. Dabei entstünde ein Stromdefizit von 0,42 TWh/a.

Nach dem Wärme-EEG [9, § 3(1)] müssen Eigentümer von Gebäuden nach § 4 (Verpflichtete), die nach dem 31. Dezember 2008 fertig gestellt werden, den Wärmeenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Biomasse, Geothermie, solarer Strahlungsenergie oder Umweltwärme nach Maßgabe der §§ 5 und 6 in Verbindung mit der Anlage zu diesem Gesetz decken. Damit könnten Kläranlagen aber auch die Abwasserwärmenutzung im Kanalnetz (siehe Abschnitt 5) eine zusätzliche Einnahmequelle für die Betreiber darstellen, indem regenerativ erzeugte Wärme verkauft wird.

Zudem könnte der in § 13 des Wärme-EEG vorgesehene finanzielle Zuschuss hier zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen. Zitat:

Die Nutzung Erneuerbarer Energien für die Heizung, Warmwasserbereitung und Erzeugung von Kühl- und Prozesswärme wird durch den Bund bedarfsgerecht in den Jahren 2009 bis 2012 mit bis zu 500 Millionen Euro pro Jahr gefördert [9].

In Tabelle 9 sind die Zahlen für eine Abwasserwärmeproduktion auf Kläranlagen zusammengestellt. Zu beachten ist, dass nicht die theoretische Kapazität dargestellt ist, sondern nur die Bedarfsdeckung für einen evtl. Wärmefehlbedarf bei stärkerem Verstromungsanteil des Klärgases (siehe auch Fußnote 6 in Tabelle 9).

Tabelle 9: Abwasserwärmeproduktion auf Kläranlagen

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
5	Abwasserwärme Kläranlage ⁶⁾		1,68 TWh/a	-0,42 TWh/a	400 %		
HINWEIS: 6) Es wurde nicht das theoretisch verfügbare Potenzial, sondern nur das bei Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades der Gasverwertung abzudeckende Wärmedefizit angesetzt.							

4.4 Energieverbrauchsreduzierung und -effizienzsteigerung

Die Kläranlagen Deutschlands verbrauchten nach dem Energiehandbuch NRW [1, Seite 6] 4,2 TWh/a Strom und 4,4 TWh/a nach [57] und zusätzlich rund 0,84 TWh/a sonstige Brennstoffe (Heizöl, Propangas, etc.).

Bei einer Senkung des Stromverbrauchs auf die Richtwerte nach dem Energiehandbuch NRW [1] würden statt 4,4 nur 3,6 TWh/a benötigt (siehe Tabelle 10). Es ergäbe sich ein theoretisches Einsparpotenzial für den Stromverbrauch von rd. 0,8 TWh/a.

Zwischen den Richt- und Idealwertsummen des Stromverbrauchs in Höhe von 3,6 und 2,7 TWh/a lässt sich ein weiteres, sicherlich nur teilweise realisierbares Einsparpotenzial in Höhe von 0,9 TWh/a feststellen.

Geht man davon aus, dass der spezifische Stromverbrauch aller Kläranlagen Deutschlands durch Energieeinsparmaßnahmen auf den Bereich zwischen Richt- und Idealwerten gebracht wird, so liegt darin ein Einsparpotenzial von

$$\text{rd. } 0,8 \text{ TWh/a} + \frac{1}{2} \cdot 0,9 \text{ TWh/a} = 1,25 \text{ TWh/a.}$$

Dies entspricht rund 25 % des geschätzten Gesamt-Stromverbrauchs der Kläranlagen in Deutschland.

Tabelle 10: Gesamtstromverbrauch aller Kläranlagen nach spezifischen Richt- und Idealwerten aus [1, Seite 300] berechnet

	Anlagen	Bemessungs-kapazität nach Genehmigungs-bescheid	Einwohner-werte insgesamt	Einwohner-gleichwerte (EWG B60)	Einwoh-ner	Energiehandbuch NRW			
						e _{ges} = spez. Gesamtstromver-brauch		Summe Gesamtstromver-brauch	
						Richt-wert	Ideal-wert	Richt-wert	Ideal-wert
	Anzahl	1.000 EW	1.000 EW	1.000 EGW	1.000 E	kWh/(E·a)		1.000 kWh/a	
2.000 E – 5.000 E	1.549	4.943	3.803	729	3.073	54	41	205.362	155.923
5.000 E – 10.000 E	897	6.388	5.154	1.247	3.907	39	30	201.006	154.620
10.000 E – 20.000 E	817	11.511	9.248	2.671	6.577	34	26	314.432	240.448
20.000 E – 100.000 E	1.145	48.039	39.203	13.981	24.221	30	23	1.146.090	878.669
> 100.000 E	252	80.850	65.242	27.627	37.615	26	20	1.696.292	1.304.840
Summen	4.660	151.731	121.650	46.255	75.393			3.563.182	2.734.500

In [57] wird theoretischer Zielwert für den Stromverbrauch auf Kläranlagen von 18 kWh/(E · a) gesetzt. Bei flächendeckendem Erreichen dieses Zielwertes läge der Gesamtstrombedarf ausgehend von der heute eingesetzten Verfahrenstechnik bei nur noch 2,13 TWh/a, was mehr als einer Halbierung des Strombedarfs entspräche. Diese Zielmarke (18 kWh/(E · a)) liegt unter dem Idealwert für Kläranlagen > 100.000 E (20 kWh/(E · a)) und wird daher nur in Einzelfällen erreichbar sein.

Der gesamte Wärmebedarf in den Kläranlagen in NRW beträgt bei einem Anteil von rd. 75 % des Stromverbrauchs (1,2 TWh/a)

$$1,2 \text{ TWh/a} \cdot 0,75 \% = 0,9 \text{ TWh/a [1, Seite 27].}$$

Hochgerechnet auf alle Kläranlagen Deutschlands kann somit im Istzustand von einem Gesamtwärmebedarf von

$$4,40 \text{ TWh/a} \cdot 75 \% = 3,3 \text{ TWh/a}$$

ausgegangen werden. Falls zukünftig eine weitgehende Klärgaserzeugung und Klärgasnutzung mit dem in Tabelle 15, Zeile 2d, genannten Umfang eintritt, ergibt sich eine theoretische Steigerung des Wärmebedarfs auf

$$113 \text{ Mio. E} / 45,5 \text{ Mio. E} \cdot 3,15 \text{ TWh/a} = 7,82 \text{ TWh/a.}$$

Wesentliche Wärmeverbraucher einer Kläranlage mit getrennter anaerober Schlammstabilisierung sind die Faulbehälter. Der steigende Preisdruck auch im Wärmesektor wird zukünftig zu einer weiteren Verringerung des Wärmebedarfs führen zum Beispiel durch

- verbesserte Schlammeindickung (Eindickzentrifugen, Siebe, etc.)
→ Verringerung der zugeführten und aufzuheizenden Schlammmenge und Erhöhung des Gasertrages,
- Verbesserung der Wärmedämmung der Faulbehälter, Heizleitungen, Schlammwärmetauscher und Betriebsgebäude
→ Verringerung der Abstrahlverluste,
- Nutzung der vorhandenen Maschinenabwärme in den Gebäuden,
- Rohschlammvorheizung mit Ablaufschlamm.

Inwieweit dies wirtschaftlich ist kann nicht generell entschieden werden, sondern muss einer Einzelfalluntersuchung vorbehalten bleiben.

Es ist also davon auszugehen, dass das Einsparpotenzial beim Strom von 25 % sich durch die beschriebenen Maßnahmen mindestens auch beim Wärmebedarf realisieren lässt. Der vorstehend berechnete, theoretische zukünftige Gesamt-Wärmebedarf aller Kläranlagen würde damit auf

$$7,82 \text{ TWh/a} \cdot 75 \% = 5,87 \text{ TWh/a}$$

sinken.

5 Energie in Kanalnetzen

5.1 Reduzierung des Energieverbrauchs

Die wesentlichen Energieverbrauchsstellen im Kanalnetz sind die Abwasserpumpwerke. Die Energieeffizienz wird durch den Wirkungsgrad dargestellt. Bei Freistromradpumpen liegt der Wirkungsgrad bei ca. 55 %. Einkanal- und Mehrkanalradpumpen haben mit 75 % – 80 % einen deutlich höheren Wirkungsgrad. Dieser Wirkungsgrad wird aber nur in einem kleinen Förderbereich erreicht. Bei geringerer oder höherer Fördermenge sinkt der Wirkungsgrad deutlich ab. Ein wesentlicher Faktor für die Energieeffizienz des Pumpwerkes ist daher die Abstimmung der Pumpenkennlinie auf die Rohr-kennlinie bereits während der Planung.

Bei schwankendem Abwasseranfall kann die Effizienz der Pumpe durch eine Frequenzregelung verbessert werden. Auch dies muss bereits im Planungsstadium berücksichtigt werden.

Das Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Pumpen wird wie bei allen Abwasseranlagen notwendigerweise auf die Betriebssicherheit gesetzt und steht damit oftmals im Widerspruch zur Energieeffizienz. Ein Freistromrad hat den größten Kugeldurchgang und ist am wenigsten anfällig für Verstopfungen. Energieeffizientere Einkanal- und Mehrkanalradpumpen könnten verstärkt eingesetzt werden, wenn vor den Pumpen Rechenanlagen installiert würden, die grobe Verschmutzung zurückhalten. Dadurch entstehen aber wartungsintensive Betriebspunkte, die ihrerseits Energie benötigen und Kosten verursachen. Ob diese zusätzlichen Kosten gerechtfertigt sind, kann pauschal nicht beurteilt werden, sondern muss in jedem Einzelfall berechnet werden. Die bisherige Praxis zeigt, dass die zusätzlichen Betriebskosten deutlich über den erhöhten Energiekosten liegen und somit betriebssichere Freistromradpumpen mit geringerem Wirkungsgrad zum Einsatz kommen.

Anders als Kreiselpumpen haben Wasserförderschnecken über einen großen Förderbereich einen annähernd gleichen Wirkungsgrad von etwa 70 % (vgl. Bild 23). Förderschnecken sind sehr betriebssicher, auch bei groben Abwasserinhaltsstoffen oder Verzopfungen. Allerdings sind die Investitionskosten und der Platzbedarf für Schneckenpumpwerke wesentlich höher. Aus diesem Grund werden diese Förderschnecken bislang nur für große Pumpwerke mit hoher Betriebszahl eingesetzt. Deutlich steigende Energiepreise können die Wirtschaftlichkeit zugunsten der Schneckenpumpwerke ändern. Dies muss bereits bei der Planung berücksichtigt werden.

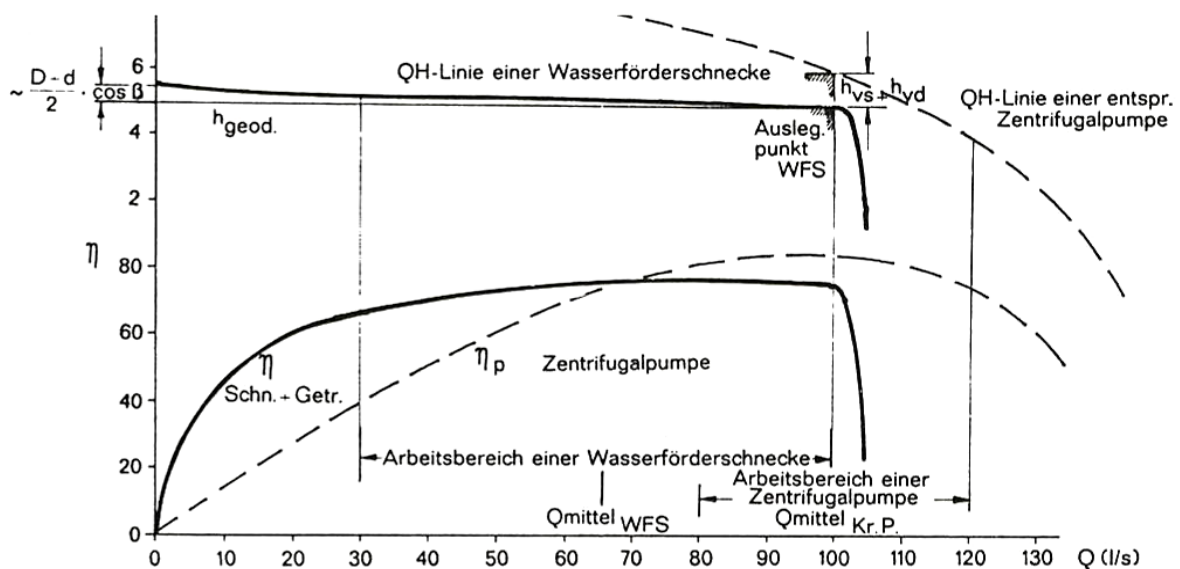


Bild 23: Wirkungsgrad von Kreiselpumpen und Förderschnecken

Bei der Literaturrecherche ergaben sich keine statistisch abgesicherten Erhebungen über den Energieverbrauch von Abwasserpumpwerken. Eine qualifizierte Aussage über das Energie-Einsparpotenzial im Bereich der Abwasserförderung könnte gemacht werden, wenn für den Istzustand Daten vorlägen über

- Energieverbrauch,
- Bauart der eingesetzten Pumpen,
- Fördermenge und Förderbereich,
- Förderhöhe, Durchmesser und Länge der angeschlossenen Druckleitung,
- Baujahr der Pumpen.

Neben den bauartspezifischen Optimierungen lassen sich natürlich Einsparungen durch die Reduzierung der Fördermenge und damit der Betriebszeiten der Pumpwerke erreichen. So führen beispielsweise Maßnahmen zur Reduzierung des Fremdwassers neben den Einsparungen bei der Abwasserreinigung auch zu Energieeinsparungen bei den Pumpwerken im Kanalnetz.

Bei Mischwasserpumpwerken kann die Fördercharakteristik durch vorgeschaltete Rückhaltebecken verbessert werden. Für konstante, langanhaltende Förderung können energieeffizientere Pumpen eingesetzt werden als für stark schwankende Fördermengen. Dies bietet auch Vorteile bei der Abwasserreinigung, da der Schwankungsfaktor sinkt, allerdings müssen die Umsetzungsprozesse bei längeren Speicherzeiten im Kanalnetz beachtet werden.

Letztendlich muss auch die topografische Struktur des Abwasser-Entsorgungssystems untersucht werden. Durch dezentrale Kläranlagenstandorte lassen sich lange Druckleitungen und damit hohe Förderkosten vermeiden. Andererseits fallen Synergien bei der Abwasserreinigung auf zentralen Kläranlagen weg.

5.2 Energiegewinnung

5.2.1 Allgemeines

Bereits seit mehr als einem Vierteljahrhundert beschäftigt sich die ATV/DWA mit dem Thema „Energiegewinnung aus Abwasser“, und – wie eine Veröffentlichung in der KA – Korrespondenz Abwasser von Dezember 1982 mit dem Titel „Wärmerückgewinnung aus städtischem Abwasser“ dokumentiert [47] – auch bereits mit dem Thema Energiegewinnung in der Kanalisation. Bereits in diesem Artikel werden die Einschränkungen, die für die Abwärmenutzung gelten, thematisiert und bewertet.

Neben der Abwasser-Wärmenutzung wird heute auch die Wasserkraftnutzung in der Kanalisation ernsthaft diskutiert und in Pilot- und Demonstrationsanlagen verwirklicht.

5.2.2 Wasserkraftnutzung

5.2.2.1 Wasserräder im Kanal

Wasserräder können in der Kanalisation in Absturzbauwerken oder an Kläranlagenabläufen eingesetzt werden. Ausreichende Absturzhöhen an KA-Abläufen sind ungewöhnlich, können aber zukünftig aufgrund der gestiegenen Anforderungen an den Hochwasserschutz häufiger vorkommen. In Tabelle 11 sind einige Bedingungen für den Einsatz von Wasserrädern im Kanal aufgelistet.

Tabelle 11: Voraussetzungen für den Einsatz von Wasserrädern im Kanal nach [63]

erforderliche Absturzhöhe:	> 2 m
erforderliche Wassermenge:	~ 80 l/s
ausreichendes Platzangebot in den Absturzschächten	
Ex-Schutzzone 1	
Werkstoff:	1.4571 (Edelstahl V4A)

Das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FIW) hat einen Pilotversuch zum Einsatz eines Wasserrades in der Kanalisation, gefördert durch das MUNLV NRW, wissenschaftlich begleitet [63]. Im Rahmen dieser Studie wurde abgeschätzt, dass in NRW ein durch Wasserräder nutzbares Potenzial von 430 MW – 3.040 MW vorhanden ist. Hierbei ist das Energiegewinnungspotenzial durch einen Wasserradeinsatz am Kläranlagenablauf nicht berücksichtigt.

Der Pilotversuch zeigte deutlich, dass die aggressive Kanalatmosphäre zu erheblichen technischen Problemen führt, denen nur durch Auswahl hochwertiger und teurer Werkstoffe begegnet werden kann. Die Studie kommt daher zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von Wasserrädern im Kanalnetz selbst unter optimalen Voraussetzungen und unter Berücksichtigung einer erhöhten Einspeisevergütung von 9,67 Cent/kWh bisher nicht wirtschaftlich ist.

5.2.2.2 Wasserkraftschnecken im Kanal

Der Einsatzbereich für Wasserkraftschnecken liegt bei Volumenströmen von 100 l/s – 550 l/s und Höhenunterschieden von bis zu 10 m. Die Eignung für den Einsatz im Abwasserbereich ist wie bei Schneckenpumpen grundsätzlich gut, allerdings sind die Schnecken aufgrund des großen Platzbedarfes im Kanalnetz nur schlecht einsetzbar. Der besser geeignete Einsatzort ist der Ablauf von Kläranlagen. Hier fehlen aber noch entsprechende Demonstrationsprojekte.

5.2.2.3 Potenzial Wasserkraft in Kanälen

In der Literatur existiert keine allgemeingültige, realistische Potenzialabschätzung für die Wasserkraftnutzung in der Kanalisation. Auch eine theoretische Ableitung ist schwierig.

Auf Basis des in Abschnitt 5.2.2.1 beschriebenen Energiepotenzials von 430 MW – 3.040 MW für die Wasserkraftnutzung in der Kanalisation des Landes NRW lässt sich das Potenzial grob über die Kanalnetzlänge wie folgt hochrechnen:

Kanalnetzlänge NRW [7]: 91.309 km
Kanalnetzlänge Deutschland [7]: 514.884 km

Deutschlandweites Energiepotenzial aus Wasserkraft in Kanalisationen:

$514.884 / 91.309 \cdot 430$ bis $514.884 / 91.309 \cdot 3.040 =$ rund 2.400 bis 17.100 MW

Bei 5.000 Betriebsstunden pro Jahr und einem elektrischen Gesamt-Wirkungsgrad von 35 % ergäbe sich ein Energiepotenzial von

$2.400 \text{ MW} \cdot 5.000 \text{ h/a} \cdot 0,35 / 10^6 \text{ MWh/TWh} = 4,2 \text{ TWh/a}$

bis

$17.100 \text{ MW} \cdot 5.000 \text{ h/a} \cdot 0,35 / 10^6 \text{ MWh/TWh} = 30,0 \text{ TWh/a}$

Dieses theoretische Potenzial lässt sich wegen der langen Abschreibungszeiten und der vielen ortsspezifischen Einschränkungen mittelfristig sicherlich nur in geringerem Umfang realisieren. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird von einer Größenordnung von 10 % des Minimalpotenziales, also 0,4 TWh/a ausgegangen.

5.2.3 Abwasserwärmenutzung

5.2.3.1 Rahmenbedingungen

Im Abwasser steckt ein erhebliches Potenzial an Wärme. Dieses Wärmepotenzial resultiert nicht nur aus Warmwassereleitungen wie zum Beispiel Waschwasser, sondern auch aus der wärmeren Kanalumgebung. Kanäle verlaufen üblicherweise in einer Tiefe von 2 m – 4 m. In dieser Tiefe liegt eine ganzjährig nahezu konstante Temperatur von ca. 12 °C – 15 °C vor. Auch Fremdwasser, das in den Kanal eindringt, hat in etwa diese Temperatur und ist somit für eine Energiegewinnung nutzbar. Die Aspekte der Energiegewinnung aus Abwasseranlagen hinsichtlich Planung, Bau und Unterhalt werden im neuen Merkblatt DWA-M 114 „Energie aus Abwasser – Wärme und Lageenergie“ beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf der Energiegewinnung aus Abwasserleitungen und -kanälen liegt [77].

Die Wärmegewinnung erfolgt über Wärmetauscher, die in das Kanalrohr eingebaut werden und dem Medium Abwasser die Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau entziehen. Durch das gleich bleibend niedrige Temperaturniveau ist der Wärmetauscher im Sommer auch für die Abgabe von Kühlungswärme in das Abwasser geeignet.

Die Wärme wird über einen Sekundärkreislauf zu einer Wärmepumpe transportiert. Für diesen Sekundärkreislauf sind Transportwege bis zu 200 m wirtschaftlich. Möglich ist eine Anhebung der Temperatur bis auf eine Heizungsvorlauftemperatur von 70 °C. Wesentlich wirtschaftlicher ist aber die Einspeisung in ein Heizungssystem, das mit einer geringeren Vorlauftemperatur bis zu 40 °C arbeitet.

Damit Wärmepumpen effizient arbeiten können, sind möglichst tiefe Vorlauftemperaturen beim Heizsystem und möglichst hohe Temperaturen bei der Wärmequelle gefragt. Wesentlich für die ökologische Bewertung einer Anlage ist der Wirkungsgrad (Coefficient Of Performance = COP). Diese Leistungszahl beschreibt das Verhältnis zwischen der gewonnenen Heizleistung und der dafür eingesetzten elektrischen Antriebsenergie. Erst ab einem COP-Wert > 3 ist in der Regel eine wirtschaftliche Anwendung gegeben. Bei Wärmepumpen, die das Temperaturniveau von 12 °C auf etwa 40 °C anheben, beträgt der COP-Wert etwa 5,6. Bei einer Temperaturspreizung von 12 °C auf etwa 70 °C reduziert sich der COP auf 3.

Der COP-Wert erlaubt allerdings keine energetische Bewertung der Gesamtanlage. Für eine solche Bewertung ist die Jahresarbeitszahl entscheidend. Über das Jahr verteilt ändern sich die Temperaturen, unter denen die Wärmepumpe arbeiten muss. Die von der Wärmepumpe abzugebende Wärmeleistung hängt ab von der Außentemperatur und schwankt zwischen der Nennleistung und Null. Daher wird für das gesamte Wärmepumpenheizungssystem die sogenannte Jahresarbeitszahl (JAZ) verwendet. Sie gibt das Verhältnis der über das Jahr abgegebenen Heizenergie zur aufgenommenen elektrischen Energie an und liegt in der Größenordnung von 3 bis maximal 4,5.

5.2.3.2 Wärmetauscher im Kanalnetz

Für die Installation eines Systems aus Wärmetauscher (WT) im Kanalnetz und Wärmepumpe (WP) werden in der Literatur folgende Angaben gemacht:

- Bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 3 K bis 4 K und unter Berücksichtigung der Verschmutzung ergeben sich spezifische Wärmetauscherleistungen von 2 kW bis 4 kW pro m² Wärmetauscheroberfläche [48].
- Pro 1 m³ Abwasser pro Kelvin Abkühlung gewinnt der Wärmetauscher 1,16 kWh Wärme [53].
- Die Wärmepumpe wird auf eine Leistung von 30 % – 40 % der maximal erforderlichen Heizleistung ausgelegt [48].
- Durch das Abwasser bildet sich ein Biofilm auf dem Wärmetauscher (Fouling). Im Schnitt ist die Wärmetauscherleistung nach der Spülung um 23 % höher als vorher. Die Wärmetauscherleistung wird aufgrund der Biofilmbildung im Schnitt auf 60 % reduziert und durch periodische Spülung wieder auf 80 % gesteigert [48].
- Der Einbau von Wärmetauschern ist erst bei Sammlern wirtschaftlich, an die oberstromseitig etwa 5.000 – 10.000 Einwohner angeschlossen sind.
- Bei gutem Unterhalt kann für Wärmetauscher mit einer mittleren Lebensdauer von 30-50 Jahren gerechnet werden. Bei Wärmepumpen kann gemäß neusten Erkenntnissen eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen werden [48].

Für den Einbau von Wärmetauschern in den Kanal gelten folgende Einschränkungen und Voraussetzungen:

- Die allgemeine Funktionsfähigkeit des Abwasserkanals darf durch Einbau, Betrieb und Unterhalt der Wärmenutzungsanlage nicht beeinträchtigt werden.
- Die hydraulische Kapazität des Kanals verringert sich bei Einbau von Wärmetauschern. Die maximale Durchflussmenge muss trotz Einbau der WT gewährleistet sein.
- Spül- und Reinigungsarbeiten dürfen durch die Wärmetauscher nicht behindert werden.
- Kanäle müssen während der Bauphase und des Betriebs zugänglich sein.
- Kanäle aus GFK, Kunststoff, Stahl und Steinzeug sind nicht geeignet.
- Die Zulauftemperatur zur Kläranlage darf durch den Wärmeentzug nur soweit reduziert werden, dass die biologische Stufe unbeeinträchtigt bleibt. Die bestehenden Wärmetauscheranlagen zeigen aber, dass die Abwassertemperatur nicht wesentlich abgesenkt wird.
- Der Abstand vom Kanal mit den Wärmetauscherelementen zum Verbraucher sollte in bebauten Gebieten maximal 200 m und in unbebauten Gebieten maximal 300 m betragen.

- Kanäle müssen ein bestimmtes Mindest- oder Maximalgefälle aufweisen. Das Unterschreiten des Mindestgefälles verursacht ein verstärktes Fouling und damit eine schlechte Wärmeübertragung. Ein zu großes Gefälle im Prozentbereich führt dazu, dass bei geringerem Zufluss der Wärmetauscher nicht komplett überströmt wird. Bei starkem Gefälle muss daher die Mindestabwassermenge entsprechend höher liegen.
- Bei Wärmeeintrag in die Kanalisation aus Kühlanlagen ist die Gewässerschutzverordnung des Bundes zu beachten. Demnach darf die Temperatur des Gewässers, in das die Kläranlage einleitet, um maximal 3 Kelvin und nicht über 25 °C erwärmt werden. Beispiel: Bei $Q = 150 \text{ l/s}$ und einer Wärmeabnahme von 300 kW wird das Abwasser um 0,5 K abgekühlt. Dieses Beispiel zeigt, dass bei größeren Durchflussmengen dem Abwasser auch große Wärmemengen entzogen werden können, ohne dass die Abwassertemperatur um mehr als 1 K sinkt.

In Tabelle 12 sind die wesentlichen, vorstehend beschriebenen Kennzahlen für den Einsatz von Wärmetauschern im Kanalnetz zusammengefasst.

Tabelle 12: Kennzahlen von Wärmetauschern im Kanal

Energieertrag:	2 – 3 kWh / m ³ Abwasser bei ΔT 3 K
Leistung Wärmetauscher:	2 – 4 kW / m ² Oberfläche bei ΔT 3 K
minimale Wärmeabnahme:	100 – 150 kW
erforderliche Abwassermenge:	> 15 l/s
erforderlicher Kanalquerschnitt:	$\geq \text{DN } 800$
Wärmetauscherlänge:	20 m < l < 200 m

Weitere technischen Details siehe [76]

5.2.3.3 Externe Wärmetauscher

Alternativ zu dem oben beschriebenen Verfahren kann dem Abwasser die Wärme auch über einen externen Wärmetauscher entzogen werden, der nicht im Kanal sondern in einem separaten Gebäude installiert ist. Dafür sind zusätzliche bau- und maschinentechnische Einrichtungen erforderlich, wie z. B. Abwasserpumpe, Abwassersieb, Abwasserentnahmeschacht etc.

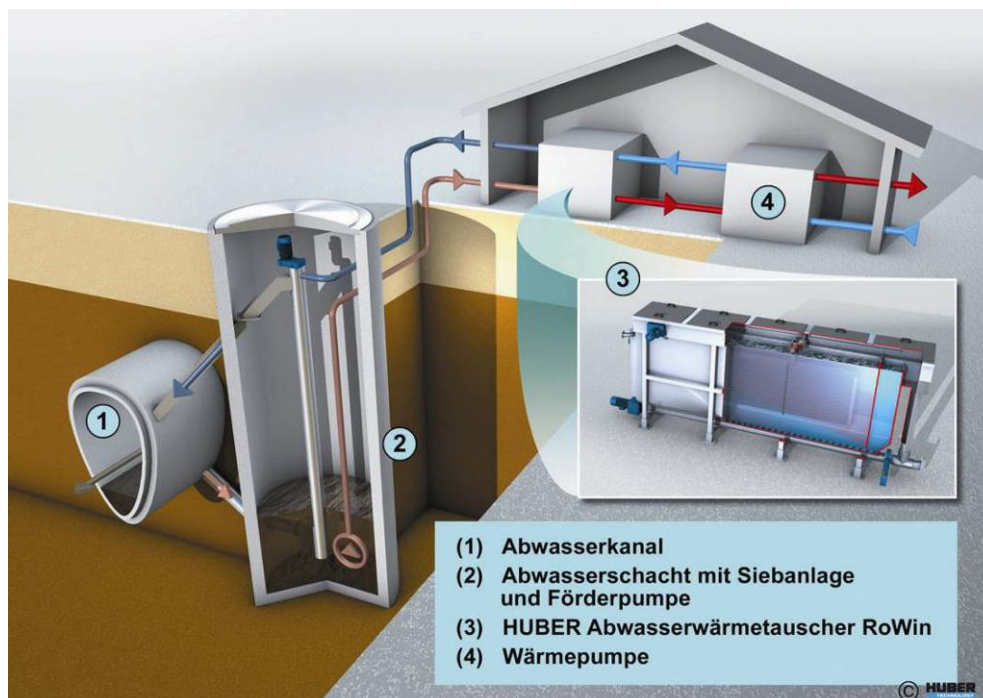


Bild 24: Wärmerückgewinnung mit einem externen, abwassertauglichen Wärmetauscher, System Huber/ThermWin®, Firma Huber SE

Gegenüber den Wärmetauschern im Kanal ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

- + Die Wärmenutzung ist auch bei Kanälen < DN 800 möglich.
- + Es gibt keine hydraulische Beeinträchtigung der Abwasserableitung.
- + Einbauten im Kanal sind nicht erforderlich.
- + Der Aufwand für die Wasserhaltung während der Bauphase ist deutlich geringer.
- + Verwendung von Platten- oder Rohrwärmetauscher mit wesentlich höheren Wirkungsgraden möglich.
- Ein zusätzlicher Schacht ist erforderlich. Bei innerstädtischer Bebauung kann dies zu Problemen führen.
- Als zusätzliche Maschinenteknik sind Pumpe und Feinsieb notwendig, Pumpe und Feinsieb sind eine zusätzliche Betriebsstelle.
- Für Vor- und Rücklauf des Abwassers zum Wärmetauscher sind zusätzliche Druckleitungen erforderlich.

Externe Wärmetauscher lassen sich auch in den **Ablauf von Kläranlagen** installieren. Die Vor- und Nachteile sind:

- + Verwendung von Platten- oder Rohrwärmetauscher mit wesentlich höheren Wirkungsgraden möglich.
- + Zusätzliche Siebe wie bei externen Wärmetauschern im Kanal sind nicht erforderlich.
- + Kein Wärmeentzug vor der biologischen Reinigungsstufe.
- + Für einen Wärmeentzug nach der Kläranlage kommen schon Kläranlagen mit 1000 bis 2000 angeschlossenen Einwohnern in Frage, sofern sich geeignete Abnehmer in der Nähe befinden [53].
- KA-Standorte sind in der Regel weit entfernt von Wärmeabnehmern.

Im Anhang 2 sind Beispiele für umgesetzte Projekte zur Abwasserwärmenutzung aufgelistet.

5.2.3.4 Potenziale

Die Einsparungen, die durch Abwasserwärmenutzung in den Anlagen möglich sind, betragen bezogen auf den Endenergieverbrauch 50 % gegenüber konventionellen Heizkesseln.

Der Wärmebedarf in Deutschland betrug für Prozesswärme, Heizung und Warmwasserbereitung insgesamt 1.437 TWh/a in 2005 (siehe Abschnitt 4.1). Dieser Bedarf wurde zu 94,0 % direkt oder indirekt durch fossile Brennstoffe gedeckt [65].

Das Abwasserwärmepotenzial beträgt in NRW rd. 340 MW ([49], siehe auch Bild 25). Das jährliche Realisierungspotenzial reduziert sich unter Berücksichtigung aller Restriktionen wie fehlender technischer Randbedingungen, Unwirtschaftlichkeit etc. auf etwa 18 MW Anschlussleistung.

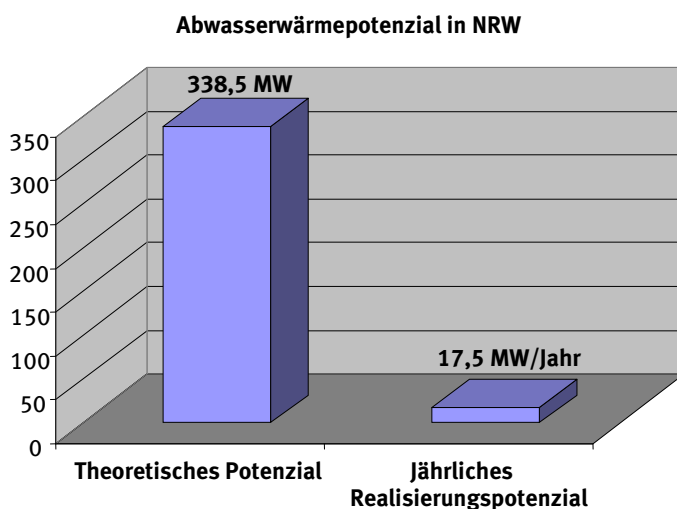


Bild 25: Abwasserwärmepotenzial in NRW [Datenherkunft 49]

Das bundesweite Potenzial lässt sich aus den Zahlen von NRW grob über die Kanallängen extrapolieren. Laut statistischem Bundesamt [7] betrug die Gesamtlänge der Misch- und Schmutzwasserkanäle (ohne Regenwasser) in Deutschland 2004 rund 410.000 km. NRW hat hieran mit einer Kanalnetzlänge von rund 70.000 km einen Anteil von rund 17 %. Mit den NRW-Zahlen lässt sich das bundesweite Abwasserwärmepotenzial damit zu ungefähr $0,34 / 0,17 = 2$ GW abschätzen.

Bei jährlichen 5.000 Betriebsstunden (Winter- und Übergangszeiten) ergibt sich das Energie-Erzeugungspotenzial zu

$$2,0 \text{ GW} \cdot 5.000 \text{ h/a} \cdot 10^{-3} \text{ TW/GW} = 10 \text{ TWh/a.}$$

Die vollständige Nutzung dieses theoretischen Wärmepotenzials erfordert bei Einsatz von elektrischen Wärmepumpen mit JAZ von 4 einen Strombedarf in Höhe von

$$10 \text{ TWh/a} / 4 = 2,5 \text{ TWh/a.}$$

In Deutschland können schätzungsweise 5 % der Gebäude mit Wärme aus Abwasser beheizt werden. [54]

Die Nutzung der regenerativen Abwasserenergie trägt bei zur Reduzierung der Nutzung fossiler Primärenergieträger und damit zur Minderung des CO₂-Ausstoßes sowie zur Verringerung von Staubemissionen. Weitere Argumente für die Abwasserwärmenutzung sind:

- Abwasserwärme ist eine langfristig sichere Energiequelle [53].
- Das Wärmeangebot ist ständig und in großer Menge verfügbar [53].
- Wärmepumpen mit der Wärmequelle Abwasser erzielen hohe Leistungsziffern [53].
- In der Nähe der Wärmequelle sind zahlreiche geeignete Abnehmer zu finden [53].

5.2.3.5 Grundsätzliche Vorgehensweise zur Erschließung der Potenziale

Damit die Abwasserwärme erschlossen werden kann, muss den verantwortlichen Behörden und Bauherren bereits im Vorfeld das Energiepotenzial kenntlich gemacht werden. Dies kann durch die Erstellung von Energiekarten erfolgen, die im Rahmen der Generalentwässerungsplanung erstellt werden können. Die Planer der GEP können abschätzen, welche Kanäle die geeigneten Durchmesser und Minimaldurchflüsse aufweisen und zusätzlich den Einbau von Wärmetauschern hydraulisch zulassen, bzw. durch externe Wärmetauscher erschlossen werden können. Außerdem müssen Prognosezustände, zukünftige Reduzierung des Abwasseranfalls und Fremdwasserzuflusses, der Wegfall von Industriebetrieben etc. berücksichtigt werden. Für die Potenzialabschätzung sollten nur Wassermengen berücksichtigt werden, die über die Lebensdauer der Anlage (~25 Jahre) garantiert sind. Zusätzlich ist das Alter und der Kanalzustand zu berücksichtigen. Bei Kanälen, die erneuert oder renoviert werden müssen, ist eine Wirtschaftlichkeit für den Einbau von Wärmetauscherelementen am ehesten gegeben. Die Auflistung der Anforderungen macht deutlich, dass diese Aufgaben von Fachleuten der Siedlungswasserwirtschaft wahrgenommen werden müssen.

In den Energiekarten kann die Wirtschaftlichkeit dargestellt werden und die prognostizierte Wärmeleistung über Kennzahlen ermittelt werden. Das Bild 26 zeigt einen Ausschnitt aus einer Wärmekarte, in der die oben genannten Kriterien berücksichtigt sind. Die rote Markierung weist einen Abstand von 200 m um die geeigneten Haltungen aus, in dem potenzielle Wärmeabnehmer liegen sollten. Für Bauvorhaben, die innerhalb des markierten Radius liegen, ist eine wirtschaftliche Abwärmenutzung wahrscheinlich. Anhand dieser Karten kann für größere Bauvorhaben sehr schnell abgeschätzt werden, ob eine weitergehende Untersuchung zur Abwasserwärmenutzung vom Bauherrn veranlasst werden sollte.

Die Erstellung der Energiekarten muss von den Ämtern oder Verbänden veranlasst werden, die später nicht Nutznießer der gewonnenen Energie sind. Wenn eine Gewinnbeteiligung verlangt wird, wird sich eine Wirtschaftlichkeit für den Bauherrn nicht mehr darstellen lassen. Möglicherweise lassen sich die zusätzlichen Planungskosten über pauschale Gebühren wieder zurückgewinnen. Letztendlich liegt es aber auch im Interesse der öffentlichen Behörden, die Nutzung regenerativer Energien zu fördern.

Im Einzelfall ist immer zu prüfen, wie sich die Maßnahmen zur Abwasserwärmenutzung im Vergleich zu anderen Maßnahmen (z. B. Geothermie) darstellen.

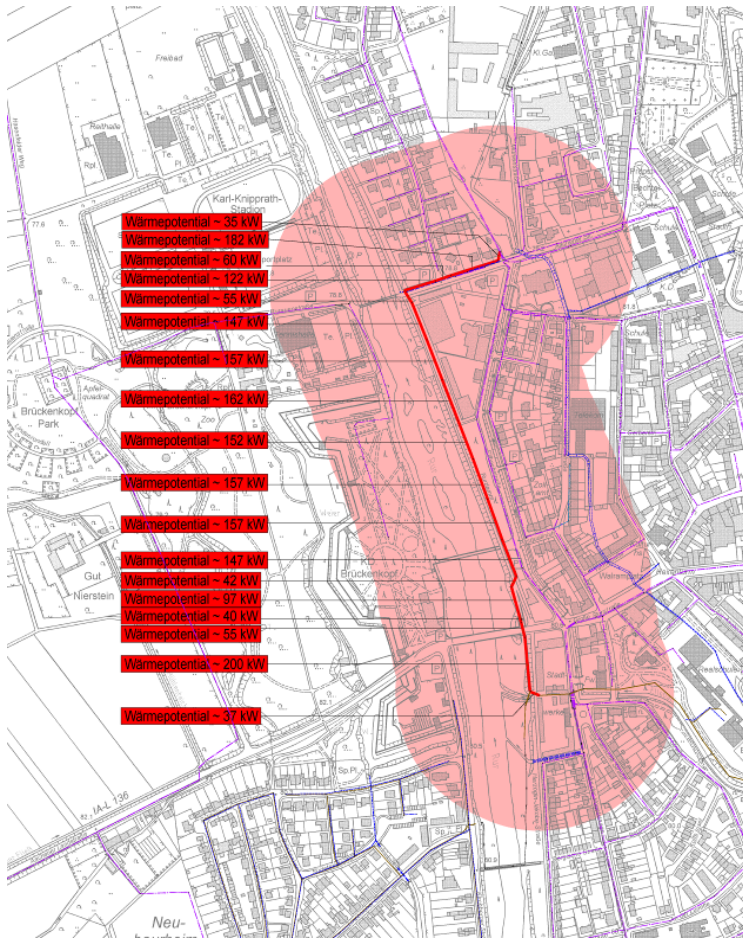


Bild 26: Beispiel einer Energiekarte

5.3 Zusammenfassung Energiepotenzial in der Abwasserableitung

Im Bereich der Abwasserableitung kann Energie auf zwei Wegen gewonnen werden:

- Nutzung von mechanischer Energie, auch Lageenergie genannt
- Nutzung von Wärmeenergie

Die Nutzung mechanischer Energie erfordert Einbauten wie Wasserräder oder Wasserkraftschnecken. Der Einsatz von Turbinen schließt sich bei verschmutztem Abwasser aus.

Zur Wärmegewinnung aus Abwasser können Wärmetauscher direkt in die Kanäle eingebaut werden (nachträglich oder bei Neubau im Rohr integriert) oder externe Wärmetauscher möglichst beim Wärmenutzer eingesetzt werden.

In Tabelle 13 sind die abgeschätzten Energiepotenziale zusammengestellt.

Tabelle 13: Potenzial zur Energiegewinnung in der Kanalisation

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
6	Wasserkraft Kanalisation			0,40 TWh/a			
7	Abwasserwärme Kanal		10,00 TWh/a	-2,5 TWh/a	400 %		

6 Energie in Trinkwasser

Bei der Nutzung von oberflächennaher Geothermie müssen Anlagen zum Transport der Erdwärme von der Quelle zur Wärmepumpe installiert werden. Diese Installationen sind bei Trinkwasserförderung aus Grundwasser standardmäßig vorhanden. Ein weiteres Energiepotenzial könnte also dadurch erschlossen werden, dass Wärmepumpen in der Trinkwasseraufbereitungsanlage oder bei ortsnahen Verbrauchern installiert und Wärme aus dem Rohwasser gewonnen würde.

Im Jahr 2004 wurden rund 2,8 Mrd. m³ Grundwasser zur Trinkwasseraufbereitung in Anlagen mit einer Kapazität größer 1 Mio. m³/a gefördert [7].

Bei einer Temperaturspreizung von 2 °C (z. B. von Kühlung von 16 °C auf 14 °C) lassen sich je m³ Trinkwasser 2.000 kcal/m³/860 kcal/kWh = rd. 2 kWh/m³ Wärme entnehmen.

Geht man davon aus, dass von der Gesamtfördermenge wegen fehlender ortsnaher Nutzungsmöglichkeiten maximal 20 % zur Wärmeengewinnung genutzt werden können, ergibt sich ein Wärmegeewinnungspotenzial von

$$2,8 \text{ Mrd. m}^3/\text{a} \cdot 20 \% \cdot 2 \text{ TWh}/\text{Mrd. m}^3 = 1,12 \text{ TWh}/\text{a}.$$

Die vollständige Nutzung dieses theoretischen Wärmepotenzials erfordert bei Einsatz von elektrischen Wärmepumpen mit JAZ von 4 (vergleiche Abschnitt 4.3.6) einen Strombedarf in Höhe von

$$1,12 \text{ TWh}/\text{a} / 4 = 0,28 \text{ TWh}/\text{a}.$$

Weitere Informationen zum Thema „Energieeffizienz und Energieeinsparung in der Wasserversorgung“ sind dem von der DBU und von der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) geförderten gleichnamigen Projekt (Bearbeitung seit 2008) zu entnehmen [79].

7 Solarenergie auf wasserwirtschaftlichen Anlagen

Die photothermische (Wärme) und/oder photovoltaische (Strom) Nutzung von Gebäudedächern oder Freigelände steht jedem Betreiber wasserwirtschaftlicher Anlagen als eine Option zur nachhaltigen Energiegewinnung zur Verfügung. So könnten zum Beispiel die Dächer vieler Bauwerke wie Betriebsgebäude, Maschinenhäuser, Pumpstationen etc. genutzt werden. Insbesondere bei dezentralen Anlagen ist der Einsatz der Solartechnik zur Stromerzeugung sehr sinnvoll, wenn dadurch eine Netzanbindung an das Stromnetz komplett entfallen kann.

Flächendeckende Aussagen zur Größenordnung des Potenzials sind wegen fehlender Daten nicht möglich. In Tabelle 14 erfolgt aber eine Abschätzung des durch Solarenergie zu gewinnenden Strom- bzw. Wärmepotenzials durch Nutzung der Dachflächen auf Kläranlagen.

Tabelle 14: Abschätzung des solaren Potenzials auf Dachflächen der Kläranlagengebäude

Kläranlagen-Größenklassen	Anlagen	Spezifische Kläranlagenfläche	Kapazitäten Genehmigungsbescheid	Kläranlagenflächen	Nutzung Solar (3 %)	Installierbare Leistungen (0,1 kW _{peak} /m ²)	Potential 900 MWh/a pro MW _{peak}
von bis	Anzahl	m ² /E	E	m ²	m ²	MW _{peak}	TWh/a
1 E – 1.000 E	4.248	1,50	1.534	2.301.000	69.030	7	0,01
1.000 E – 5.000 E	2.635	1,30	6.404	8.325.200	249.756	25	0,02
5.000 E – 50.000 E	2.546	0,65	43.803	28.471.950	854.159	85	0,08
50.000 E – 100.000 E	313	0,39	22.135	8.632.650	258.980	26	0,02
> 100.000 E	252	0,25	80.850	20.212.500	606.375	61	0,05
	9.994		154.726	67.943.300	2.038.300	204	0,18

Die für die Solarkollektoren nutzbaren Dachflächen wurden mit 3 % der theoretischen Klärwerksflächen nach Imhoff [23] angesetzt, die installierbaren Leistungen mit 0,1 kW_{peak}/m² und das spezifische Potenzial mit 900 MWh/(a · MW_{peak}). Das berechnete Potenzial kann wahlweise thermisch oder elektrisch genutzt werden.

8 Umfrage

8.1 Vorgehensweise

Im Rahmen der Stufe II und Stufe III des Forschungsvorhabens wurde in der August-Ausgabe 2008 der KA auf Seite 891 [72] mit dem in Bild 27 aufgeführten Text nach innovativen Beispielprojekten zur energieoptimierten Abwasserbehandlung gesucht. Dieser Aufruf wurde ebenfalls auf der Internetseite der DWA veröffentlicht und in diversen Seminaren der DWA verteilt oder vorgestellt.

Kleine Lösung oder Großprojekt – Suche nach innovativen Beispielprojekten zur energieoptimierten Abwasserbehandlung

Für ein Forschungsvorhaben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) zur Energieoptimierung auf Kläranlagen suchen wir konkrete Beispielprojekte und innovative Ansätze bei **Abwasserbehandlung und -transport** über

- Innovative Verfahren zur Energieeinsparung,
- Erhöhung der Energieeffizienz,
- Energieerzeugung auf Kläranlagen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes der DBU hat sich die DWA zur Aufgabe gemacht, Lösungen und Lösungsansätze zu erfassen, systematisch auszuwerten und zu veröffentlichen, die den Energieverbrauch auf Kläranlagen senken und die Eigenenergieversorgung steigern, um alle Betreiber von Abwasseranlagen von diesen Erkenntnissen profitieren zu lassen.

Die Projektverantwortlichen bitten alle Betreiber von Abwasseranlagen (Kanäle, Regenbecken und Kläranlagen), die besondere Strategien oder Verfahren der Energieoptimierung entwickelt haben oder entwickeln, Ihre Ansätze kurz vorzustellen. Dabei sind kleine Lösungen wie zum Beispiel der Einsatz besonderer Pumpen ebenso interessant wie Großobjekte, bei denen das gesamte Abwassersystem in die Energieoptimierung einbezogen wurde.

Wir freuen uns über Ihre Unterstützung und möchten mit diesem Projekt dazu beitragen, dass alle Betreiber von Abwasseranlagen innovative Ansätze integrieren können, damit auch in Zukunft eine energieoptimierte Abwasserentsorgung in Deutschland auf hohem Niveau zu günstigen Preisen möglich ist.

Wenn Sie die Arbeiten zur Energieoptimierung auf Abwasseranlagen mit Ihren Beispielen und Konzepten unterstützen möchten oder weitere Fragen zum Projekt haben, wenden Sie sich bitte bis spätestens zum **30.08.2008** an die Bundesgeschäftsstelle der DWA.

Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihr Engagement.

DWA-Bundesgeschäftsstelle
Projektdurchführung DBU-Projekt „Energieoptimierung auf Kläranlagen“
Dipl.-Ing. Anett Baum
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
Tel.: 02242 872-124
Fax: 02242 872-135
E-Mail: baum@dwa.de

Bild 27: Aufruf zur Benennung innovativer Beispielprojekte zur energieoptimierten Abwasserbehandlung

Die Vorschlagenden haben der Veröffentlichung der Ergebnisse zugestimmt. Die Verfasser bedanken sich an dieser Stelle nochmals herzlich für die Mitwirkung. Die auf diesen Aufruf eingegangenen insgesamt 26 Zuschriften von Wasserverbänden, Kläranlagenbetreibern, Universitäten und Firmen beinhalten 60 innovative Lösungsansätze mit vielen Varianten zur Energieoptimierung der Abwasserbehandlung.

Um einen Überblick zu erhalten und die teilweise sehr unterschiedlichen Beispielprojekte systematisch bewerten zu können, wurden sie nach mehreren Kategorisierungs-Methoden eingeordnet.

Hierzu wurden alle relevanten Daten der Beispielprojekte in einer Bewertungstabelle mit normierten Daten dargestellt (siehe Anhang 3). Die Bewertungstabelle ist wie folgt aufgebaut:

- Spalten 1 bis 4: Allgemeine Projektdaten
- Spalte 5: Kategorisierung/Einordnung entsprechend dem von der DWA-Koordinierungsgruppe „Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft“ erarbeiteten Schema (siehe Abschnitt 8.3)
- Spalte 6: Kategorisierung/Einordnung entsprechend der im Rahmen der Beispielprojektbearbeitung seitens der Verfasser entwickelten Hauptgruppen (siehe Abschnitt 8.3.1)
- Spalten 7 bis 9: Kategorisierung/Einordnung nach dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“ des Landes NRW [1] (siehe auch Abschnitt 8.4)
- Spalten 9 bis 17: Weitergehende Bewertung der Beispielprojekte nach betriebsrelevanten Kriterien wie Übertragbarkeit, Effizienz usw. (siehe Abschnitt 8.5)

Nahezu alle Beispielprojekte sind in Form von Steckbriefen beschrieben. In Spalte 18 der Bewertungstabelle ist ersichtlich, von welchen Projekten ein Steckbrief im Anhang 4 beigefügt wurde. Der Steckbrief enthält die Projektbeschreibung und einen Ansprechpartner für weitergehende Informationen.

Weiterhin wurde auf Grundlage der Auswertung der eingereichten Beispielprojekte und der bisher bekannten Verfahrensweisen eine Übersicht mit den Optimierungsmöglichkeiten sowohl im Abwassernetz als auch innerhalb der Kläranlage und der Faulgasnutzung erstellt. Diese wurde als Anhang 5 dem Bericht beigefügt.

8.2 Allgemeine Projektdaten (Spalten 1 bis 4 der Bewertungstabelle)

Die Bewertungstabellenspalten 1 bis 4 beinhalten neben einer laufenden Nummerierung den Projektnamen, den Projektträger und eine Kurzbeschreibung des Projektes.

8.3 Kategorisierung der Beispielprojekte nach dem DWA-Energieschema (Spalte 5 der Bewertungstabelle)

Die DWA hat zur Unterstützung ihrer Fachgremien im Herbst 2007 die Koordinierungsgruppe „Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft“ gegründet. Im Rahmen ihrer Tätigkeiten hat diese Koordinierungsgruppe ein Schema erarbeitet, in das alle Fachgremien der DWA, die sich schwerpunktmäßig oder am Rande mit dem Thema Energie beschäftigen, eingeordnet werden. Das noch in der Entwicklung befindliche System soll dem Informationsaustausch dienen und u. a. die Grundlage für die Koordinierung von Projekten im Bereich Energie bilden.

Die Systematik der DWA unterscheidet drei Hauptbereiche (siehe auch Bild 28)

- Energiequellen (Q),
- Energiebedarf (B)

und

- Steigerung der Energieeffizienz (E).

Die Untergliederung des DWA-Schemas erfolgt in drei Ebenen. Die drei Hauptbereiche Energiequellen, Energiebedarf und Steigerung der Energieeffizienz bilden die erste Ebene. In der zweiten Ebene untergliedert das Schema in Abwasser, Abfall und Gewässer. Die dritte Ebene wird nur bei der Energiequelle und bei der Steigerung der Energieeffizienz benutzt, um die zweite Ebene weiter aufzuspalten. Die Untergliederung ist Bild 28 zu entnehmen. In der Bewertungstabelle der Beispielprojekte wird den Projekten eine Kategorie gemäß dem DWA-Schema zugeordnet. Bild 28 zeigt die Kategorien und ihre Kürzel. Die erste Ebene wird als Buchstabe und die beiden unteren Ebenen als Ziffer benannt (beispielsweise Q.1.1).

Die eingegangenen Beispielprojekte betreffen im Rahmen dieser Studie ausschließlich den Abwasserbereich. Entsprechend wurden nur die in Bild 28 rot umrandeten Unterkategorien des Energieschemas weiter betrachtet.

Energieschema: Zusammenfassung

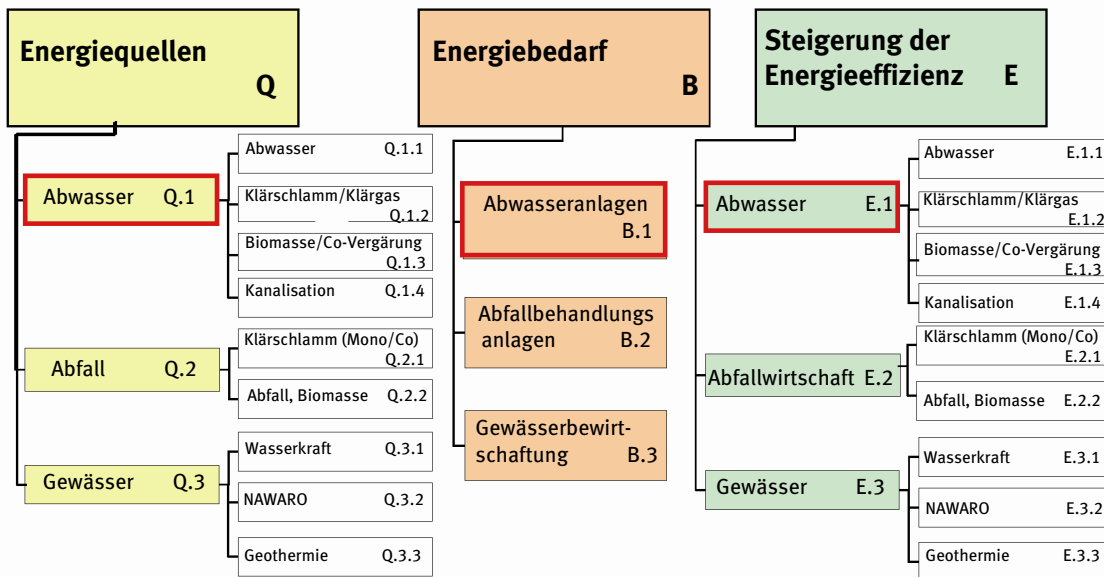


Bild 28: Kategorien nach dem DWA-Energieschema mit ihren Kürzeln

Zu den **Energiequellen** aus dem Bereich Abwasser werden beispielsweise

- die Abwasserwärmenutzung im Bereich der Kläranlage (Q.1.1),
- die Wasserkraftnutzung (Q.1.1),
- die anaerobe Abwasserbehandlung (Q.1.2),
- die anaerobe Schlammbehandlung mit Faulgasverwertung (Q.1.2),
- die Biomasse/Co-Vergärung (Q.1.3) und
- die Abwasserwärmegewinnung aus der Kanalisation (Q.1.4) gezählt.

Die Kategorie **Energiebedarf** bei Abwasseranlagen umfasst den Energieeinsatz

- bei Abwassertransport und Pumpwerken (B.1),
- bei der Regenwasserbewirtschaftung (B.1) und
- bei der Abwasser- und Klärschlammbehandlung mit unterschiedlichen Reinigungsanforderungen (B.1).

Darüber hinaus sind dieser Kategorie alle Maßnahmen zuzuordnen, die sich mit dem Energieeinkauf beschäftigen, wie zum Beispiel Netz- und Lieferverträge, oder Auswirkungen auf den Energieeinkauf haben (zum Beispiel Lastmanagement).

In der Kategorie **Steigerung der Energieeffizienz** werden, im Gegensatz zu der reinen Energiebedarfsoptimierung oder Energieverbrauchssenkung, Maßnahmen zusammengefasst, die den Nutzen mit in die Betrachtung einbeziehen. Effizienz stellt das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand dar. Bei einer derartigen Nutzen-Aufwands-Abschätzung wird also auch der Nutzen einer Maßnahme kritisch hinterfragt. Der Kategorie Energieeffizienz werden dementsprechend Themen wie zum Beispiel

- Bewertung der Relation zwischen Abwasserreinigungsanforderungen und Energieeinsatz,
- Energieeinsatz/-einsparung bei neuen technischen Verfahren mit weitergehenden Leistungsvermögen,
- Wertigkeit von Energieformen zum Beispiel hinsichtlich Klimawandel und Ressourcenverbrauch zugeordnet.

In der Bewertungstabelle werden in der Spalte 5 den Beispielprojekten die vorgenannten Kategorien der DWA-Systematik zugewiesen. In Bild 29 ist die prozentuale Verteilung der Beispielprojekte auf die Kategorien dargestellt.

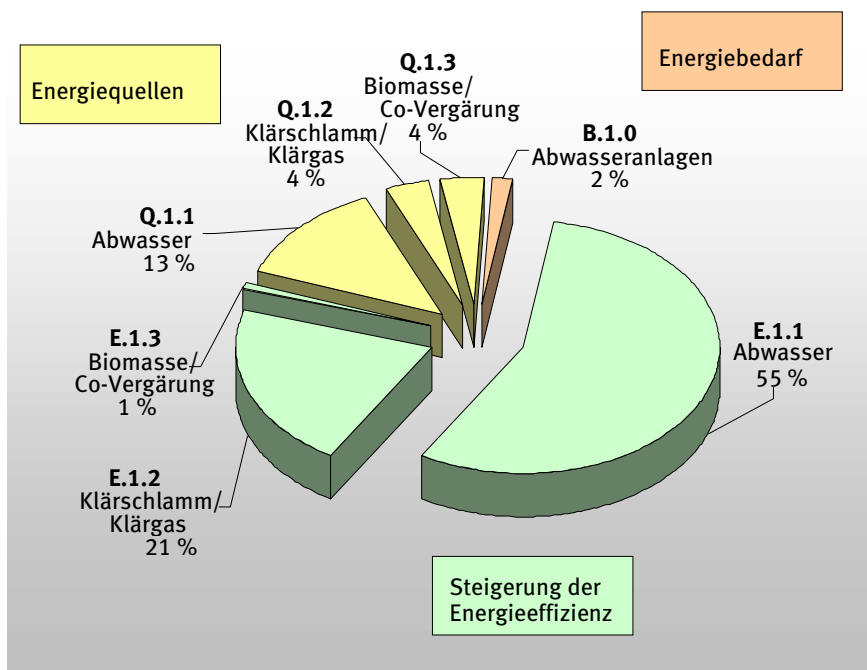


Bild 29: Prozentuale Verteilung der Beispielprojekte auf der 3. Ebene des Energieschemas der DWA

Etwa drei Viertel aller eingegangenen Beispielprojekte konnten einer Steigerung der Energieeffizienz zugeordnet werden, diese bezog sich vorrangig auf das Abwasser aber auch auf den Bereich Klärschlamm/Klärgas. Bei knapp einem Viertel der Beispielprojekte beruht die Energieoptimierung auf Nutzung von Energiequellen. Nur eines der eingegangenen Projekte war dem Bereich Energiebedarf/Abwasseranlagen zuzuordnen. Dies ist sicherlich auch dadurch zu erklären, dass die Energiebedarfssenkung bereits als Standard gilt und daher nicht bei einer Anfrage zu innovativen Projekten aufgeführt wird.

8.3.1 Kategorisierung nach Hauptgruppen (Spalte 6 der Bewertungstabelle)

Auf Grundlage des DWA-Energieschemas wurde eine weitere Kategorisierung erarbeitet.

Die Kategorien ergeben sich aus folgendem Zusammenhang:

Kläranlagen sind nicht allein Strom- bzw. Wärmeverbraucher (Energiebedarf), sie können ebenfalls Strom- bzw. Wärmelieferanten (Energiequelle) sein.

Entsprechend wurden die beiden folgenden **Oberkategorien** definiert, denen die eingereichten Beispielprojekte zugeordnet wurden:

- B Optimierung durch Reduzierung des Energiebedarfs
- Q Optimierung durch Nutzung vorhandener Energiequellen

Anders als nach DWA-Kategorisierung wurde bei dieser Kategorisierung die Steigerung der Energieeffizienz nicht gesondert betrachtet, sondern ist in den beiden Oberkategorien enthalten.

Als dritte Kategorie ergab sich bei Bewertung der eingegangenen Beispielprojekte die rein wirtschaftliche Optimierung, die weder auf die Reduzierung des Energiebedarfs noch auf die Nutzung vorhandener Energiequellen zurückzuführen ist.

- W Rein wirtschaftliche Optimierung

Da dieser Kategorie nur wenige Projekte zuzuordnen sind, wurde auf eine Unterkategorisierung verzichtet.

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft

Die Anzahl der eingereichten Beispielprojekte, soweit zuzuordnen, die der Optimierung durch Reduzierung des Energiebedarfs zuzuordnen sind, ist mit knapp 50 % etwa genauso hoch wie die Anzahl der Projekte, deren Optimierung auf Nutzung vorhandener Energiequellen (knapp 50 %) beruht.

Sowohl bei der Reduzierung des Energiebedarfs einer Kläranlage als auch bei der Steigerung der Energieeigenproduktion der Kläranlage stehen den Betreibern zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung. Den einzelnen Kategorien lassen sich wie folgt Unterkategorien zuordnen

- BB Reduzierung des Energieverbrauchs durch Änderung der Betriebsweise
- BT Reduzierung des Energieverbrauchs durch Einsatz neuer, energiesparender Technik
- QE Nutzung von Abwärme aus technischen Prozessen
- Q1 Nutzung der Energie aus dem Abwasser
- Q2 Steigerung der Energieausbeute aus dem Klärschlamm
- Q3 Steigerung der Energiebereitstellung durch Co-Vergärung
- QH Nutzung Wasserstoff
- W Wirtschaftliche Optimierung

In Bild 30 ist die Aufteilung der Beispielprojekte nach dieser Kategorisierung dargestellt.

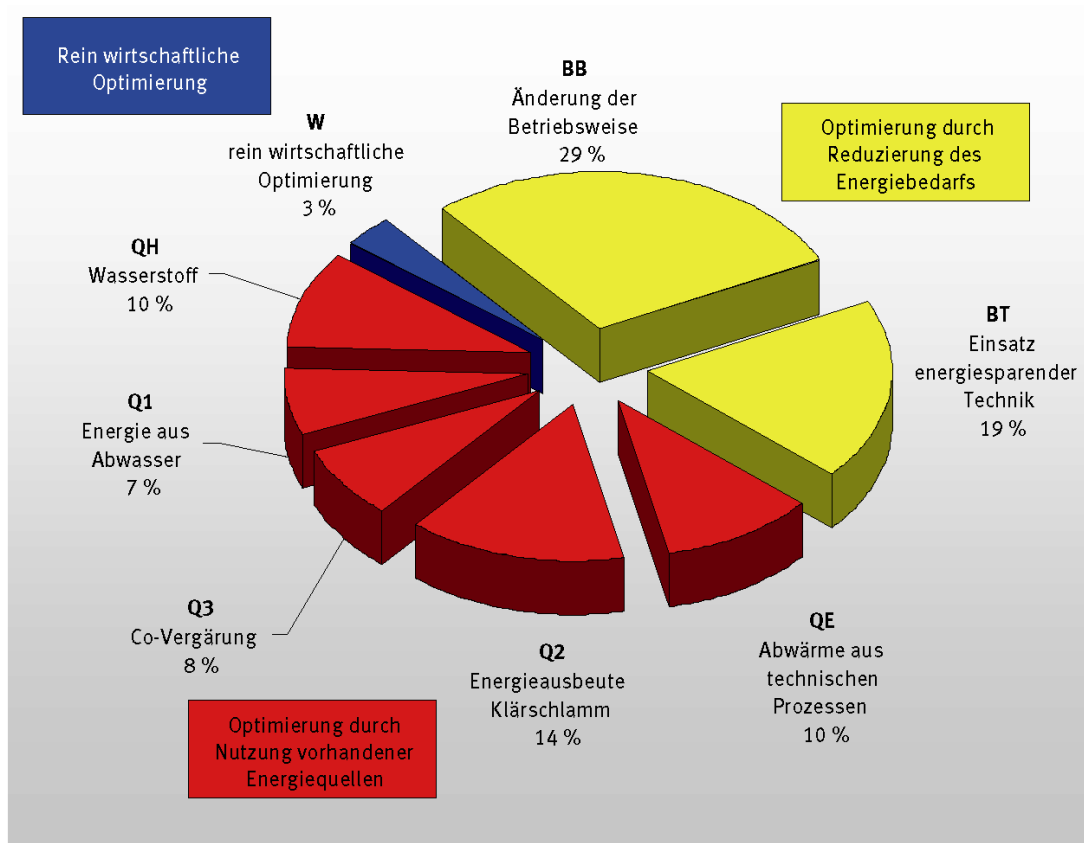


Bild 30: Gliederung der Maßnahmen nach Bedarf/Quellen

29 % aller Beispielprojekte reduzieren den Energieverbrauch durch Änderung der Betriebsweise, 19 % durch den Einsatz neuer, energiesparender Verfahren.

Bei der Optimierung durch Nutzung vorhandener Energiequellen überwiegt die Steigerung der Energieausbeute aus dem Klärschlamm mit 14 % vor der Nutzung der Wärme aus dem Abwasser mit 7 % aller eingegangenen Beispielprojekte. In 8 % aller Projekte dient die Co-Vergärung als Energiequelle. Die Nutzung von Abwärme aus technischen Prozessen und Wasserstoff wird in jeweils 10 % der Fälle verwirklicht.

8.4 Kategorisierung nach Handbuch „Energie in Kläranlagen“ des Landes NRW [1] (Spalten 7,8 und 9 der Bewertungstabelle)

Die Untersuchungen zur energetischen Optimierung einer Kläranlage mit einem ganzheitlichen Ansatz sollten nach einer klaren Systematik erfolgen. Hierfür ist in den meisten Energiehandbüchern ein schrittweises Vorgehen mit Grob- und Feinanalyse der Kläranlage vorgesehen. Solche Energieanalysen sind aber nur dann sinnvoll, wenn eine Umsetzung angestrebt wird und anschließend eine Umsetzungs- und Erfolgskontrolle des vorgeschlagenen Maßnahmenpaketes erfolgt.

Ein derartiges Maßnahmenpaket sollte nach einer zeitlichen und wirtschaftlichen Systematik strukturiert werden. Das Handbuch „Energie in Kläranlagen“ des Landes NRW [1] schlägt eine Gliederung der Maßnahmen in drei Realisierungsstufen vor. Diese Gliederung enthält **Sofortmaßnahmen**, die sinnvoller Weise unverzüglich durchgeführt werden, **kurzfristige Maßnahmen**, die unter Berücksichtigung eines normalen Projektierungsablaufes in 2 bis 5 Jahren realisiert werden und **abhängige Maßnahmen**, die erst im Rahmen der allgemeinen Erweiterung oder Ersatz der betroffenen Anlagenteile umgesetzt werden. Weitergehend sind diese Realisierungsstufen [1, S. 343] wie folgt definiert:

Sofortmaßnahmen (S):

Gutes Kosten-/Nutzenverhältnis (insgesamt unter ca. 0,3) oder dringende Anpassung an heutige Gesetzesgrundlagen bzw. Schadensbehebung zur Verminderung von Substanzverlusten.

Keine Folgeprobleme auf spätere Maßnahmen, voneinander unabhängig

Keine betrieblichen, abwassertechnischen, bauphysikalischen oder technischen Probleme

Kurzfristige Maßnahmen (K):

Die Maßnahmen werden im Rahmen einer Ausführungsplanung genauer untersucht.

Abhängige Maßnahmen (A):

Maßnahmen, die wegen schlechtem Kosten-/Nutzenverhältnis oder anderen Abhängigkeiten nur im Zusammenhang mit allgemeinen Sanierungs-, Unterhalts- oder Erneuerungsarbeiten ausgeführt werden können.

In der Bewertungstabelle werden in den Spalten 7 bis 9 die einzelnen Beispielprojekte einer der drei vorgenannten Realisierungsstufen zugewiesen. In Bild 31 ist die anteilmäßige Verteilung der Beispielprojekte auf die drei Realisierungsstufen dargestellt.

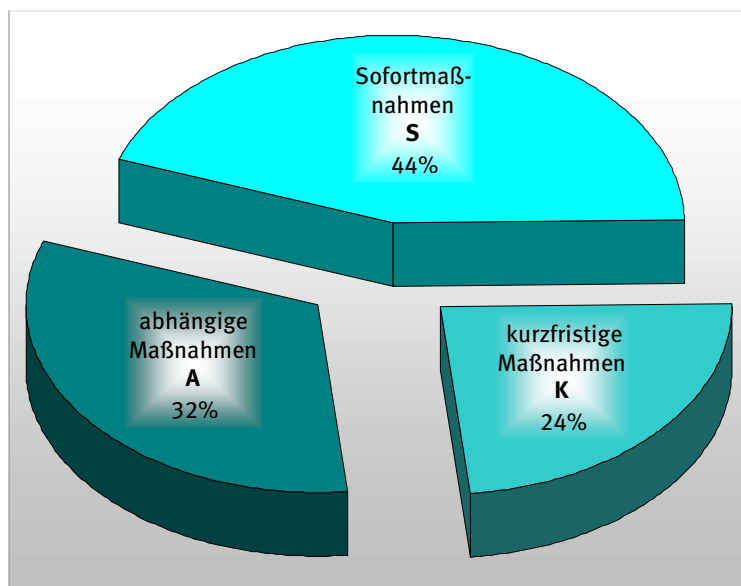


Bild 31: Gliederung nach Realisierungsstufen (Energiehandbuch NRW)

8.5 Weitergehende Kategorisierung und Bewertung

Die folgenden Spalten wurden hinzugefügt, um die Beispielprojekte weitergehend zu kategorisieren und miteinander vergleichen zu können.

8.5.1 Übertragbarkeit (Spalten 10 und 11 der Bewertungstabelle)

Ziel des Projektes ist die Vorstellung der Beispielprojekte im Bereich Energieoptimierung der Abwasserbehandlung.

Für die Praxis ist es von Bedeutung, inwiefern die eingereichten und bewerteten Projektbeispiele auf andere Anlagen übertragbar sind. In der Bewertungstabelle wird unter dieser Voraussetzung bewertet, ob eine Übertragbarkeit mit geringem oder nur mit hohem Aufwand möglich ist. In den Spalten 10 und 11 der Bewertungstabelle wird diese Übertragbarkeit eingeschätzt. Voraussetzung für die Übertragbarkeit ist, dass die Anlage, auf die das Projekt übertragen werden soll, eine vergleichbare Verfahrenstechnik hat.

Die Übertragbarkeit des Einsatzes neuer, energiesparender Verfahren ist weitestgehend möglich. Meist ist die Anschaffung energiesparenderer Technik (wie beispielsweise eines BHKWs mit einem höheren Wirkungsgrad) mit einer ohnehin notwendigen Anschaffung verbunden (abhängige Maßnahmen, vergleiche Abschnitt 8.4).

Die Nutzung von Abwärme ist ebenfalls einfach auf andere Kläranlagen zu übertragen, da Kläranlagen in der Regel einen Wärmeüberschuss haben. Woher die Abwärme stammt und wo sie genutzt wird, ist dann standortabhängig. Ob die Wärme beispielsweise in ein Fernwärmenetz eingespeist wird, ist wesentlich von der örtlichen Erreichbarkeit eines vorhandenen Netzes abhängig.

Der Einsatz von Brennstoffzellen ist zurzeit schwierig übertragbar, da er neben der hohen Jahreskosten sehr von der Gasqualität bestimmt wird. Zudem ist der als wesentlicher Vorteil einer Brennstoffzelle gesehene hohe elektrische Wirkungsgrad bisher nur in der Theorie sehr viel höher als der eines BHKWs. In der Praxis muss hier noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden, ehe eine Serienproduktion und damit eine einfache Übertragbarkeit auf viele Kläranlagen möglich wird. Dementsprechend handelt es sich auch bei den Beispielprojekten, die einen Einsatz von Brennstoffzellen beinhalten, um Forschungsprojekte.

Die Optimierung des Strombezugs einer Kläranlage durch lastabhängige Steuerung und Regelung ist bezüglich der umzusetzenden Maßnahmen eher standortspezifisch. Die Vorgehensweise ist einfach übertragbar. Insbesondere im Bereich der biologischen Reinigungsstufe können hierdurch Einsparungen erzielt werden.

8.5.2 Einsparung (Spalte 12 der Bewertungstabelle)

Die Spalte 12 stellt die potenzielle Energieeinsparung bei den einzelnen Beispielprojekten dar. Die Angabe der Einsparung erfolgte bevorzugt, jedoch nicht bei allen Projekten, in der Einheit kWh/(E·a). Hierdurch ist ein Vergleich der erzielten Einsparungen durch die unterschiedlichen Projekte möglich.

8.5.3 Jahr und Einwohnerwerte (Spalten 13 und 14 der Bewertungstabelle)

In den Spalten 13 und 14 werden das Projektjahr und die angeschlossenen Einwohnerwerte (E) angegeben. Diese Angaben sind wichtig, da Umsetzungszeitpunkt der Maßnahme und Ausbaugröße der Kläranlage wesentliche Kriterien zur Bewertung eines Projektes darstellen.

8.5.4 Stand (Spalte 15 der Bewertungstabelle)

In Spalte 15 wird beschrieben, auf welchem Stand das Projekt im Hinblick auf Einsatz in der Praxis ist. Es wird unterschieden nach Forschungs- und Entwicklungsprojekten (F&E; Projekte im Planungsstadium; umgesetzte oder in Betrieb befindliche Projekte).

8.5.5 Aufwand/Invest (Spalte 16 der Bewertungstabelle)

Spalte 16 beinhaltet den Aufwand bzw. die notwendige Investition, die mit der Umsetzung des Projektes verbunden ist.

8.6 Steckbriefe (Spalte 17 der Bewertungstabelle)

Im Rahmen der Bearbeitung und Zusammenfassung der Beispielprojekte wurden die einzelnen Projektträger um eine Zusammenfassung ihres Beispielprojektes in einem Steckbrief gebeten bzw. durch die Verfasser der Studie eine Zusammenfassung aus den uns zur Verfügung gestellten Informationen erstellt. Diese Steckbriefe sind dem Bericht als Anhang 4 beigelegt. Welche Beispielprojekte über einen Steckbrief verfügen, ist der Spalte 18 der Bewertungstabelle zu entnehmen. Der Steckbrief enthält alle wichtigen Informationen zu dem Projekt.

8.7 Anmerkungen zu den Umfrageergebnissen

Die Abwasserwirtschaft leistet bereits seit vielen Jahren einen Beitrag zur Energieerzeugung aus regenerativen Quellen. Insbesondere beim Großverbraucher Kläranlage wurden aber auch bereits erhebliche Anstrengungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Effizienzsteigerung geleistet.

Die Umfrage zeigt, dass in Einzelfällen bereits viele weitere, innovative Möglichkeiten zur Energieoptimierung genutzt werden. Diese Möglichkeiten müssen jetzt auf allen Anlagen umgesetzt werden, wenn sich im jeweiligen Einzelfall die technische und wirtschaftliche Sinnhaftigkeit nachweisen lässt.

Interessierte Betreiber können die entsprechenden Steckbriefe zur Information nutzen und bei Bedarf die angegebenen Ansprechpartner kontaktieren.

9 Verifizierung der Daten, Aufgaben der DWA

Alle in der Studie berücksichtigten Daten wurden entweder direkt aus Literaturquellen entnommen oder in einem nachvollziehbar dargestellten Weg abgeleitet bzw. berechnet. Es besteht jedoch ein großer Bedarf an Absicherung verschiedener Annahmen, zum Beispiel durch gezielte bundesweite Umfragen (vergleiche auch [57, Abschnitt 3.3]).

Insbesondere ist zu klären:

- Wie hoch sind Anzahl und installierte Leistung von Wasserkraftanlagen < 1 MW Leistung?
- Wie groß ist die bestehende Faulbehälterkapazität auf deutschen Kläranlagen tatsächlich und welcher Anteil wird zurzeit gar nicht zur anaeroben Schlammstabilisierung genutzt?
- Welche Vorentwässerungseinrichtungen sind installiert bzw. wie hoch ist der Eingangs-TS-Gehalt in die Faulung?
- Wie wird das Gas verwertet und welche installierte Leistung haben die Verwertungsaggregate?
- Wie hoch ist die entsorgte Klärschlammmenge in t TS/a?
- Wie hoch ist die von Kläranlagen eingekaufte Wärmeenergiemenge (Öl/Erdgas/...)

Die DWA sollte dringend mit dem Statistischen Bundesamt Kontakt aufnehmen, um bei weiteren Umfragen zu Klärgas evtl. beteiligt zu werden (zum Beispiel Erweiterung des Fragebogens, siehe Anhang 1) oder zumindest direkte Informationen aus der Datenerhebung zu erhalten.

10 Zusammenfassung

Die deutsche Wasserwirtschaft leistet heute bereits einen Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland, der sich durch Nachhaltigkeit und damit dauerhafte Versorgungssicherheit auszeichnet. Die Stromerzeugung in wasserwirtschaftlichen Anlagen lag im Jahr 2006 bei insgesamt rund 23 TWh (siehe Tabelle 15, Zeilen 1a, 2aa, 3a) und entsprach damit etwa 3,6 % der Bruttostromerzeugung in Deutschland in 2006 (637 TWh) und etwa 4,3 % des Stromverbrauchs in 2006 (617 TWh) [75].

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft

Tabelle 15: Zusammenstellung des Energiepotenziales der deutschen Wasserwirtschaft

	Energieerzeugung	primär	thermisch	elektrisch	Wirkungsgrade		
					Wärme	el.	Gesamt
1a	Wasserkraft, Istzustand 2006			21,70 TWh/a			
1b	Wasserkraft Potential ¹⁾			29,20 TWh/a			
2aa	Klärgas Ist-Situation (nur BHKW) ²⁾	3,60 TWh/a	1,80 TWh/a	0,94 TWh/a	50 %	26 %	76 %
2bb	nicht verstromte Menge ²⁾	1,34 TWh/a	1,21 TWh/a		90 %		
2b	+ Ausrüstung aller KA > 10.000 E mit BHKW =	5,44 TWh/a	2,72 TWh/a	1,74 TWh/a	50 %	32 %	82 %
2c	+ Steigerung Energieausbeute ^{3) 4)} =	7,86 TWh/a	3,54 TWh/a	3,14 TWh/a	45 %	40 %	85 %
2d	+ Stromerzeugung in Brennstoffzellen ⁴⁾ =	7,86 TWh/a	3,14 TWh/a	3,93 TWh/a	40 %	50 %	90 %
3a	Istzustand Klärschlammverbrennung	1,17 TWh/a	0,64 TWh/a	0,35 TWh/a	55 %	30 %	85 %
3b	+ Zunahme Verbrennungsanteil =	2,00 TWh/a	1,10 TWh/a	0,60 TWh/a	55 %	30 %	85 %
3c	+ optimierte Anlagentechnik	2,00 TWh/a	0,80 TWh/a	1,00 TWh/a	40 %	50 %	90 %
4a	Co-Vergärung ⁵⁾	2,63 TWh/a	1,18 TWh/a	1,05 TWh/a	45 %	40 %	85 %
4b	Co-Vergärung + BZ ^{4) + 5)}	2,63 TWh/a	1,05 TWh/a	1,32 TWh/a	40 %	50 %	90 %
5	Abwasserwärme Kläranlage ⁶⁾		1,68 TWh/a	-0,42 TWh/a	400 %		
6	Wasserkraft Kanalisation			0,40 TWh/a			
7	Abwasserwärme Kanal		10,00 TWh/a	-2,5 TWh/a	400 %		
8	Trinkwasserwärme ⁸⁾		1,12 TWh/a	-0,28 TWh/a	400 %		
9	Solaranlagen ⁷⁾		(0,18 TWh/a)	0,18 TWh/a			
Energieverbrauch auf KA							
	Energieverbrauch, Ist	(11,6 TWh/a)	3,30 TWh/a	4,40 TWh/a	(38 %)		
	Energieverbrauch bei 2a	(8,7 TWh/a)	2,48 TWh/a	3,30 TWh/a	(38 %)		
	Energieeinsparpotenzial 2a	(2,9 TWh/a)	0,82 TWh/a	1,10 TWh/a	(38 %)		
10b	Energieverbrauch bei 2d	(8,7 TWh/a)	5,87 TWh/a	3,30 TWh/a	(38 %)		
	Energieeinsparpotenzial 2d	(2,9 TWh/a)	-2,57 TWh/a	1,10 TWh/a	(38 %)		
HINWEISE:							
1) Die Abschätzung über den Zuwachs schwanken zwischen 5,2 und 7,5 TWh, angesetzt wurden hier 7,5 TWh.							
2) Beim Istzustand wurde das Basisjahr 2006 gewählt. Es existierten 1.190 Kläranlagen mit Faulung mit einer Ausbaugröße von 97 Mio. E, von 69 Mio. E wurde das Klärgas verstromt (2aa). In 2ab wurde unterstellt, dass der gesamte restliche Klärgasanfall in Wärme umgesetzt wird.							
3) Die Steigerung beinhaltet neben der Verbesserung der Gasausbeute die Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades durch Einsatz besserer BHKW.							
4) Beim Potenzial sinkt durch die veränderten Wirkungsgrade ($\eta_{el} = 40\%$ bzw. 50% , $\eta_{wärme} = 45\%$ bzw. 40%) die Wärmearbeit zugunsten der elektrischen Arbeit.							
5) nur Nutzung der theoretisch verfügbaren Faulbehälter-Reservekapazität							
6) Es wurde nicht das theoretisch verfügbare Potenzial, sondern nur das bei Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades der Gasverwertung abzudeckende Wärmedefizit angesetzt.							
7) bei Ansatz einer aktivierbaren Fläche von 3 % der Klärwerksfläche							
8) Potenzial bei Nutzung von 20 % der Grundwasserförderung für die Trinkwasseraufbereitung							

Die Visualisierung einiger wesentlicher Tabellenwerte in Bild 32 zeigt, dass insbesondere das Stromerzeugungspotenzial aus Klärgas auf Kläranlagen deutlich erhöht werden kann (Vervierfachung gegenüber dem Istzustand). Nimmt man die ausgewiesenen Potenziale im Bereich Co-Fermentation und Solarenergie hinzu, lässt sich der Anteil sogar von heute (2006) 0,94 TWh auf langfristig 5,16 TWh mehr als verfünffachen. Bei der Wasserkraft liegt das langfristig realisierbare Steigerungspotenzial aus Anlagenoptimierung bei ca. 35 %.

Bei Nutzung aller in der Studie aufgezeigten Potenziale ergäbe sich zukünftig eine Stromerzeugung in wasserwirtschaftlichen Anlagen von rund 33 TWh/a (siehe Tabelle 15, Zeilen 1b, 2d, 3c, 4b und Bild 32).

Geht man davon aus, dass die Prognosen zur Energieverbrauchs-Reduzierung in Deutschland bis zum Jahr 2030 tatsächlich eintreffen, so kann von einer Verminderung des Gesamtstrombedarfs um 15 % gegenüber heute ausgegangen werden. Damit läge der Stromverbrauch im Jahr 2030 bei rund 460 TWh/a und der Anteil der Stromerzeugung aus wasserwirtschaftlichen Anlagen von 33 TWh/a ergäbe sich bei Nutzung aller Potenziale zu rund 7,2 %. In einem Strommarkt, der zukünftig stark vom Energiemix, das heißt von der Nutzung vieler unterschiedlicher Primärenergieträger geprägt sein wird, ist dies ein sehr wichtiger Beitrag zur Sicherstellung der Stromversorgung in Deutschland.

Neben den notwendigen Veränderungen bei der Energieerzeugung ist die Energieverbrauchs-Reduzierung ein wichtiger Baustein zur zukünftigen Sicherstellung eines ausgeglichenen Energiehaushaltes in Deutschland. Bei Kläranlagen als einem der größten kommunalen Stromverbraucher zeigt die Studie auf, dass hier ein Einsparpotenzial von bis zu 25 % bezogen auf den heutigen Stand möglich ist. Das Potenzial liegt also deutlich über den Gesamtprognosen zur Energieverbrauchs-Reduzierung in Deutschland bis zum Jahr 2030 von 15 % gegenüber heute (siehe oben).

Das aufgezeigte Stromerzeugungspotenzial von Kläranlagen von 3,93 TWh/a + 1,32 TWh/a = 5,16 TWh/a ergibt bei 8.000 Jahres-Betriebsstunden eine installierte Leistung von

$$5,16 \text{ TWh/a} \cdot 10^6 \text{ MWh/TWh} / 8.000 \text{ h/a} = 640 \text{ MW}_{el}$$

Dies entspricht der Leistung eines mittleren Großkraftwerkes.

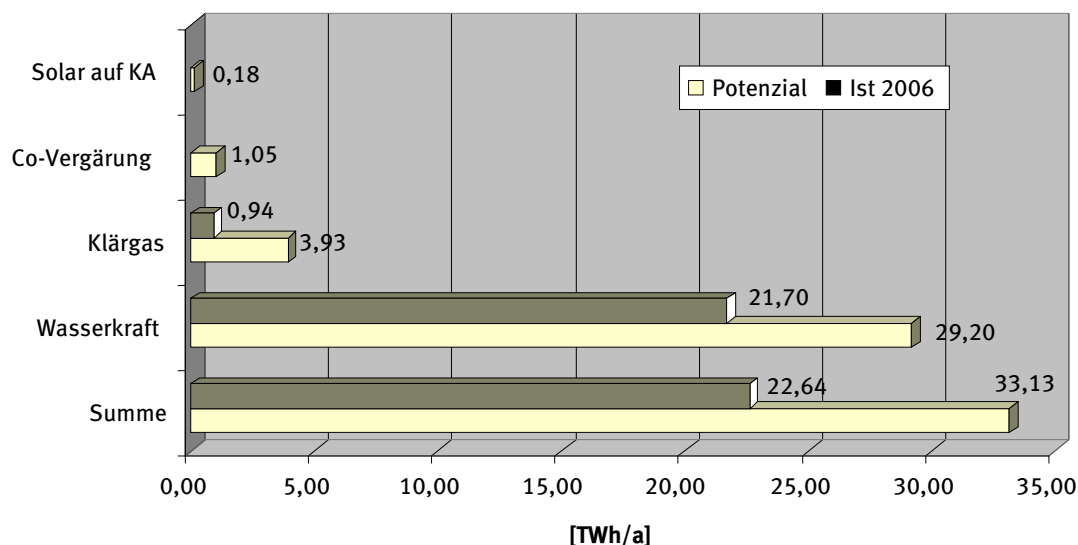


Bild 32: Potenziale der Stromerzeugung in der Wasserwirtschaft

Für das Gesamt-Strompotenzial aus wasserwirtschaftlichen Anlagen von rund 33 TWh/a ergibt sich eine installierte Leistung von

$$33 \text{ TWh/a} \cdot 10^6 \text{ MWh/TWh} / 8.000 \text{ h/a} = 4.100 \text{ MW}_{el}$$

Dies entspricht der Leistung von 6 mittleren Großkraftwerken.

Die Wasserwirtschaft hat wie aufgezeigt im Bereich der Energieversorgung bereits viel geleistet und ist in der Lage, ihren Beitrag weiter zu steigern. Sicherlich muss in jedem Einzelfall geprüft werden, welche Möglichkeiten umsetzbar sind, aber in der Summe sind die prognostizierten Ziele realistisch und damit erreichbar, wenn alle Beteiligten sich diesem Thema ernsthaft widmen.

Literatur

- [1] Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW (Hrsg.): Energie in Kläranlagen – Handbuch, 9/1999
- [2] DICHTL, N.; MEYER, H.; NIEHOFF, H.-H.: Technisch/wirtschaftliche Aspekte der Faulgasverwertung in Gasmotoren auf Kläranlagen im Zusammenwirken von Abwasserreinigung, Schlammbehandlung, Energieautarkie und Berücksichtigung weitergehender Emissionsaspekte, Mitteilungen der Oswald-Schulze Stiftung, Heft 22, Eigenverlag der Oswald Schulze Stiftung 1997
- [3] MEYER, H.; KADELKA, A.; PODEWILS, W: Technisch/wirtschaftliche Aspekte der Klärgasverwertung auf Kläranlagen im Zusammenwirken von Abwasserreinigung und Energieautarkie, Mitteilungen der Oswald-Schulze Stiftung, Heft 4, Eigenverlag der Oswald Schulze Stiftung 1983
- [4] bte Beratungsteam Energie- und Verfahrenstechnik: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Integration der Wasserstoffproduktion in die kommunale Abwasserreinigung, Pilotanlage Standort Düren-Merken, Phase I, Aachen, 2003
- [5] bte Beratungsteam Energie- und Verfahrenstechnik: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Kombiniertes Einsatz von Wasserstofftechnologie u. regenerativen Energieträgern zur Energie- und Verfahrensoptimierung von Abwasserreinigungsanlagen, Aachen 7/2000
- [6] bte Beratungsteam Energie- u. Verfahrenstechnik: Forschungs- u. Entwicklungsvorhaben, Entwicklung eines Managementkonzeptes für eine wirtschaftl. Energiebereitstellung auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit dem Ziel der Energieautarkie, Aachen, 7/2000
- [7] Statistisches Bundesamt: Fachserie 19 Reihe 2.1, Umwelt – Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, 2004, Erscheinungsfolge: dreijährlich, Erschienen am 6. September 2006, Artikelnummer: 2190210049004, Gruppe VII B, Telefon: +49 (0) 1888-644 8194; Fax: +49 (0) 1888-644 8963 oder E-Mail: thomas.grundmann@destatis.de
- [8] DWA-Arbeitsgruppe AK-1.2 „Statistik“: Stand der Klärschlammbehandlung und -entsorgung in Deutschland, Ergebnisse der DWA Klärschlammhebung 2003, Oktober 2005
- [9] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG)
- [10] HABERKERN, B.: Impulsprogramm Hessen: Energieeinsparung in Kläranlagen, Seminardokumentation, Darmstadt, 1998
- [11] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft: Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen, Karlsruhe, 1998
- [12] Energie Agentur, NRW, Stromerzeugung aus regenerativen Energien in Deutschland nach Energieträgern
- [13] BINE Magazin für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien: Erneuerbare Energien in Deutschland – Zahlen, Daten & Trends, <http://www.bine.info/magazin_folgeseite.php/magazin_thema=23/seite=207>, 2002/2003
- [14] Bundesverbandes Erneuerbare Energie e. V. (BEE): Anteil EE-Wärme in Deutschland, <www.bee-ev.de/uploads/Reg.%20Waermegesetz.pdf>, 2002
- [15] BÖHNKE, B.; BISCHOFBERGER, W.; SEYFRIED, C. F.: Anaerobtechnik – Handbuch der anaeroben Behandlung von Abwasser und Schlamm, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1993
- [16] SCHRÖDER, M.: Wasserstoff auf Kläranlagen – Neue Aufgabe u. Chance f. d. Abwasserents., ATV-DVWK-Bundestagung, Würzburg 2004
- [17] ATV: Handbuch Klärschlamm, 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1996
- [18] HOFFMANN, J.: Energiehaushalt auf Kläranlagen; Bilanzierung und Wirtschaftlichkeit, KA – Korrespondenz Abwasser, S. 896–904, 12/1982
- [19] KA – Korrespondenz Abwasser, 29. Jahrgang, Seiten 371 bis 420, 06/1982
- [20] SCHRÖDER, M.: Klärschlamm als Energieträger, KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall, 54. Jahrgang, Seiten 1035 bis 1040, 10/2007
- [21] TECSON-DIGITAL, Wulfelder Weg 2a, D-24242 Felde: Historische Ölpreisentwicklung 1960 bis 2007 in US\$ pro Barrel, <<http://www.tecson.de/poelhist.htm>>
- [22] BMU: Nationaler Klärschlammbericht des Bundesumweltministeriums; <<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/40230.php>>, der EU-Kommission übermittelt am 11. Oktober 2007
- [23] IMHOFF, K. und K. R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung, 30. Auflage, Oldenburg Industrieverlag, 2006.
- [24] ROOS, H.-J.: Perspektiven der Co-Vergärung auf Kläranlagen. E-World, Essen, 2007.
- [25] SCHRÖDER, M.: Kläranlagen als Bestandteil der Energie-Infrastruktur. DWA-Landesverbandstagung Bayern, Weiden, 2007
- [26] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Internetportal Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, <<http://www.bmwi.de>>
- [27] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik: Internetportal Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, <<http://www.bmwi.de>>
- [28] GIESECKE, J.; HEIMERL, St.: Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland, Wasserwirtschaft, Ausgabe 7-8/1999
- [29] Umweltbundesamt: Wasserkraftanlagen als erneuerbare Energiequelle – rechtliche und ökologische Aspekte, 2001
- [30] Bundesverband Erneuerbare Energien e. V.: Präsentation Jahresrückblick 2007; Rekordwerte trotz gebremstem Wachstum, Pressekonferenz, Berlin, 01/2008
- [31] Deutsche Umwelthilfe e. V.: Lebendige Flüsse & Kleine Wasserkraft – Konflikt ohne Lösung?, 2006

- [32] ROST, M.: Pumpspeicherkraftwerke – Aufgaben und Zukunft im Stromwettbewerb, Wasserwirtschaft, Ausgabe 7-8/2000
- [33] NOWOTNY, G.: Neue Wasserturbinen für vorhandene Wasserkraftanlagen, Wasserwirtschaft, Ausgabe 4/2000
- [34] KESSELRING, P.; HAURY, G.: Grüner Strom – regenerative Energieerzeugung aus Wasserkraft im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Markt, Wasserwirtschaft, Ausgabe 7-8/2000
- [35] BÖCKER, K.: Kleinwasserkraftnutzung an Wehren, Talsperren und Kläranlagenausläufen, ATV-DVWK Bundes- und Landesverbandstagung 2001, Freiburg im Breisgau, 27. – 28. September 2001
- [36] RINDELHARDT, U.: Wasserkraftnutzung in Ostdeutschland, Wasserwirtschaft, Ausgabe 6/2007
- [37] MÜLLER, G.; BECKER, T.: Das mittelschlächlige Wasserrad als Energiewandler für kleine Fallhöhen, Wasserwirtschaft, Ausgabe 6/2005
- [38] GÜNTHER, Th.: Die Renaissance des Wasserrades, Wasserwirtschaft, Ausgabe 4/2000
- [39] HAUENSTEIN, W.: Externe Effekte der Wasserkraftnutzung, Wasserwirtschaft, Ausgabe 7-8/2000
- [40] KOHLER, B.: Bewertung externer Effekte bei der Laufwasserkraftnutzung, Wasserwirtschaft, Ausgabe 9/2007
- [41] LOHR, H.; SCHEUER, L.; SCHOLEMANN, H.: Optimierung der Wasserkraftnutzung bei konkurrierenden Nutzungen am Beispiel der Trinkwassertalsperre Genkel, gwf Wasser Abwasser, Ausgabe 11/2005
- [42] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): <<http://www.bmu.de/allgemein/aktuell/160.php>>
- [43] FICHTNER: BMU; Gutachten zur Berücksichtigung großer Laufwasserkraftwerke im EEG, 7/2003
- [44] VA Tech Hydro GmbH/Voith Siemens Power Generation GmbH: Wasserkraftanlagen in Deutschland, Beitrag zur öffentlichen Anhörung am 8. März 2004 zu dem Gesetzentwurf der Fraktionen SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 15/2327 – Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG)
- [45] VSE, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, Aarau: Baureportage Rheinfelden, Internetportal POWER on, 2007
- [46] PROT, S.: Potenziale der Wasserkraftnutzung durch Kleinwasserkraftwerke, FiW-Tagung am 12. Dez. 2001 in Aachen, Abwasser-Energie-Wasserstoff – Die Zukunft hat begonnen –
- [47] GASSEN, M., HUNKE, D.: Wärmegewinnung aus städtischem Abwasser, KA – Korrespondenz Abwasser, Dezember 1982, S. 882
- [48] BURI, R.; KOBEL, B.: Wärmenutzung aus Abwasser, Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisation, Hrsg. Bundesamt für Energie, Bern, November 2004
- [49] ROMETSCH, L.: Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen, Hrsg. IKT, Januar 2005
- [50] PILLER, S.: Markt- und Potentialanalyse, Wärmerückgewinnung aus Abwasser in Deutschland, Hrsg.: Berliner Energieagentur GmbH, 2006
- [51] DUDEY, J.; PECHER, R.: ATV-Umfrage Abwassergebühren, Hrsg. GFA e. V., 1994
- [52] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW): Presseinformation „Strom aus erneuerbaren Energien“, <<http://www.bdew.de>>, Januar 2008
- [53] MÜLLER, E. A.; KOBEL, B.: Wärmenutzung aus Abwasserkanälen, Eine regenerative Energiequelle mit großem Potenzial
- [54] SCHMID, F.: Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potenzialerhebung im Rahmen des GEP, gwa Ausgabe 6/2007
- [55] BURI, R.; KOBEL, B.: Energie aus Kanalabwasser, Leitfaden für Ingenieure und Planer, Arbeitsgemeinschaft Ryser Ingenieure AG, Institut Energie in Infrastrukturanlagen, ECO.S Energieconsulting Stadtmeister, gefördert durch die DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Bern, November 2005
- [56] DIGEL DR., R.; GLOCKNER DR. E.; GREDIGK-HOFFMAN, S.; PINNEKAMP Prof., J.: Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherrn und Kommunen, Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V., 10/2005
- [57] Umweltbundesamt: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. UFOPLAN 205 26 307, 11/2006, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3347>, Stand 13. Januar 2009
- [58] Umweltbundesamt: Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. 3. überarbeitete Auflage, 08/2004
- [59] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland – Langfassung. Forschungsbericht FKZ 901 41 803, Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal, 03/2004
- [60] Statistisches Bundesamt: Erhebung über die Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas, Wiesbaden, 11/2007
- [61] Statistisches Bundesamt: Klärgasgewinnung 1964 bis 2006, nicht veröffentlicht
- [62] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006, Grafiken und Tabellen, Stand November 2007
- [63] Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FIW): Wissenschaftliche Begleitung des Einsatzes eines Wasserrades zur Stromerzeugung in der Abwasserableitung. Aachen, 2007
- [64] DWA-Regelwerk, DWA-M 609-1 (Entwurf), Entwicklung urbaner Fließgewässer – Teil 1: Grundlagen, Planung und Umsetzung, 2/2008
- [65] HEIMERL, S.; GIESECKE, J.: Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland 2003, Wasserwirtschaft 10/2004
- [66] ATV-DVWK-Regelwerk, Merkblatt ATV-DVWK-M 363, Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogas, August 2002
- [67] ATV-DVWK-Regelwerk, Merkblatt ATV-DVWK-M 368, Biologische Stabilisierung von Klärschlamm, April 2003
- [68] DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 299, Einsatz von Brennstoffzellen auf Kläranlagen, Juni 2006

- [69] ATV-DVWK-Regelwerk, Merkblatt ATV-DVWK-M 372, Technische Rahmenbedingungen für die Vergärung biogener Abfälle, Mai 2003
- [70] ATV-Regelwerk, Merkblatt ATV-M 365, Hygiene bei der biologischen Abfallbehandlung – Hinweise zu baulichen und organisatorischen Maßnahmen sowie zum Arbeitsschutz, November 1999
- [71] ATV-DVWK-Regelwerk, Merkblatt ATV-DVWK-M 379, Klärschlamm-trocknung, Februar 2004
- [72] KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall, 55. Jahrgang, Seite 891, 08/2008
- [73] Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III (ATV): Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserkläranlagen und mechanischen Klärverfahren. 3. überarb. Aufl. 1983. Verlag: Ernst & Sohn, Berlin
- [74] Einrichtungen zur Abwasserreinigung III, Heft 12 (ATV): Sändfänge – Leichtstoffabscheider, Fernlehrgang zur Prüfungsvorbereitung zum Abwassermeister, 3. neu bearb. Auf. 1988
- [75] <<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>> und dort: Tabelle Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2009 nach Energieträgern
- [76] DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 380, Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und Landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Juni 2009
- [77] DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 114, Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie, Juni 2009
- [78] BEE, Bundesverband erneuerbare Energien, Wege in die moderne Energiewirtschaft, Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche, Teil 2: Wärmeversorgung 2020, Berlin, Oktober 2009, S. 9
- [79] PLATH, M.; WICHMANN, K., Energiepotenziale der deutschen Wasserwirtschaft, Teilprojekt „Energieeffizienz und Energieeinsparung in der Wasserversorgung“ KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall, 9/2005, S. 921 ff

Anhang 1 Fragebogen des Statistischen Bundesamtes zur Erhebung über die Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas [60]

Name der befragenden Behörde



Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas für das Jahr 2007

073

Name des Amtes
Ort, Einheit
Straße + Hausnummer
PLZ, Ort
Unternehmensnummer
(bei Rückfragen bitte angeben):

Rücksendung bis spätestens:

Datum und Unterschrift der/des Auskunftserteilenden:

Betriebsnummer
(bei Rückfragen bitte angeben):

Ansprechpartner/-in für Rückfragen
(freiwillige Angabe):
Name:

Bei Rückfragen erreichen Sie uns unter
Telefon: XXXXX - Durchwahl
Ansprechpartner/-in
Herr: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX - XXXX
Frau: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX - XXXX
Telefax: XXXXXXXXXXXXXXXX - XXXX
E-Mail: XXXXX@XXXXXXXX@XXXXX.de

Telefon oder E-Mail

Falls Anschrift oder Firmierung nicht mehr zutrifft, bitte auf Seite 2 korrigieren!

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

Rechtsgrundlagen finden Sie auf Seite 2.

Die Meldung erfolgt für die Kläranlage/Abwasserbehandlungsanlage in (PLZ, Ort):

Unternehmensnummer:

Betriebsnummer:

A Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas im Jahr 2007

		%
Durchschnittlicher Methan (CH ₄)-gehalt des Rohgases	01	
		Rohgas in vollen m ³
Klärgasgewinnung	02	
Verbrauch insgesamt = (04 + 05)	03	
a) zur Wärmeerzeugung (z. B. Faulräume, Betriebsanlagen)	04	
b) zur Stromerzeugung	05	
Verluste (Fackel- und sonstige Verluste)	06	
Zur Abgabe verfügbar = (02.1.03.1.06)	07	
Abgabe insgesamt = (09 bis 11)	08	
a) an Gasversorgungsunternehmen	09	
b) an Elektrizitätsversorgungsunternehmen	10	
c) an Sonstige	11	

B Erzeugung, Verwendung und Abgabe von Elektrizität aus Klärgas im Jahr 2007

		kWh
Elektrizitätserzeugung	12	
Verbrauch im eigenen Betrieb	13	
Abgabe insgesamt = (12.1.13) = (15+16)	14	
a) an Elektrizitätsversorgungsunternehmen	15	
b) an Sonstige	16	

Anhang 2 Beispiele für die Abwasserwärmenutzung in Kanälen

1. In der Sportanlage Bachgraben der Stadt Basel wurde 1982 eine Abwasserwärmanlage für die Beheizung der Garderobengebäude und die Aufbereitung des Duschwassers in Betrieb genommen. Nach 20 Jahren störungsfreiem Betrieb wurde die Heizanlage erneuert. Die Tatsache, dass wieder eine Wärmepumpe installiert wurde, ist ein klares Indiz für die Zufriedenheit. Der 30 m lange Wärmetauscher wies keine Schäden oder Verschmutzungen auf und wird weiter genutzt. Seit der Inbetriebnahme bringt der Wärmetauscher die benötigte Leistung auch ohne Reinigung [48].
2. Bereits 1986 haben die Stadtwerke Waiblingen ein Heizwerk in Betrieb genommen, welches das Rathaus und andere öffentliche Bauten, aber auch private Gebäude mit Wärme aus dem gereinigten Abwasser der Kläranlage versorgt. Länge Fernwärmenetz: 3,6 km; Wärmeleistungsbedarf 6.500 kW; Heizleistung Wärmepumpe: 560 kW; Anteil Abwasserenergie an Wärmeproduktion: 13 %
3. Seit 1994 versorgt die Energie Freiamt AG in der Gemeinde Muri/Schweiz (7.000 Einwohner) mittels verzweigten Wärmeverbunds von 3,2 km Länge über 7 dezentrale Heizzentralen 200 Wohnungen mit Wärme aus Abwasser. Die Wärme wird dem gereinigten Abwasser auf der ARA mit einem kompakten Platten-Wärmetauscher entnommen und auf dem ursprünglichen Temperaturniveau als „kalte“ Fernwärme zu den Heizzentralen transportiert. Jede Zentrale verfügt über eine Wärmepumpe für die Erzeugung der Grundlastwärme und einen Ölheizkessel für die Spitzendeckung (bivalente Auslegung). Damit werden die umliegenden Gebäude über das ganze Jahr mit Heizwärme versorgt. Die Gesamtinvestitionen beliefen sich auf 3,9 Mio Fr. Der Wärmepreis beträgt 8,5 Rp./kWh. Der Wärmetauscher wird zweimal pro Jahr gründlich gereinigt. Bisher traten keine Probleme wegen Verschmutzungen auf. Der Kläranlagenbetreiber hat weder zusätzlichen Aufwand noch Leistungseinbußen bei der Abwasserreinigung [48].
4. In Wipkingen (Kanton Zürich, Schweiz) wurde 1999 eine Pilotanlage im Auftrag der Elektrizitätswerke der Stadt Zürich errichtet. Mit 7 bivalenten Wärmepumpe-Heizzentralen werden mittels Nutzung von Abwasserwärme aus der Kanalisation (1,3 km lange Fernwärmeleitung) 940 Wohnungen beheizt und mit Warmwasser versorgt. Der Wärmetauscher hat eine Länge von 200 m und eine Fläche von 200 m². Die Leistung des Wärmetauschers beträgt 850 kW. Die Wärmepumpe hat eine thermische Leistung von 1.250 kW und eine jährliche Wärmeproduktion von 3.100 MWh. Der Wärmepreis beträgt 5,3 ct/kWh. Anstoß für das Projekt gaben die Erneuerung der Abwasserleitung und verschiedene anstehende Heizkesselsanierungen. Durch die WP werden 600.000 l/a Heizöl ersetzt (Reduktion der CO₂-Emissionen um 1.500 t/a) [55].
5. In Zwingen (Kanton Basel, Schweiz) werden 31 Einfamilienhäuser seit Anfang 1999 mit Wärme aus dem nahen Abwasserkanal beheizt (nur Raumheizung). Ein Flüssiggas-Brenner dient zur Deckung von Bedarfsspitzen. Bisherige Messungen ergaben eine durchschnittliche JAZ von 4,4. Die erwartete JAZ von 5 wurde wegen der Verschmutzung des WT nicht erreicht (stärker belastetes Abwasser wegen der angeschlossenen Papierfabrik). Die Abkühlung des Abwassers im betreffenden Kanal beträgt weniger als 0,1 K. Die ursprüngliche Funktion der Kanalisation wird nicht beeinträchtigt. Die Länge des Wärmetauschers beträgt 10 m bei einer Fläche von 10,6 m². Die Leistung des Wärmetauschers beträgt 40 kW. Die Wärmepumpe hat eine thermische Leistung von 52 kW und eine jährliche Wärmeproduktion von 230 MWh [55].
6. Seit Ende 2001 versorgt die Wärmeversorgung Binningen AG (Kanton Basel, Schweiz) in der Gemeinde Binningen (14.000 Einwohner) 68 Gebäude (Schulhäuser, private und kommunale Bauten) in einem Wärmeverbund mit Wärme aus dem Abwasser der nahe gelegenen Kanalisation. Hierfür wurde ein 140 m langer Wärmetauscher mit einer Fläche von 110 m² installiert. Die Leistung des Wärmetauschers beträgt 260 kW. Die Wärmepumpe hat eine thermische Leistung von 380 kW und eine jährliche Wärmeproduktion von 2.400 MWh. Bis Ende 2005 konnte keine Verschmutzung des Wärmetauschers, d. h. keine Leistungsverminderung festgestellt werden. Es war noch keine Reinigung erforderlich. Für den Kanalisations-Betreiber ergibt sich kein zusätzlicher Aufwand. Die Funktion der Kanalisation wird nicht beeinträchtigt [55].
7. Im deutschen Singen wird seit 2004 ein Technologiezentrum mit Abwasserenergie versorgt. Anlass für den Bau war die Sanierung eines 75 Jahre alten Sammlers, der ein Einzugsgebiet von rd. 15.000 E entwässert. Die Anlage liefert im Winter Heizwärme und im Sommer Klimakälte. Die Heizleistung der Wärmepumpe beträgt 243 kW, die Kälteleistung beträgt 200 kW. Der Wärmetauscher hat eine Länge von 80 m. Der Anteil der Abwasserenergie an der gesamten Wärmeproduktion beträgt 77 % [56].
8. Die Stadtbehörden von Leverkusen haben eine Machbarkeitsstudie für geeignete Anlagenstandorte zur Abwasserwärmenutzung durchführen lassen. Auf dieser Grundlage hat ein privater Immobilien-Investor ein neues Dienstleistungszentrum, das Gesundheitshaus Leverkusen, mit einer Abwasserenergieanlage ausgerüstet. Die Energie wird aus einem Kanal gewonnen, an den rd. 7.000 Einwohner angeschlossen sind. Der Wärmeleistungsbedarf beträgt 1.030 kW. Der Kälteleistungsbedarf liegt bei 470 kW. Die Wärmepumpe bringt eine Heizleistung von 242 kW und eine Kälteleistung von 200 kW. Der Anteil der Abwasserenergie an der Wärmeproduktion beträgt 68 % [56].

Anhang 3 Bewertungstabelle der Beispielprojekte

Beispieltabelle zur optimierten Abwasserbehandlung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach					weitergehende Kategorisierung und Bewertung							
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
1.0	AV Holtemme/Hochschule Harz - Indikatoren-geschützte Bewertung von Regionale Nachhaltigkeitsprojekten und Kommunikation der nachhaltigen Entwicklungen (REGIONA II)	AV Holtemme/Hochschule Harz; Dr.-Ing. Ute Urban, Friedrichstr. 57- 59, 38855 Wernigerode, Tel. 03943-659360	vorausschauenden Betriebsweise, Ziel: verbesserte Betriebssicherheit. Senkung Energieverbrauch durch verfahrenstechnische Maßnahmen, Anwendung KA Silstedt 80.000 EW aerobe Schlammstabilisierung, durch Simulationsrechnung für verschiedene Zulaufereignisse optimale Betriebsweise und Solgrößen ermitteln	E.1.1	BB	X			X		noch nicht bekannt		80,000 E	F&E	gering	77
2.1	AZV Breisgauer Bucht - Stromeinsparung auf der Kläranlage: Sandfanggebläse; Zulaufhebwerk; Turbo-Verdichter	Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht; Ditmar Schultz, Zum Klärwerk, 79263 Forchheim, Tel. 07642-689611, schultz.di@avz-breisgau.de	Sandfanggebläse: angepasster Lufteintrag an Wassermenge	E.1.1	BB	X			X				600,000 E	umgesetzt	gering	
2.2			Zulaufhebwerk zur Filtration: Energieeinsparung durch Verringerung der Förderhöhe a) durch Betrieb der NK mit ständig eingestauten Ablaufrinnen, bei immer noch freiem Überfall an der Zahnschwelle	E.1.1	BB	X			X		0.22 kWh/(E*a)		600,000 E	umgesetzt	gering	81
2.3			Zulaufhebwerk zur Filtration: Energieeinsparung durch Verringerung der Förderhöhe b) durch Druckseitige Kürzung der Rohrschächte zur Verringerung der Förderhöhe	E.1.1	BB	X			X		0.32 kWh/(E*a)		600,000 E	geplant	nach wenigen Jahren amortisiert	81
2.4			Turbo-Verdichter: Abwärmenutzung des Turbo-Verdichters zur Beheizung des Notstromaggregats	Q.1.1	QE	X			X		0.07 kWh/(E*a)		600,000 E	geplant	gering	86
3.0	utp umwelttechnik - KKA Energieverschwender	utp umwelttechnik pöhl GmbH; Roland Pröhl, Weidenberger Straße 2-4, 95517 Seybothenreuth, Tel. 09275-6056650, poehl@utp-umwelttechnik.de	Produktentwicklung Kleinkläranlagen Schwerpunkte beim sparsamen Energieverbrauch	E.1.1	BT	X			X		155.00 kWh/(E*a)		4 E			89
4.1	Abwasserreinigungsbetrieb der Stadt Pirmasens - neue Wege in der Abwasserbehandlung - Optimierung der Prozessabläufe und Thermodruckhydrolyse	Abwasserreinigungsbetrieb der Stadt Pirmasens; Thomas Neri, Blümelstraße 104, 66953 Pirmasens, Tel. 06331-514710, neri@ka-ps.de	Energieoptimierung der KA Felsalbe durch Optimierung der Prozessabläufe zur Mehrbelastung von 30.000 EW auf 38.000 EW ohne bauliche Maßnahmen und zusätzlich Energieeinsparung in der Biologie 30 %	E.1.1	BB	X			X		6.57 kWh/(E*a)	.2004	30.000 bzw. 40.000 E	im Einsatz	Einsparungen von ca. 35.000 €/a nach Ablauf eines Jahres ein ROI von 75 %	90
4.2			Thermodruckhydrolyse als EU-Forschungsprojekt auf der KA Blümelal; Ziel: Energiebezug und Klärschlammkosten minimieren	E.1.2	Q2	X			X				04.2008	62,000 E	Pilotanlage	1,800,000 €
5.1	Globatech - Künstliche neuronale Netze in Kläranlagen	Globatech Bocholt; Dipl.-Ing. Dieter Heinhuis, Rom 18, 46395 Bocholt, Tel. 02871-45424, d.heinhuis@globatech.de	Modellierung mit nachfolgender Optimierung. Projektziele: Einsparung von Energie im Bereich der Belebung, Einsparung von Fällmittel, Einsparung von Abwasserabgaben durch Niedrigerklärung(CSB und N _{ges})	E.1.1	BB	X			X		3 - 5 kWh/(E*a)	08.2008	280,000 E	Probetrieb	60,000 €	93
5.2			Modellierung mit nachfolgender Optimierung. Projektziele: Optimierung der Gasausbeute	E.1.2	Q2	X			X				02.2009	720,000 E	Probetrieb	100,000 €
6.1	Verbandsgemeindewerke Schweich - Energieoptimierte Abwasserbehandlung - Gaserzeugung und Abwärmenutzung	Verbandsgemeindewerke Schweich; Harald Guggenmos, Brückenstraße 26, 54338 Schweich	Gaserzeugung mit Unterstützung von Kofermentierung, 50 % - 60 % Stromeigenerzeugung	Q.1.3	Q3	X			X				42,000 E			
6.2			Abwärme der Maschinen wird zum Heizen genutzt	Q.1.1	QE	X			X					42,000 E		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach			weitergehende Kategorisierung und Bewertung										
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite	
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand							
7.0	Ingenieurbüro Scheer - Kläranlagenoptimierung - nichtlinearer Optimierung	Dr.-Ing. A. Meßmer Gröbenseeweg 2 82402 Seeshaupt	Kläranlagensteuerung auf Basis einer nichtlinearen Optimierung (noch in der Entwicklungsphase)	E.1.1	BB	X			X					Ansatz in einem Forschungsprojekt untersucht und angewendet, bisher noch nicht im täglichen Betrieb eingesetzt		98	
8.0	Münchner Stadtentwässerung - Wärmenutzung aus Abwasser	Münchner Stadtentwässerung; Dipl.-Ing. Klaus Stegmayer, Coordination und Controlling der Abteilung Betrieb MSE- 3, Münchner Stadtentwässerung, Friedenstraße 40, 81671 München, Tel. 089-23362527, klaus.stegmayer@muenchen.de	Abwasserwärmetauscher-Projekt in München, 25kWtherm-Anlage für Fußbodenheizung	Q.1.1	Q1	X			X		Abhängig von der Heizungslaufzeit	2009					
9.0	Ertfverband - Automatische Gebläseabschaltung bei geringem Zulauf und geringer Belastung	Ertfverband	Optimierte Belüftungssteuerung; Energieeinsparung in Schwachlastzeiten und besserer Nitratabbau durch zeitweise Ausschaltung der Gebläse, geringer Investitionsaufwand	E.1.1	BB	X			X		1.000 kWh/d		Ausbaugröße 97.000 E	können evt. mit der Abwasserabgabe verrechnet werden			
10.0	FH Köln - Energieoptimierung mit Hilfe neuer Steuerungs- und Regelungssysteme auf Basis von Verfahren der Computational Intelligence	Prof. Dr. Michael Bongards, Cologne University of Applied Sciences, Campus Gummersbach, Steinmuellerallee 1 (Rospestraße), Tel. 02261-8196-6419, Fax 02261-8196-6666, bongards@gm.fh-koeln.de	Kläranlagen Optimierung, Regelung und Prozessüberwachung auf Kläranlagen mit selbstlernenden Rechnersystemen auf Basis der Computational Intelligence, Lastabhängige Prozesswasserdosierung und Gebläseregelung, Aktivierung von versteckten Leistungsreserven zu minimalen Kosten	E.1.1	BB	X			X			Sommer 2008				99	
11.1	Ruhrverband - energieoptimierte Abwasserbehandlung des Ruhrverbandes, siehe Juniausgabe der KA, S. 651 ff	Ruhrverband; Dr.-Ing. Ferdinand Schmitt, Entwicklung und Abfallentsorgung Kronprinzenstr. 37, 45128 Essen, Tel. 0201-178-2510, Fax 0201-178-2535, fsc@ruhrverband.de	Reduzierung des Stromverbrauchs durch systematische Energieanalysen	E.1.1	BB + BT	X			X	X		seit 1999				102	
11.2			Optimierung der Stromerzeugung durch neue BHKW-Standorte, Überprüfung bestehender BHKW-Standorte und BHKW Co-Vergärung zur Steigerung des Gasanfalls, Küchen- und Speisereste in Biogasanlage und Faulbehälter	E.1.2 + E.1.3	Q2 + Q3	X			X	X			seit 2003				104
11.3			Optimierung des Stromeinkaufs		S		X							seit 2006			
12.0	Universität der Bundeswehr München - Auswirkungen von Fremdwasser auf die Betriebskosten einer Kläranlage	Dipl.-Wirt.-Ing. Marika S. Holthoff, M. Sc., Universität der Bundeswehr München; Institut für Wasserwesen, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Tel. 089-6004-4299, Fax 089-6004-3858, marika.holthoff@unibw-muenchen.de	Auswirkungen von Fremdwasser auf die einzelnen Betriebskostenanteile, insbesondere Energiekosten, Untersuchung noch nicht abgeschlossen	B.1.0	BB + BT	X				X						seit Januar 2008	107

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach					weitergehende Kategorisierung und Bewertung								
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite	
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand							
13.1	Unternehmensverbund Schleswiger Stadtwerke - Co-Vergärung auf der KA Schleswig und Abwärmenutzung	Unternehmensverbund Schleswiger Stadtwerke, Rolf Hansen, Pontstraße 8, 24837 Schleswig, Tel. 04621-801-473, Fax 04621-801-379, rolf.hansen@schleswiger-stadtwerke.de	Co-Vergärung mit Speiseresten auf der Kläranlage Schleswig und Verstromung des Klärgases mit BHKW	Q.1.3	Q3					X	106.00 kWh/(E*a)	2006	37,000 E	2008	746,268.00	108	
13.2			Abwärmenutzung des BHKW zur Beheizung von Kläranlage und Wohnblock	Q.1.1	QE				X		53.00 kWh/(E*a)	2006	900 E (ohne Kläranlage)	2008	322,291.00		
14.1	Universität Stuttgart - Projekte im Bereich Energie und Energieeffizienz	Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz, Bandtäle 2, 70565 Stuttgart, heidrun.steinmetz@isw.uni-stuttgart.de	Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen - Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen (DWA)		B+Q												
14.2	Hochtemperaturbrennstoffzelle		Einsatz Hochtemperaturbrennstoffzelle auf der KA Stuttgart-Möhringen und Aktualisierung der Potenzialstudie für Brennstoffzellen auf Kläranlagen	E.1.2	SE												109
14.3	Biologische Wasserstoffproduktion		Biologische Wasserstoffproduktion aus organischen Substraten der biologischen Abwasserreinigung bei anaerober Klärschlammfäulung, F+E-Phase	Q.1.2	SE					X							
14.4			Auswirkungen längerer Stromausfall auf Gewässerbelastung durch abwassertechnische Anlagen		S												
14.5	Systemintegration von Brennstoffzellen		Systemintegration von Brennstoffzellen auf Kläranlagen - Potenzialabschätzung für Baden-Württemberg	E.1.2	SE					X							
14.6	innovative Gasaufbereitung		2-stufiges Konzept zur fermentativen Produktion von Wasserstoff und Bioerdgas durch innovative Gasaufbereitung	Q.1.2	SE					X							110
15.0	Envicon - intelligente, lastabhängige Belüftungsregelung TAT-IntelliClean®	ENVICON GmbH & Co. KG, Andreas Plitzko, Bassfeldhof 6, 46537 Dinslaken, Tel. 02604-474-15, Fax 02064-474-39, a.plitzko@envicon.de	intelligente Belüftungsregler TAT-IntelliClean®, Energieeinsparungen der biologischen Stufe von bis zu 30 %, arbeitet nach dem Fuzzy-Pattern-Verfahren, deutliche Vergleichmäßigung der Ablaufwerte, mögliche Niedrigerklärung der Kläranlage und somit eine Rückverrechnung der Abwasserabgabe nach § 10 Abs.3 AbwAG	E.1.1	BB				X			seit 1998	ab 2.000 E	stand-alone, OPC und SPS für ID, VDN und SBR	gering	112	
16.0	Berliner Wasserbetriebe - Nutzung der "Umweltenergie" aus dem Klarwasserablaufs des Klärwerks Schönerlinde mittels einer Wärmepumpenanlage für die Faulschlammwärmerung	Berliner Wasserbetriebe, Gisela Hazrat, AE-T/A/B, Tel. 030-86442238, gisela.hazrat@bwb.de	Ziel: Erdgasverbrauch (4500 MWh/a etwa) möglichst weitgehend durch den Einsatz einer Wärmepumpe substituieren. Wärmequellen: Klarwasserablauf und Kühlwasser der SET	Q.1.1	Q1					X	unter Berücksichtigung der Investitionen aufgrund der Betriebskosteneinsparung wirtschaftlicher Betrieb, Einsparung der Betriebskosten um 65 %, Verringerung der CO ₂ -Emissionen um 25 %		Reinigungskapazität 105.000 m³/d	in Planung		113	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach					weitergehende Kategorisierung und Bewertung							
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
17.1	Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann & Partner mbH - Wärmerückgewinnungs Abwasser und Pyrolysereaktor	Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH, Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäuser, Vor dem Tor 11, 55469 Simmern, Tel. 06761-918616, Fax 06761-918620, siekmann-ingenieure.de	Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser zur Beheizung des Betriebs- und Verwaltungsgebäudes der Kläranlage in Nassau mittels Wärmetauscher im NK	Q.1.1	Q1	X			X		= 36.000 kWh - 7.200 kWh / 9.500 (E*a) = ca. 3 kWh/E*a	11.2006	9,500 E	Anwendung	29,000 €	115
17.2			Pyrolysereaktor zur dezentralen thermischen Klärschlammverwertung; Ziel: wirtschaftliche konkurrenzfähige Lösung zur dezentralen thermischen Entsorgung von Klärschlamm	E.1.2	Q2			X		X		01.2007	ab 10.000 E	anwendungsorientierte Forschung- und Entwicklung		117
18.1	Landeshauptstadt Düsseldorf - Projekte zur energieoptimierten Abwasserbehandlung der Stadt Düsseldorf Pumpenbetrieb Hochwasserpumpwerk	Landeshauptstadt Düsseldorf, Stadtentwässerungsbetriebe Köln, Chemisch-biologische Laboratorien, Dr. Marlene Robecke, Tel. 0221-8997460, Fax 0221- 8929065, Marlene.Robecke@stadt-duesseldorf.de	Pumpenbetrieb Hochwasserpumpwerk Lohausen Drehzahl korrespondierend Rheinwasserstand, Reduktion Spitzenlasten und energieeffizient	E.1.1	BB	X			X			2001				119
18.2	Wirkungsgradsteigerung Pumpwerk		Gesamtwirkungsgrad eines Pumpwerks inkl. Nebenverbraucher; Wirkungsgradsteigerung ca. 10 %, damit auch eine Energieersparnis von 10 %	E.1.1	BT	X			(x)	X	ca. 150.000 kWh bei 88 Pumpstationen	2008				120
18.3	Erneuerung BHKW		Erneuerung eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) im Klärwerk Düsseldorf Nord mit größerer Effizienz (Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades von 31 % auf 40 %)	E.1.1	Q2	X			X			2006 Inbetriebnahme	KW-Nord: 600.000 E	Die drei Module sind Mitte 2006 in Betrieb genommen worden.	1,901,000.00 €	121
18.4	Erneuerung Turboverdichter		Erneuerung der Turboverdichter im Klärwerk Düsseldorf Nord mit größerer Effizienz	E.1.1	BT	X			(X)	X		2009 Inbetriebnahme	KW-Nord: 600.000 E	Die Maßnahme befindet sich in der Umsetzung.	2,400,000.00 €	122
18.5	Sanierung Heizungsanlage		Sanierung der Heizungsanlage Klärwerk Düsseldorf Süd mit höherem Wirkungsgrad (Sanierung noch nicht abgeschlossen)	E.1.1	BT	X			(x)	X	Der SEBD versucht mit Hilfe seiner gesamten Maßnahmen auf den Klärwerken den Ausstoß von CO ₂ um 20 % zu reduzieren. Die Einsparung der fossilen Energieträger (Fremdstrom und Erdgas) wird ab 2010ff ca. 25 % betragen.	2009 Inbetriebnahme	KW-Süd: 1.090.000 E	Die Maßnahme ist abgeschlossen. Die Gesamtmaßnahme ist für März 2009 geplant.	4,391,000.00 €	123
18.6	Bau BHKW		Bau eines Blockheizkraftwerkes im Klärwerk Düsseldorf Süd zur optimalen Verwertung von Faulgas bei gleichzeitiger Nutzung des produzierten Stroms und der entstehenden Wärme, Gesamtwirkungsgrad bei 80 %	Q.1.1	Q2	X				X		2009 Inbetriebnahme	KW-Süd: 1.090.000 E	Die Maßnahme ist ausgeschrieben und soll Ende 2009 in Betrieb genommen werden.	1,201,000.00 €	124

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach					weitergehende Kategorisierung und Bewertung							
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik mit geringem Aufwand		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
19.1	Wuppervorband - Schwerpunkt ist die Reduzierung des Lufteintrages in die Belebungsbecken	Wuppervorband, T2- Wasserwirtschaft Abwasser, Dr.- Ing. Volker Erbe, Tel. 0202- 583-285, Fax 0202-583-282, erb@wuppervorband.de	Gleitdruckregelung mit intermittierendem Betrieb der KA Kohlfurth; frequenzgesteuerte Gebläse passen auf Basis der Ammonium- und Nitratkonzentration die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken an	E.1.1	BB + BT				X		4.79 kWh/(E*a)	06.2006	146,000 E	realisiert	ohne Angabe	125
19.2			durch Strömungssimulation optimaler Standort der Rührwerke zur Minimierung der Rührwerkanzahl und der Rührenergie	E.1.1	BB				X		3.32 kWh/(E*a)	06.2006	146,000 E	realisiert	ohne Angabe	126
19.3			Installation einer Zustandsregelung zur Optimierung des Lufteintrages auf der KA Odenthal mit Hilfe von Computational Intelligence	E.1.1	BB				X		2.29 kWh/(E*a)	01.2008	17,500 E	wird derzeit realisiert	30,000 €	127
20.1	Energiekonzeption der Kölner Klärwerke; Entwicklung und Umsetzung eines differenzierten Energiecontrollings Austausch Belüfterelemente	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Austausch der Belüfterelemente der Schwachlastbelegung 7-14 und Optimierung Luftregelschieber	E.1.1	BB + BT				X		4,14 kWh/(E*a)	in 2008 zu 2006	1,570,000 E	umgesetzt	2,900,000 €	128
20.2	kontinuierliche Energieanalyse	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Einführung einer Methodik zur kontinuierlichen Energieanalyse Durchführen einer Energieanalyse anhand detaillierter eingebauter Leistungsmessungen, systematische Erfassung und Analyse aller auch scheinbar nicht relevanter Stromverbraucher. Die Stromverbräuche werden online ermittelt und im Archivsystem gespeichert. Im Vergleich zu einer einmalig durchgeführten Energieanalyse kann so online eine kontinuierliche Ermittlung der Energieeinsparpotenziale analog zum Energiehandbuch NRW durchgeführt werden. Außerdem kann jederzeit überprüft werden, ob durchgeführte Maßnahmen auch wirksam sind und inwiefern sich betriebsmodifikationen, z. B. zur Verbesserung der Ablaufqualität auf die Energiebilanz auswirken. Durch die neue Methodik zur kontinuierlichen Energieanalyse war ermittelbar: Einsparpotenziale der verfahrenstechnisch nicht im Focus stehenden Anlagenbereiche wie Außenbeleuchtung, Transformatoren und raumluftechnische Anlagen	E.1.1	BB + BT				X		0,57 kWh/(E * a) Einsparpotenzial für Außenbeleuchtung (170.000 kWh/a), Transformatorenstationen (110.000 kWh/a) und raumluftechnische Anlage (613.000 kWh/a)	ab 2005	1,570,000 E	Energieanalyse kontinuierlich	20,000 €	129
20.3	Kraft-Wärme-Kopplung	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Energieerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung, Realisierung durch moderne Gasmotor-BHKW	E.1.1	BT					X				in Planung		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach					weitergehende Kategorisierung und Bewertung							
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
20.4	Kofermentation	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	verbesserte Gasproduktion durch z.B. Kofermentation im GWK Stammheim	E.1.1	Q3				X				1,570,000 E	in Planung		
20.5	Verwandlung überschüssiger Wärme	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	vollständige Nutzung des Energieüberschusses (Wärme) durch Verwandlung der überschüssigen Wärme in Strom (OCR-Verfahren)	E.1.1	QE									wird zusätzlich in der Planungsphase zu 21d betrachtet		
20.6	Wärmelieferung in Fernwärmenetz	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Wärmelieferung in Fernwärmenetz	E.1.1	QE									wird zusätzlich in der Planungsphase zu 21d betrachtet		
20.7	Klärschlamm-trocknung	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Realisierung einer Klärschlamm-trocknung mit überschüssiger Wärme	E.1.1	Q2									wird zusätzlich in der Planungsphase zu 21d betrachtet	erheblich → nur für Großanlagen interessant	
20.8	Austausch Schraubenkompressor	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Austausch des Schraubenkompressors gegen ein Drehkolbengebläse für die Sandförderung mittels Mammutpumpen	E.1.1	BT				X		0,24 kWh/(E*a)	seit März 2008	1,570,000 E	seit März 2008 in Betrieb	160,000 €	133
20.9	Austausch Überschussschlamm-zentrifugen	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Austausch der Überschussschlamm-zentrifugen gegen Siebbänder	E.1.2	BT				X		1,27 kWh/(E*a)	Beginn Mai 2009	1,570,000 E	1 Siebband in Betrieb, d.h. aufgeführte Stromersparung erst nach gesamten Tausch der 4 Zentrifugen	ca. 2.000.000 €	134

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach			weitergehende Kategorisierung und Bewertung									
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
20.10	Austausch Überschussschlamm-pumpen	Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Austausch der Überschussschlamm-pumpen mit Anpassung der Förderhöhe	E.1.1	BB + BT				X		0,05 kWh/(E*a)	seit Dezemb-er 2008	1,570,000 E	in Betrieb	44,000 €	135
20.11	Betrieb Brennstoffzelle	Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AÖR Ostmerheimer Straße 555 51109 Köln Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstraße 9 51061 Köln	Betrieb Brennstoffzelle als Forschungsvorhaben Erprobung Langzeitbetrieb im KW Rodenkirchen	E.1.1	SE					X		seit März 2000	88,000 E			
21.1	Stadt Bamberg - Schlamm-desintegration, Sauerstoff und Strom	Entsorgungs- und Baubetrieb der Stadt Bamberg, Dipl.-Ing. H.- J. Wolff	Vermeidung des Neubau eines zusätzlichen Faulbehälters durch enzymatischen Aufschluss der Überschussschlamm-zellen durch Ultraschall-desintegration im Faulturm	E.1.2	Q2							seit Juli 2004	325.000 E bis 400.000 E			136
21.2			Einsatz der Desintegration als Kohlenstoffquelle	E.1.1	BB								seit Juli 2004	325.000 E bis 400.000 E		
22.0	Landeshauptstadt Stuttgart - Konzeption und erste Erfahrungen mit einer ausschließlich klärgasbetrie-benen Brennstoffzelle	Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtentwässerung, Dipl.-Ing. Hartmut Klein, Schlossstraße 64, 70176 Stuttgart, Hartmut.Klein@stuttgart.de Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz, Bandtäle 2, 70565 Stuttgart, heidrun.steinmetz@isw.uni-stuttgart.de	Einsatz einer Brennstoffzelle zur Strom- und Wärme-gewinnung aus Klärgas im Klärwerk Stuttgart-Möhringen	E.1.2	SE			*		X	6.30 kWh/(E*a)	11.2007	160,000 E	in Forschungsbetrieb	Invest ca. 3,5 Mio. Euro	139
23.0	Verbands-Kläranlage Neuried-Schutterwald - Energieoptimierte Durchmischung von dem AN-Becken	Verbands-Kläranlage Neuried-Schutterwald, Günther Roth, Viehweideweg, 77743 Neuried, Tel. 07807- 1600, Fax 07807- 959758, KKA-N-S@t-online.de	Notwendige Ersatzbeschaffung des Schnellläufers, Langsamläufer statt Schnellläufer spart auf 12 Jahre ca. 34.000 € Energiekosten	E.1.1	BT						Einsparung von 34.000 €/12 Jahre	07.2007			Mehrkosten sind ab 01.2009 gedeckt	140

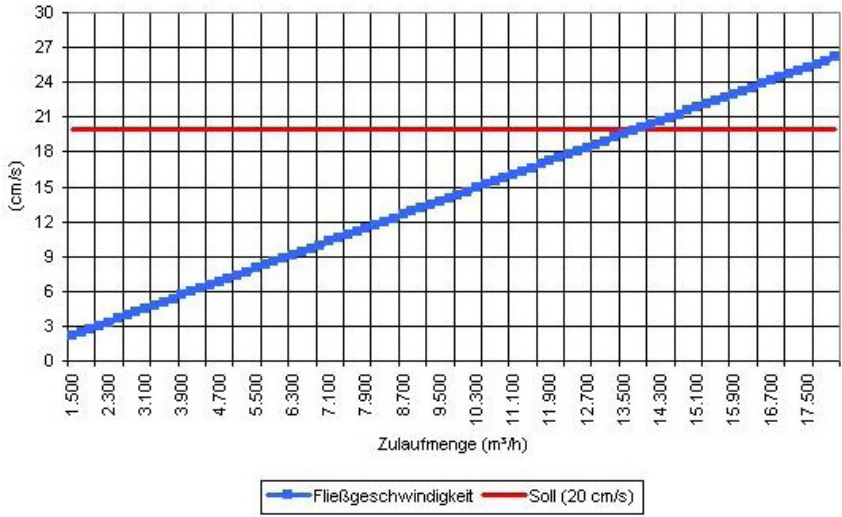
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
allgemeine Projektdaten				Kategorisierung nach			weitergehende Kategorisierung und Bewertung									
Nr.	Bezeichnung	Quelle	Kurzbeschreibung	DWA	Hauptgruppen	Energiehandbuch			Übertragbarkeit bei vergleichbarer Verfahrenstechnik		Einsparung	Jahr	Anschlussgröße	Stand	Aufwand/Invest	Steckbrief auf Seite
						S	K	A	mit geringem Aufwand	mit hohem Aufwand						
24.0	Stadtwässerung Stuttgart - Dampfturbine	Landeshauptstadt Stuttgart, Tiefbauamt, Hohe Straße 25, 70176 Stuttgart	Einsatz einer Dampfturbine, Strom- und Wärmeerzeugung aus Wasserdampf statt eines Wirbelschichtofens	E.1.2	Q1					X	4.10 kWh/(E*a)	05.2006	1,200,000 E	in Betrieb	Invest ca. 1 Mio. Euro	141
25.1	eurotec - Selektiver Hydrolyse Prozess	eurotec, Gunnar Clausens, Vej 11, DK-8260 Viby J, Denmark, Tel. 0045-86721422, Fax 0045-86721522, mail@eurotec.dk	Biovergasung von Schlamm, Gülle, Energieernten und organischen Abfällen durch Hydrolyseprozess	E.1.2	Q2+Q3											143
25.2			Weiterentwicklung effektiveren Wärmetauscherkonstruktion	Q.1.1+ E.1.2	Q2+Q3											144
26.0	Klärschlammverwertung Albstadt GmbH - Klimafreundliche Alternative für Klärschlammverwertung	Klärschlammverwertung Albstadt GmbH i.G.; Bernd-Michael Abt	Standort Albstadt (Baden-Württemberg): Durch Kombination Biomassefeuerung und OCR-Anlage mit Auskopplung von Niedertemperaturwärme wird Klärschlamm durch Trocknung zu Ersatzbrennstoff verarbeitet	E.1.2	QE											145

Anhang 4 Steckbriefe der Beispielprojekte

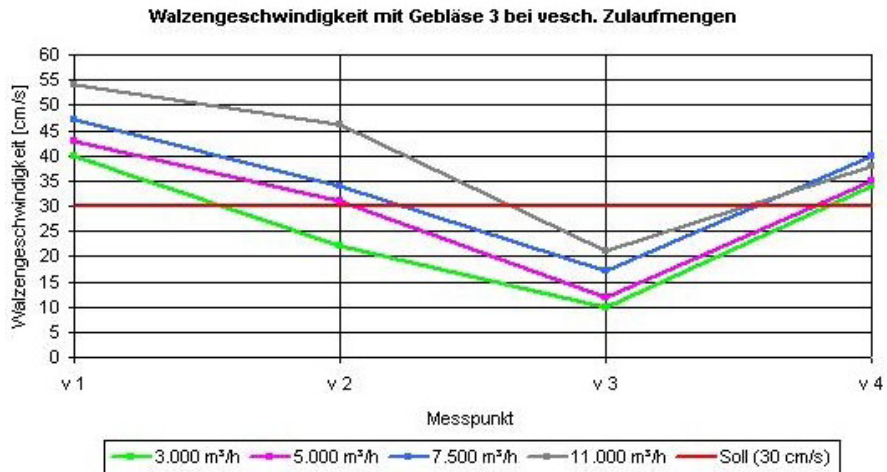
1.0 Indikatoren-geschützte Bewertung von Regionale Nachhaltigkeitsprojekten und Kommunikation der nachhaltigen Entwicklungen (REGIONA II)

Adresse:	Hochschule Harz Friedrichstr. 57-59 38855 Wernigerode uurban@hs-harz.de	Ansprechpartner/in:	Frau Urban
Projektbeschreibung:	Mit Hilfe von Simulationsrechnungen sollen die Einstellungen der Kläranlage insbesondere der Belüftung optimiert werden und gleichzeitig die verschärften Anforderungen für Stickstoff ab 2010 erreicht werden. Zudem werden Regelstrategien und Hinweise für das Betriebspersonal zur Reaktion auf Zulaufereignisse untersucht, um durch frühzeitigen Eingriff die Ablaufwerte zu erreichen.		
Realisierung seit	01/2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Noch nicht abschätzbar, da Umsetzung erst beginnt		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

2.1 Sandfanggebläse: angepasster Lufteintrag an Wassermenge

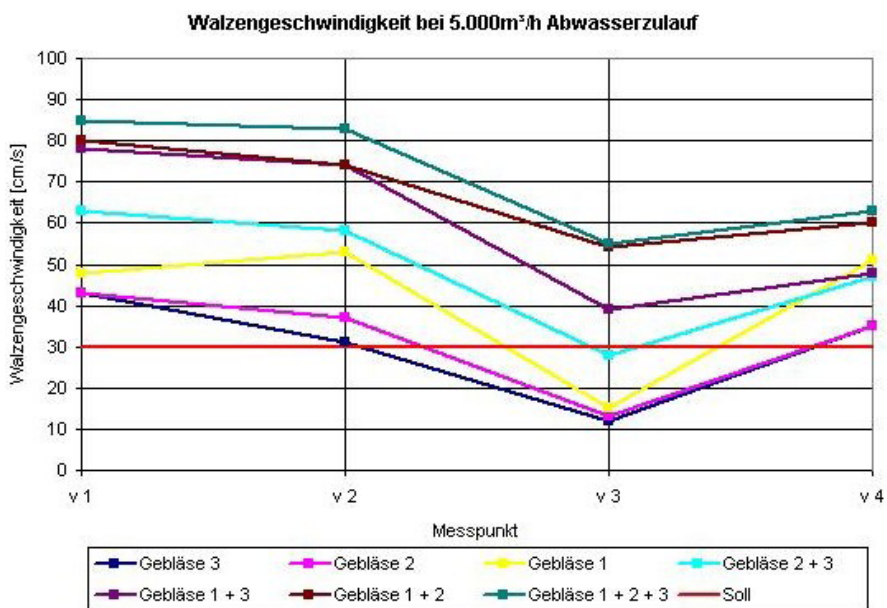
Adresse:	Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht Klärwerk Forchheim Zum Klärwerk 79362 Forchheim Tel. +49 7642 6896-24 Fax +49 7642 6896-40 Email: schweizer.ch@azv-breisgau.de	Ansprechpartner/in:	Christian Schweizer Leiter Abwasserreinigung
Projektbeschreibung:	<p>Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht</p> <p>Optimierungspotenzial bei belüfteten Langsandfängen</p> <p>Dem Sandfang wird meist keine allzu große Aufmerksamkeit geschenkt und wenn man in der Literatur nach Optimierungsmöglichkeiten sucht, dann findet man meist nur pauschale Angaben zur Luftmenge ohne die variable Wassermenge zu berücksichtigen. Aber gerade diese Verknüpfung ist von Bedeutung, da ein angepasster Lufteintrag der Sandfanggebläse eine Stromeinsparung darstellt, insbesondere da die Gebläse permanent in Betrieb sind. Zusätzlich kann eine Reduktion des Sandanteils im Rohschlamm bzw. weniger Organik im Sandgut erreicht werden. Sandfänge dienen dazu, den im Abwasser mitgeführten Sand vor der weiteren Abwasserbehandlung zu entfernen. Üblicherweise sollen im Sandfang ungelöste anorganische Stoffe, deren Korndurchmesser größer 0,1 bis 0,2 mm sind und eine mittlere Dichte über 1,5 g/cm³ haben, sedimentiert werden [1]. Erreicht wird dies, indem die Fließgeschwindigkeit im Sandfang auf ca. 20 cm/s herabgesetzt wird. Hierbei ist zu beachten, dass eine zu große Verminderung der Fließgeschwindigkeit ein Absetzen von fäulnisfähigen organischen Abwasserinhaltsstoffen zur Folge hat, während eine zu hohe Fließgeschwindigkeit zur Verschleppung von Sand in nach geschaltete Anlagenteile führt. Belüftete Langsandfänge stellen eine Möglichkeit dar, die Fließgeschwindigkeit, auch bei wechselnden Abwassermengen, nahezu konstant halten zu können. Dies wird erreicht, indem zusätzlich zur horizontalen Fließgeschwindigkeit durch den Abwasserzulauf eine vertikale Strömung durch Lufteinblasung erzeugt wird. Aus beiden Fließgeschwindigkeiten resultiert eine schraubenförmige Bewegung des Abwassers durch den Sandfang. Hierbei sollte die Walzengeschwindigkeit durch den Lufteintrag ca. 30 cm/s betragen. Die Luftmenge ist entsprechend der Abwassermenge anzupassen bzw. evtl. sogar ganz abzuschalten. Zunächst ist die horizontale Fließgeschwindigkeit im Sandfang ohne Belüftung zu berechnen [2].</p> <p>Formel: $v = Q/A$ Q = Durchfluss in m³/h A = Querschnittsfläche in m² (senkrecht zur Fließrichtung)</p> <p style="text-align: center;">Horizontale Fließgeschwindigkeit im Sandfang (Berechnung ohne Lufteintrag)</p>  <p>Grafik: Horizontale Fließgeschwindigkeit ohne Lufteintrag</p>		

In der Grafik ist ersichtlich, dass ab einer Abwasserzulaufmenge von ca. 14.100 m³/h die Fließgeschwindigkeit von 20 cm/s erreicht wird und die Belüftung komplett abgestellt werden kann. Jedoch ist bei geringeren Abwasserzuläufen eine Luftereinblasung notwendig, um eine Walzengeschwindigkeit von ca. 30 cm/s zu erreichen. Die Walzengeschwindigkeit wird am besten messtechnisch mit **Messgeräten** zur Fließgeschwindigkeit ermittelt (Messung mit hydrometrischem Flügel oder Geräte mit Doppler Effekt). Entlang des Sandfangs sollten mehrere Messpunkte festgelegt werden um ein **Längsprofil** zu erhalten. Grobe Abweichungen sind auch schon **optisch am Blasenbild** zu erkennen.



Grafik: Walzengeschwindigkeiten mit Gebläse 3

Das Beispiel zeigt an Messpunkt v3 einen deutlichen Einbruch der Walzengeschwindigkeit, hier muss in diesem Bereich die Luftereinblasung erhöht werden. Es zeigt sich auch, dass bei einer Abwasserzulaufmenge von ca. 3.000 m³/h das Gebläse 3 mit seiner Leistung alleine nicht ausreicht um eine Walzengeschwindigkeit von 30 cm/s zu erreichen, hier ist ein Gebläse mit höherer Leistung zu wählen. Bei einer Abwasserzulaufmenge von 11.000 m³/h ist sogar das Gebläse 3 noch zu groß, es sollte mittels **Frequenzumformer** in der Luftleistung heruntergefahren werden bzw. kann sogar ganz abgeschaltet werden. Hier ist zu unterscheiden zwischen Walzengeschwindigkeit und Fließgeschwindigkeit, auch wenn bei 11.000 m³/h die Werte (bei gleicher Verteilung der Luftauslässe an den Messpunkten) um die 40 cm/s liegen, so liegt die Fließgeschwindigkeit bei Abschalten des Gebläses 3 unter 20 cm/s.



Grafik: Walzengeschwindigkeiten bei verschiedenen Gebläsekombinationen

Das Beispiel zeigt bei konstanter Abwasserzulaufmenge und **verschiedenen Gebläsezuschaltungen** die Walzengeschwindigkeit. Es ist ersichtlich, dass bei der Abwasserzulaufmenge von ca. 5.000 m³/h die Luftleistung von Gebläse 3 oder 2 vollkommen ausreicht. Durch Messungen der Fließgeschwindigkeit bei verschiedenen Abwasserzulaufmengen kann daraus dann eine sinnvolle Gebläseschaltung ermittelt werden. Die optimale Walzen- bzw. Fließgeschwindigkeit ermittelt man aus der Menge des organischen Anteils im Sandgut und einem **Aufschlammversuch des Rohschlammes** im Vorklärbecken. Durch Erhöhung der Fließgeschwindigkeit wird der organische Anteil im Sandgut vermindert. Durch Verminderung der Fließgeschwindigkeit wird der Sandanteil im Rohschlamm vermindert. Das Variieren der Luftleistung der Sandfangegebläse kann mittels Frequenzumrichter oder durch Zu- und Abschalten mehrerer Gebläse erfolgen. Zusätzliches Augenmerk ist auf **undichte Luftleitungen** sowie den **Druckverlust** zu legen um Energie einzusparen. In aller Regel sind große Luftauslässe vorhanden, so dass eine Verstopfung selten vorkommt. Da sich die elektrische Leistung für die Gebläse **proportional** zum Druckverlust erhöht, schadet es nicht, in regelmäßigen Zeitabständen diesen zu überprüfen. Eine Zunahme von 10 % mehr Druckverlust bedeutet auch eine Zunahme von ca. 10 % mehr elektrischer Energie. Ein Optimieren der Gebläsesteuerung kann sich neben den Vorteilen im verfahrenstechnischen Betrieb vor allem auf der Kostenseite lohnen, da die Gebläse in der Regel 24h in Betrieb sind.

Quellen:

- [1] Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III (ATV): Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserkläranlagen und mechanischen Klärverfahren, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 3. überarbeitete Auflage 1983
- [2] Einrichtungen zur Abwasserreinigung III, Heft 12 (ATV): Sandfänge – Leichtstoffabscheider, Fernlehrgang zur Prüfungsvorbereitung zum Abwassermeister, 3. neu bearbeitete Auflage 1988

2.2 und 2.3 Zulaufhebwerk zur Filtration Energieeinsparung durch Verringerung der Förderhöhe

- a) **Betrieb der Nachklärbecken mit ständig eingestauten Ablaufrinnen, bei immer noch freiem Überfall an der Zahnschwelle**
- b) **Druckseitige Kürzung der Rohrschächte**

Adresse:	Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht Klärwerk Forchheim Zum Klärwerk 79362 Forchheim Tel. +49 7642 6896-11 Fax +49 7642 6896-40 Email: schultz.di@azv-breisgau.de	Ansprechpartner/in:	Dipl.-Ing. (FH) Ditmar Schultz Betriebsleiter
Projektbeschreibung:	<p>Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht</p> <p>Energieoptimierung am Beispiel des Zulaufhebwerks zur Flockungsfiltration auf der Kläranlage Forchheim</p> <p>Flockungsfiltrationsanlagen werden häufig als letzte Verfahrensstufe auf Kläranlagen nachgerüstet und erfordern daher in den meisten Fällen eines zusätzlichen Abwasserhebwerkes zur Überwindung der Druckverluste. So auch auf der Kläranlage Forchheim. Hier besteht das Zulaufhebwerk zum abwärts durchströmten Sandfilter aus vier Rohrpropellerpumpen (Typ KSB Amacan, s. Abb. 1), mit einer Förderleistung von je ca. 6.000 m³/h bei einem zu überwindenden Höhenunterschied von ca. 5 m. Mit Hilfe dieses Pumpwerkes wird das von den Nachklärbecken abfließende Abwasser auf das Niveau der Filterzellen bzw. des davor befindlichen Umlaufgerinnes angehoben. Die Rohrschächte sind zum Einsetzen der Pumpen nach oben hin offen und beinhalten keine Rückschlagklappen (s. Abb. 2). Dies bedingt, dass die Höhe der Rohrschächte, um Rückfluss bei den nicht in Betrieb befindlichen Pumpen zu verhindern, auf den höchsten anzunehmenden Wasserspiegel (plus Freibord) ausgelegt ist. In der Folge wird das Abwasser in der überwiegenden Zeit deutlich höher gehoben als es hydraulisch erforderlich wäre (s. Abb. 3). Die Förderleistung der drehzahlgeregelten Pumpen wird automatisch, über einen vorzugebenden Sollwert für den Füllstand im Pumpensumpf, den aktuellen hydraulischen Verhältnissen angepasst. Der Sollwert ist dabei so gewählt, dass das Abwasser aus den Nachklärbecken auch bei maximaler Wassermenge frei abfließen kann und die Ablaufrinnen nicht überstauen. Bei Trockenwetterverhältnissen dagegen sind die Ablaufrinnen praktisch nicht eingestaut. Aus diesen Verhältnissen ergeben sich zwei Ansätze zur Energieeinsparung durch Verringerung der Förderhöhe:</p> <p>1. Betrieb der Nachklärbecken mit ständig eingestauten Ablaufrinnen, bei immer noch freiem Überfall an der Zahnschwelle</p> <p>Durch die Absturzhöhe an der Zahnschwelle der Nachklärbecken, die sich bei geringer hydraulischer Belastung automatisch einstellt, wird bei Betrieb eines nachgeschalteten Hebwerkes Höhe „verschenkt“ (s. Abb. 4). Das Wasser stürzt ab, um anschließend unter Energieeinsatz wieder gehoben zu werden. Um diesem Umstand entgegen zu wirken, und bei hoher hydraulischer Belastung dennoch ein Überstauen der Rinnen sicher zu verhindern, empfiehlt es sich, die Füllstandsmessung zur Regelung des Hebwerkes in den Ablauf der Nachklärbecken zu versetzen. Damit wird an der für den Betrieb der Nachklärbecken relevanten Stelle gemessen und die hydraulischen Verluste auf der Fließstrecke werden bedeutungslos. Der Sollwert, nach dem die Förderleistung des Pumpwerkes geregelt wird, kann so eingestellt werden, dass die Absturzhöhe an der Zahnschwelle möglichst gering ist (s. Abb. 5). Die Regelung muss jedoch an die örtlichen Verhältnisse angepasst werden, so dass ein Überstau der Zahnschwelle auch bei Schwankungen jederzeit auszuschließen ist. Durch diese Maßnahme werden auf der Kläranlage Forchheim durchschnittlich 0,67 m Förderhöhe gewonnen. Bei einem Energiebedarf von 5 W/(m³ · m) und 40 Mio. m³ Abwasser pro Jahr, entspricht dies einer Einsparung von rd. 130.000 kWh/a. Der Aufwand ist dabei vernachlässigbar gering.</p> <p>2. Druckseitige Kürzung der Rohrschächte zur Verringerung der Förderhöhe</p> <p>Da bei der vorhandenen Installation der Rohrpropellerpumpen immer auf die höchste erforderliche Höhe gepumpt wird, obwohl dies eher selten notwendig ist, empfiehlt es sich, die Rohrschächte druckseitig zu kürzen (s. Abb. 6). Energetisch sinnvoll wäre eine Kürzung bis unterhalb des niedrigsten Wasserspiegels, so dass immer unter Wasser eingeleitet wird. Dann ist jedoch eine neue Einrichtung zur Verhinderung von Rückfluss erforderlich. Rückschlagklappen scheinen für diesen</p>		

Fall eher ungeeignet, da sie selbst relativ große Druckverluste verursachen. Bei den örtlichen Gegebenheiten bietet sich aber die Installation eines zweiteiligen Rinnenabsenkschützes als Absperrarmatur für jede Pumpe an (s. Abb. 7). Wenn das Schütz im geschlossenen Zustand auf die ursprüngliche Höhe der Rohrschächte eingestellt wird, verhindert es ebenso zuverlässig den Rückfluss wie die hohen Rohrschächte. Im geöffneten Zustand dagegen kann das Schütz bis unterhalb des sich einstellenden Wasserspiegels abgesenkt werden und praktisch verlustfrei überströmt werden. Die Investitionskosten für vier Rinnenabsenkschütze einschließlich Montage, Elektroinstallation und Einbindung in die Steuerung werden im Falle der Kläranlage Forchheim auf rd. 70.000,- EUR geschätzt. Dem gegenüber steht eine Verringerung der Förderhöhe um durchschnittlich 0,96 m, was einer Stromersparung von knapp 190.000 kWh entspricht. Die Investition wird sich für den Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht bereits nach wenigen Jahren amortisiert haben, so dass die Umsetzung bereits beschlossen ist.



Bild 1: Rohrpropellerpumpen des Typs KSB Amacan



Bild 2: Rohrschacht



Bild 3: Typische Überfallhöhe am Rohrschacht



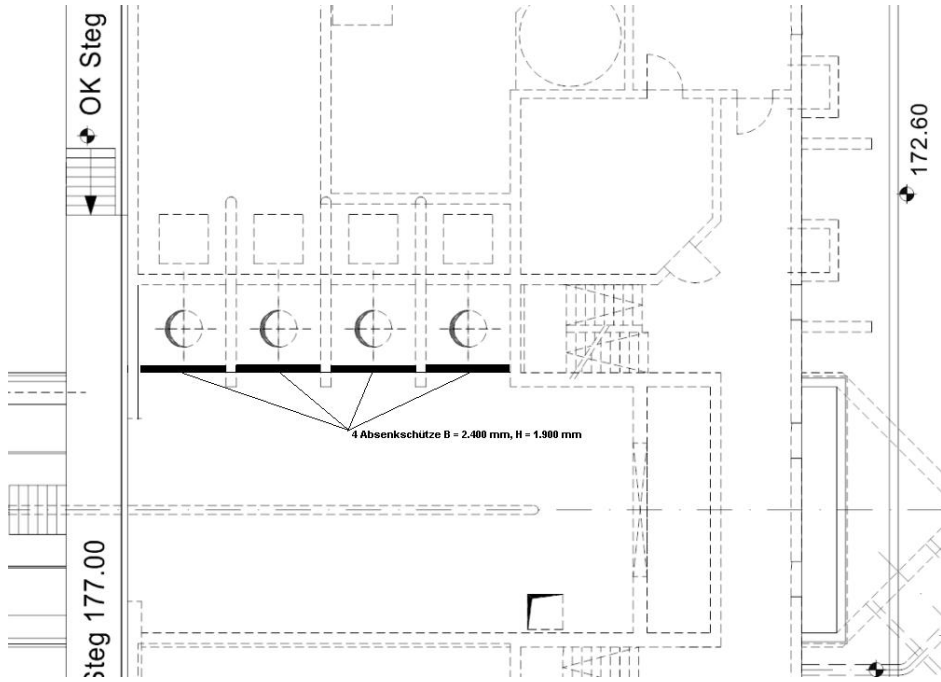
Bild 4: Überfallhöhe an der Zahnschwelle eines Nachklärbeckens bei Trockenwetter



Bild 5: eingestaute Ablaufrinne eines Nachklärbeckens und vollkommener Überfall an der Zahnschwelle



Bild 6: Druckseitige Ansicht eines Rohrschachtes

	 <p>Bild 7: Lage der Rohrschächte und Absenkschütze</p>		
Realisierung seit	2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	keine		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

2.4 Turbo-Verdichter: Abwärmenutzung der Turbo-Verdichter zur Beheizung des Notstromaggregates

Adresse:	Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht Klärwerk Forchheim Zum Klärwerk 79362 Forchheim Tel. +49 7642 6896-24 Fax +49 7642 6896-40 Email: schweizer.ch@azv-breisgau.de	Ansprechpartner/in:	Christian Schweizer Leiter Abwasserreinigung
Projektbeschreibung:	<p>Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht</p> <p>Energieoptimierung am Beispiel Abwärme Turbo-Verdichter nutzbar machen</p> <p>Zur Sauerstoffversorgung Biologie werden in aller Regel Gebläse eingesetzt. Beim Verdichtungsprozess in den Gebläsen wird Wärme erzeugt. Diese Wärme muss abgeführt werden. Sie wird an das Öl in den Aggregaten abgegeben. Das Öl gibt die Wärme mittels eines Wärmetauschers wiederum an die Umgebungsluft ab. Den notwendigen Luftstrom am Wärmetauscher erzeugt ein Ventilator, der die Raumluft durch den Ölkühler bläst. Die Raumluft wiederum muss durch Abluftventilatoren immer wieder durch Außenluft erneuert werden. Somit wird letztlich die durch das Öl aufgenommene Wärme in die Umgebungsluft abgeführt.</p> <div data-bbox="427 945 1109 1451" data-label="Image"> </div> <p>Bild 1: Turbo-Verdichter Ventilator Ölkühler</p> <p>In der Kläranlage Breisgauer Bucht sind zur Sauerstoffversorgung der Biologie 4 Turbo-Verdichter mit je einer maximalen elektrischen Leistung von ca. 400 kW installiert. Die Ventilatoren der Ölkühler haben je eine elektrische Leistung von ca. 1 kW. Durch den Ein- und Ausschaltbetrieb anhand der Öltemperatur beträgt die mittlere Leistung in der Summe ca. 1,3 kW. Die 8 Abluftventilatoren haben je eine elektrische Leistung von 2,05 kW, wobei diese die Raumtemperatur auf ca. 35 °C regeln. Durch das manuelle Öffnen der Klappen an den Ventilatoren und den dadurch entstehenden natürlichen Zug konnte die benötigte elektrische Leistung auf praktisch 0 gesenkt werden, da lediglich eine Summenlaufzeit von ca. 1 h/d erreicht wird. Jedoch muss darauf geachtet werden, dass die Raumtemperatur im Winter nicht zu sehr absinkt.</p>		



Bild 2: Klappen mit Abluftventilatoren

Im Raum neben den Turbo-Verdichtern befindet sich ein großes Notstromaggregat mit 1.300 kVA elektrischer Leistung für die Versorgung der Kläranlage bei längerem Ausfall der Netzversorgung mit elektrischem Strom. Dieses Aggregat muss ständig verfügbar sein. Um dies zu gewährleisten wird der Motorblock mit dem Motorkühlwasser ständig auf Betriebstemperatur gehalten. Dies wird mit elektrischen 2 Heizpatronen (Tauchsieder) im Kühlwasserkreislauf und einem Thermostatschalter realisiert. Die Heizpatronen haben eine elektrische Leistung von 2,5 kW und sind praktisch ständig in Betrieb. Eine Langzeitmessung ergab eine durchschnittliche Leistung von insgesamt 4,6 kW.

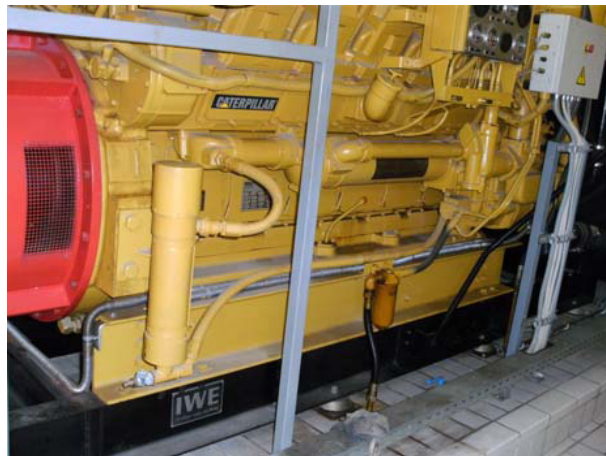
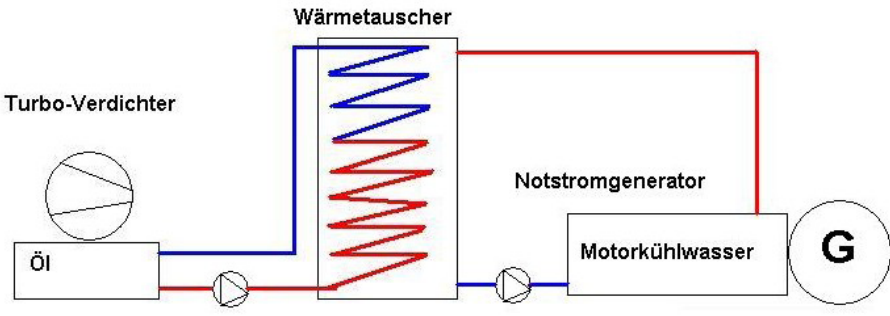


Bild 3: Notstromgenerator mit Heizpatrone

Nun stellt sich das Paradoxon ein, dass in dem einen Raum Strombedarf zur Wärmeabfuhr benötigt wird und im Raum daneben muss elektrisch dazugeheizt werden. Die Temperaturniveaus stellen dabei kein Problem dar, da die Temperatur des Öls in den Ölwanne der Turbo-Verdichter, die in Betrieb sind, zwischen 50 °C und 55 °C recht konstant sind. Die Kühlwassertemperatur am Motorblock sollte größer 40 °C betragen. Die Lösung bietet sich im Bau eines Warmwasserspeichers an, in dem das warme Öl seine Wärme an das Kühlwasser des Notstromaggregats abgibt. Zumindest die elektrische Leistung der Vorheizung des Kühlwassers des Notstromgenerators kann eingespart werden. Zusätzlich wird geringfügig weniger elektrische Energie für die Ventilatoren der Ölkühlung und der Abluftventilatoren benötigt. Die benötigte Energie der Umwälzpumpen der Wärmekreise ist vernachlässigbar. Alle bisherigen Komponenten z. B. Heizpatronen am Notstromgenerator bleiben erhalten, somit ist auch bei einer ungenügenden Wärmezufuhr von den Turbo-Verdichtern eine Vorheizung des Notstromgenerators gewährleistet.

	 <p>Bild 4: Skizze der Wärmekreise</p>		
Realisierung seit	geplant		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	keine		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

3.0 Produktentwicklung einer energieeffizienten Kleinkläranlage unter den Rahmenbedingungen der EN 12566 Teil 3 und der nationalen deutschen Ablaufklassen des DIBT

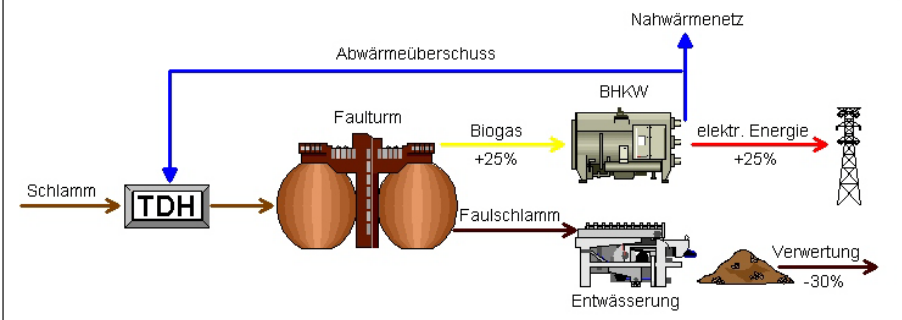
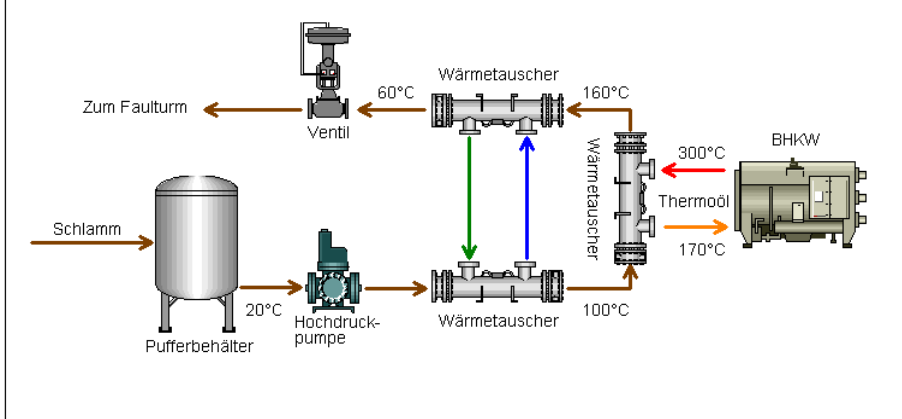
Adresse:	info@utp-umwelttechnik.de www.utp-umwelttechnik.de	Ansprechpartner/in:	Herr Dipl. Ing. (FH) Markus Döring
Projektbeschreibung:	<p>Kleinkläranlagen waren in der Vergangenheit Einzel- oder Übergangslösungen. Das mögliche Energieeinsparpotenzial wurde entsprechend niedrig eingestuft. Neueste Schätzungen sprechen von über 1 Million Kleinkläranlagen in Deutschland als Dauerlösung. Somit spricht man nicht nur über die jährliche Stromersparnis bei einer Einzelanlage von über 120,00 Euro, sondern in der Summe aller deutschen Anlagen über das riesige jährlich mögliche Einsparpotential für die Volkswirtschaft von 620,5 GWh. Energieeffiziente Kleinkläranlagen haben somit den gleichen Stellenwert wie die Abschaffung der TV – Standby Funktion. Vorhabensziel für die Techniker der utp umwelttechnik pöhl GmbH war eine Kleinkläranlage im Baukastensystem für die unterschiedlichen Ablaufklassen des DIBT` s mit hierauf abgestimmter Energieeffizienz zu entwickeln. Erreicht wurde dies mit einer für Kleinkläranlagen erstmalig erprobten Bemessung in Verbindung mit der intelligenten Verfahrensführung durch die neuentwickelte klärcontrol® Kleinkläranlagensteuerung. Der Nachweis der gestaffelten Reinigungsleistung in Verbindung mit dem optimierten Energieverbrauch nach EN 12566 Teil 3 auf einem unabhängigen Abwasserprüffeld für alle deutschen Ablaufklassen wurde erbracht. Ferner konnte auf einem Kleinkläranlagenprüffeld der Nachweis für den klärofix® erbracht werden, dass auch energieoptimierte Kleinkläranlagen im Baukastensystem sehr flexibel auf die geänderten Anforderungen wegen dem demografischen Wandel reagieren können. Die Steuerungseinheit reagiert mit geänderter Verfahrensführung auf lange Unterlastzeiten ebenso wie auf Zeiten mit Normalbetrieb oder mögliche Überlastphasen und garantiert stabile Ablaufwerte bei angepasster Energieausnutzung.</p>		
Realisierung seit	2002 bis 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Energieeffizientes Kleinkläranlagensystem klärofix®; energieoptimiertes, dezentrales Abwasserreinigungssystem, nach dem Baukastenprinzip abgestimmt auf die Ablaufklassen des deutschen DIBT, 4-fach geprüft nach EN 12566 Teil 3		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Eine Nachrüstung bereits betriebener Kleinkläranlagenbaukörper ist in der Regel ohne zusätzliche Bauarbeiten möglich!		
Einschätzung und Bemerkungen			

4.1 Prozessoptimierung durch Regelkonzept

Adresse:	Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens Rehmühle 5 66954 Pirmasens www.pirmasens.de	Ansprechpartner/in:	Thomas Wolf wolf@ka-ps.de 06331/2473-11
Projektbeschreibung:	<p>Kläranlage Felsalbe: Ausbaugröße 37.900 EW</p> <p>Inbetriebnahme Verfahren: 2004</p> <p>Die Kläranlage Felsalbe wurde ursprünglich für 30.000 EW konzipiert (Inbetriebnahme 1993). Vor einigen Jahren sollten zusätzlich 8.000 EW möglichst ohne bauliche Maßnahmen angeschlossen werden. Man entschied sich für die Schaffung zusätzlicher Kapazitäten durch einen fracht- und nährstoff-optimierten Betrieb der Anlage mittels moderner Mess-, Steuer- und Regeltechnik („Softwaretuning“). Im ersten Schritt wurde eine frachtbezogene Steuerung der Biologie in Betrieb genommen. Hierfür wird ein Lastprofil erstellt, welches sich aus der Stickstoffbelastung, der BSB₅-Belastung anhand der spezifischen Gebläseleistung (Energieverbrauch Biologie), und der Nitrifikations-, Denitrifikationsleistung zusammensetzt. Dieses Profil realisiert nun einen bedarfsorientierten, lastabhängigen Betrieb. Die eigentliche Innovation besteht aus dem anlagenübergreifenden Gedanken, das Lastprofil der biologischen Reinigungsstufe als interaktiven Koordinator für den Betrieb der kompletten Kläranlage zu verwenden. [Wolf 2007].</p> <p>Weitere Informationen: Wolf, T. (2007): Neue Wege in der Abwasserbehandlung. KA-Betriebs-Info (37) Nr. 1</p>		
Realisierung seit	2004		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Durch das neue Verfahrenskonzept wird die Reinigungsleistung sowie die Prozessstabilität erhöht, gleichzeitig aber auch der Energieverbrauch erheblich reduziert. So weist die Kläranlage Felsalbe seit der Umrüstung deutlich geringere Ablaufwerte für die Parameter CSB (20 statt vorher 30 mg/l), anorganischer Gesamtstickstoff (<5 statt 2...12 mg/l) und Gesamtphosphor (0,75 statt 1 mg/l) auf. Der spezifische Energieverbrauch pro kg CSB ist um 30 % geringer als vor der Umrüstung [Wolf 2007]. Durch den Einsatz moderner, zuverlässiger und einfach zu bedienender Online-Messsonden ist der Wartungsaufwand gering. Die Prozessoptimierung führte zu einer Betriebskosten-Einsparung von ca. 40.000 €/a.</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	<p>Gute Übertragbarkeit auf andere Anlagen.</p> <p>Erweiterungen/Neuerungen sind bei der modularen Aufbauweise jederzeit mit geringem Aufwand realisierbar.</p> <p>Hoher Kosten-Nutzen-Effekt.</p>		
Einschätzung und Bemerkungen	Flexibel einsetzbar, mit geringem Aufwand zu realisieren.		

4.2 Aufbau und Einsatz einer Pilotanlage zur Thermodruckhydrolyse zur Verbesserung der energetischen Nutzung von Biomasse am Beispiel von Belebtschlamm

Adresse:	Abwasserbeseitigungsbetrieb der Stadt Pirmasens Blümelstalstraße 104 66953 Pirmasens www.pirmasens.de	Ansprechpartner/in:	Dipl.-Ing. (FH) Thomas Neri neri@ka-ps.de 06331/51470
Projektbeschreibung:	<p>Allgemeines</p> <p>Unter Thermodruckhydrolyse (THD) versteht man die Behandlung von Stoffen in der wässrigen Phase bei Temperaturen zwischen 100 bis 220 °C und Drücken bis zu 30 bar. Vergleichbar mit einem Schnellkochtopf, in dem Nahrungsmittel schneller garen, schließt die Thermodruckhydrolyse Biomasse besser und schneller auf, so dass die Biogasbildung durch Methanbakterien beschleunigt und die Biogasausbeute bei schwer abbaubarer Biomasse erhöht werden kann. In Kombination mit anderen Biomasseaufbereitungsverfahren können mit der Thermodruckhydrolyse auch Grundstoffe für die Industrie bereitgestellt werden.</p> <p>Zielsetzung</p> <p>An der Kläranlage Blümelstal wurde im Rahmen dieses Projektes eine Anlage zur hydrothermalen Behandlung von Biomasse aufgebaut. Diese ist für einen Durchsatz von 10.000 t/a dimensioniert und ermöglicht eine Behandlungstemperatur von bis zu 200 °C.</p> <p>Nach dem Aufbau der Pilotanlage sollen zunächst im Verlauf von drei Jahren einige der folgenden Untersuchungsvorschläge zu verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Thermodruckhydrolyse umgesetzt werden:</p> <p>Die Anlage sollte folgende Voraussetzungen erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Physikalische Hydrolyse des gesamten Rohschlammes der Kläranlage • Komplette Bereitstellung der erforderlichen Wärme über Energierückgewinnungssysteme • Hohe Betriebssicherheit • Erhöhung des Faulgasanfalls aus Belebtschlamm um min. 50 % (Steigerung der Gesamtgasausbeute aus Primär- und Belebtschlamm um min. 25 %) • Reduzierung des zu entsorgenden Klärschlammes um 30 % • Möglichkeit der Hygienisierung des gesamten Klärschlammes • Vernachlässigbare Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlage • Eignung über den Klärschlamm hinaus verschiedenste Substrate zu behandeln, um weitere Forschungen zu ermöglichen. <p>Verbesserung der energetischen Nutzung des Belebtschlammes</p> <p>Zunächst wird Klärschlamm, der bei der Abwasserklärung als Überschussschlamm anfällt und im Faulturm der Kläranlage zu Biogas umgewandelt wird, untersucht.</p> <p>Durch die Thermodruckhydrolyse von Belebtschlamm bei Temperaturen von 130 °C – 150 °C soll die Biogasausbeute um mindestens 50 % gesteigert werden. Das dafür konzipierte Wärmetauschersystem sollte den für die Thermodruckhydrolyse erforderlichen Wärmebedarf nahezu ausschließlich (> 95 %) aus dem Abgas eines Blockheizkraftwerks beziehen. Die durch das Blockheizkraftwerk bereitgestellte elektrische Energie wird in vollem Umfang für einen weitgehend energieautarken Betrieb des TDH-Verbundprozesses eingesetzt und stellt damit einen Meilenstein auf dem Weg zu einer energieautarken Kläranlage dar.</p> <p>Durch die innovative Vorbehandlungstechnik für Belebtschlamm mit der Thermodruckhydrolyse soll der Faulgasanfall an der Kläranlage Blümelstal (aus Primärschlamm und Belebtschlamm) um mindestens 25 % gesteigert werden.</p> <p>Die hierbei gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse sollen auf Kläranlagen und geeignete landwirtschaftliche Biogasanlagen in Rheinland-Pfalz übertragen werden.</p>		

	
	<p>Prinzipische Einbindung in die Kläranlage</p>
	
	<p>Prinzipische Skizze Thermodruckhydrolyse</p>
<p>Realisierung seit</p>	<p>2004</p>
<p>Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf</p>	<p>Der Betrieb zeigt, dass sich die Gesamt-Biogasausbeute aus Primär- und Sekundärschlamm um mehr als 25 % erhöht hat.</p> <p>Die Auswirkungen auf das Entwässerungsergebnis sind erkennbar, jedoch zur Zeit noch nicht in belastbaren Zahlen zu belegen.</p> <p>Seit Inbetriebnahme der TDH traten keine Probleme durch Schaumbildung im Faulturn aufgrund von Fadenbakterien mehr auf.</p>
<p>Kategorisierung nach DWA</p>	<p><input type="checkbox"/> Quellen</p> <p><input type="checkbox"/> Bedarf</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Effizienz</p>
<p>Bewertung und Übertragbarkeit</p>	<p>Die Thermodruckhydrolyse ist grundsätzlich auf sämtlichen Kläranlagen in Verbindung mit einer anaeroben Faulung anwendbar.</p>
<p>Einschätzung und Bemerkungen</p>	

5.1 Optimierung der Hauptkläranlage Münster mit Hilfe der Technologie der künstlichen Neuronalen Netze und Genetischen Algorithmen

Adresse:		Ansprechpartner/in:	Herr Robecke Zum Heidehof 72 48157 Münster
Projektbeschreibung:	<p>Aufgabenbeschreibung:</p> <p>Die Stadt Münster betreibt am Standort Münster eine kommunale Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 300.000 EW und einer Belastung von ca. 280.000 EW. Die Kläranlage soll bzgl. der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphor-Abbauprozesse mittels der Technologie der Künstlichen Neuronalen Netze (KNN) modelliert werden. Ziel des Projekts ist es, im ersten Schritt die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Einfluss- und Prozessgrößen quantitativ zu analysieren. Im zweiten Schritt soll auf Basis der Modellprognosen die Anlage mit optimalen Betriebseinstellungen versorgt werden.</p> <p>Das Projekt wird unter dem Aktenzeichen 54.3-4.11-5.0-152/07 vom Land NRW, Bezirksregierung Münster, gefördert.</p> <p>Optimierungsstrategie:</p> <p>Für die Onlineoptimierung kommt ein sog. Verbundmodell zum Einsatz. Dieses Modell besitzt drei Ausgangsgrößen, die den Optimierer mit Prognosewerten bzgl. der Frachtabbauraten der Parameter N_{ges} und NH_4 sowie für die zu erwartende Denitrifikationsdauer versorgen.</p> <p>Die Modelle sind in den Genetischen Optimierer GenOpt™ eingebunden, der dann auf der Basis der Prognosen eine passende Kombination von Stellwerten für den Prozess sucht, mit welcher er die vorgegebene Zielfunktion (Kostenfunktion) sowie definierte Schranken bestmöglich erfüllen kann.</p> <div data-bbox="574 1064 1244 1534" data-label="Diagram"> <pre> graph LR subgraph Inputs [Eingänge] direction TB I1[Zulauffracht] I2[Zulaufmenge] I3[Temperatur] I4[Leitfähigkeit] I5[pH-Wert] I6[TS-Gehalt] I7[...] end subgraph Control [Stellgrößen] direction TB C1[Belüfter BP] C2[Belüfter BA] C3[Startwert Belüftung Stufe 2] end subgraph Model [Verbundmodell] direction TB M1[Neuronales Netz] end subgraph Optimizer [Optimierer] direction TB O1[Genetischer Algorithmus] end subgraph Targets [Zielgrößen] direction TB T1[NH4-N] T2[NO3-N] T3[Denidauer] end subgraph Result [Ergebnis] direction TB R1[Einhaltung Grenzwerte NH4-N, ...] R2[Minim. Energieeinsatz Belüftung, ...] end Inputs --> Model Control --> Model Model --> Targets Targets --> Optimizer Optimizer --> Control Optimizer --> Result </pre> </div> <p>Schnittstellen:</p> <p>Das gesamte Optimierungssystem ist über eine Netzwerkschnittstelle mit dem vorhandenen Prozessleitsystem verbunden, von welchem es mit den notwendigen Onlinesignalen versorgt wird. Die Signale gelangen zunächst in die „Datendrehscheibe“ APC professional®, die für die gesamte Datenaufbereitung (vor und hinter den Künstlichen Neuronalen Netzen) zuständig ist. Das Optimierungssystem selbst läuft auf einem Server, auf den über das Netzwerk mehrere Clients zugreifen können. Die Clients bedienen sich dazu eines Anzeigeprogramms, welches in einer übersichtlichen Oberfläche die aktuellen Messwerte, die Prognosen sowie die Betriebsvorschläge des Genetischen Optimierers zur Anzeige bringt.</p>		

Netzwerk (OPC - TCP/IP)

Realisierung seit	Dezember 2007
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Modellierung: Die Stickstoffabbauprozesse ließen sich mit großer Präzision modellieren (Prognosefehler < 10 %, Korrelationskoeffizient > 0,9). Die Analyse der Modelle erlaubt Rückschlüsse auf die wesentlichen Einflussfaktoren der Abbauprozesse.</p> <p>Optimierung: Das folgende Bild zeigt das Interface für den Benutzer des Optimierungssystems:</p>

Vorschläge			Prognose mit GenOpt			Prognose ohne GenOpt		
BA_Rotor_Summe	0,392	A	NH4_Abbaureate...	96,457	%	NH4_Abbaureate...	96,179	%
Anzahl_Rotoren...	0,000		NH4_Abbaureate...	0,808	%	NH4_Abbaureate...	0,243	%
BP_Rotor_Summe	351,000	A	Abl_NH4_mGen...	1,201	mg/l	Abl_NH4_oGenOpt	1,295	mg/l
Anzahl_Rotore_BP	9,000		Nges_Abbaureate...	95,629	%	Nges_Abbaureate...	94,788	%
Sollwert_Nh4_Ein	2,353	mg/l	Nges_Abbaureate...	1,819	%	Nges_Abbaureate...	2,641	%
Sollwert_Nh4_Aus	1,797	mg/l	Abl_Nges_mGen...	1,482	mg/l	Abl_Nges_oGen...	1,767	mg/l
			Deni_Dauer_mG...	36,000	min	Deni_Dauer_oG...	18,000	min

Messwerte		
BA_Rotor_Summ...	0,000	A
BP_Rotor_Summ...	351,000	A
Nh4_Dauer_Mess	128,000	min
Deni_Dauer_Mess	22,000	min
Abl_NH4_Mess	4,300	mg/l
Abl_Nges_Mess	4,900	mg/l

Status		Kosten	
Nitri aktiv	Die Nitrifikationsphase ist aktiv. In dieser Phase sind die Prognosen ungenügend und es werden keine Betriebsvorschläge berechnet.	Prognose (mit GenOpt): Energie pro NH4-Zulauftracht	7,390 kWh/kg
Deni aktiv	Die Denitrifikationsphase ist aktiv. In dieser Phase sind die Prognosen gültig, sobald auch GenOpt™ aktiv ist. Die Betriebsvorschläge sollten, sofern gültig, übernommen werden.	Prognose (ohne GenOpt): Energie pro NH4-Zulauftracht	9,685 kWh/kg
GenOpt™ aktiv	GenOpt™ ist aktiv. Es werden neue Betriebsvorschläge und Prognosen berechnet. Die Betriebsvorschläge sollten nach Möglichkeit umgesetzt werden.	Einsparung:	23,699 %
			2,295 kWh/kg

aquatune
© by aquatune, 2008

Neben den Mess- und Prognosewerten werden auch die prognostizierten spezifischen Energieverbräuche mit und ohne Optimierung zum Vergleich dargestellt.

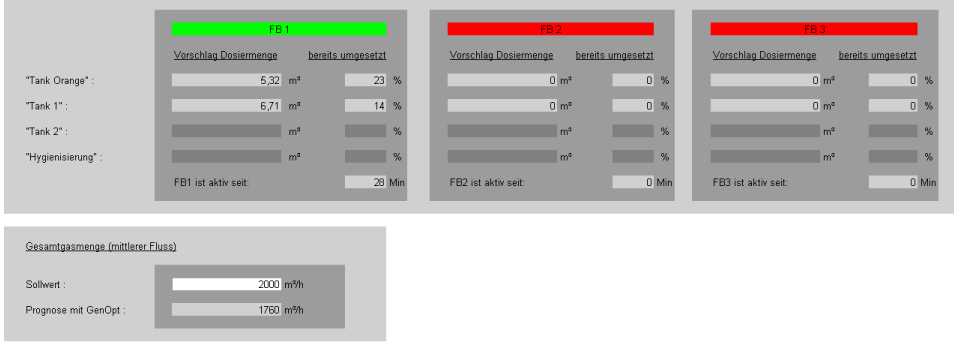
94 April 2010

DWA-Themen

	<p>Prognostizierte Einsparungen:</p> <p>Bezogen auf 1 kg Zulaufkraft (Ammonium) können im Mittel mindestens 0,27 kWh Energie eingespart werden. Im Zeitraum August 2007 bis März 2008 betrug die mittlere Zulaufkraft zur Belebung ca. 72,5 kg / h. Daraus lässt sich rechnerisch eine Mindesteinsparung von</p> $0,27 \text{ kWh/kg} \times 72,5 \text{ kg/h} = 19,6 \text{ kWh/h}$ $= 469,8 \text{ kWh/d}$ $= 171.477 \text{ kWh/a}$ <p>ermitteln. Bei einem angenommenen Preis von 0,1 € pro kWh sind das rund 17.000 € pro Jahr. Das ist die absolute Untergrenze des Optimierungspotentials, die sicher deutlich überschritten wird, wenn die Optimierungsvorschläge in Zukunft komplett umgesetzt werden.</p> <p>Zur Zeit laufen Arbeiten mit dem Ziel, durch die Einbeziehung von vorgelagerten Messungen den Prognosehorizont zu erweitern, um das Einsparpotential noch weiter zu erhöhen.</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Die Technologie ist auf alle Verfahren in der Abwassertechnologie übertragbar. Sie hat besonders bei den komplexen Prozessen, wie biologischen Abbauprozessen im Wasserweg oder auch im Faulturn große Vorteile gegenüber klassischen Verfahren der Modellierung.		
Einschätzung und Bemerkungen	Die beschriebene Technologie gehört in der chemischen und pharmazeutischen Industrie seit Jahren zum Standardrepertoire. Im Bereich der Wasser- und Abwasserprozesse erfolgt die systematische Markteinführung durch die Unternehmen Globatech und aquatune seit 2005.		

5.2 Optimierung bzw. bedarfsgerechte Produktion der Gasmenge der Kläranlage Mannheim mit Hilfe der Technologie der künstlichen Neuronen Netze und Genetischen Algorithmen

Adresse:		Ansprechpartner/in:	Herr Andreas Stadtentwässerung Mannheim EB69.3 Karl-Imhoff-Str. 50 68307 Mannheim
Projektbeschreibung:	<p>Aufgabenbeschreibung:</p> <p>Die Stadt Mannheim betreibt eine Abwasserreinigungsanlage mit einer Kapazität von ca. 725.000 EW. Die Anlage ist mit einem konventionellen Belebungsverfahren, einer Schlamm-Desintegrationsanlage sowie 3 Faulgasbehältern ausgestattet mit einem Volumen von insgesamt 22.500 m³. Es werden pro Tag etwa 600 m³ Klärschlamm (Primärschlamm, Überschussschlamm) behandelt. Um die Gasproduktion, die ca. 7 Mio. m³ Faulgas pro Jahr beträgt, zu verstärken, werden verschiedene Co-Substrate zu dosiert. Dabei handelt es sich um leicht abbaubare organische Abfälle wie Fette oder Produktrückstände aus der Nahrungsmittelindustrie. In Abhängigkeit von Substratmenge und -eigenschaften kommt es zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Beschleunigung der Gasproduktion.</p> <p>Das produzierte Klärgas wird in einem Gasbehälter (Volumen ca. 10.000 m³) gepuffert. Es wird zum Betrieb von drei BHKW, für die Schlamm-trocknung und den Betrieb eines Gasmotors für die Belüftung der Belebungsanlage genutzt. Das Hauptziel des Betriebs besteht darin, die Gasmenge bedarfsgerecht zu produzieren. D.h., dass Gasproduktion und Gasbedarf im Rahmen des verfügbaren Puffervolumens deckungsgleich sind. Leer gefahrene Pufferbehälter sowie Überproduktion mit der Notwendigkeit des Abfackelns sollen so weit wie möglich vermieden werden. Die Modellierung der Faulungsprozesse soll eine Prognose mit anschließend gezielter Steuerung der Gasproduktion ermöglichen.</p> <p>Optimierungsstrategie:</p> <p>Nachstehend ist das Konzept des zu entwickelnden Optimierungssystems skizziert: Das Modell liefert auf Basis der Eingangswerte Prognosen und der Optimierer sucht durch gezielte Veränderung der Stellgrößen nach der günstigsten Betriebseinstellung (Dosierung von Co-Substraten,..)</p> <div data-bbox="459 1265 1193 1818" data-label="Diagram"> <pre> graph TD E[Eingänge: • Temperatur • Q_UESS • Q_Frischschlamm • TR •] --> M[Modell Gasproduktion] M --> Z[Zielgrößen: • Q_Faulgas • CH4 •] Z --> O[Optimierer] O --> S[Stellgrößen: • CoSubstrat_Art • CoSubstrat_Q • FM_Dosierg. •] S --> M O --> ER[Ergebnis: • Kontin. Gasproduktion • Max. Energieausbeute • Minim. Entsorgungskosten] </pre> </div> <p>Schnittstellen:</p> <p>Das gesamte Optimierungssystem läuft auf einem Server und ist über eine Netzwerkschnittstelle mit dem vorhandenen Prozessleitsystem verbunden, von welchem es mit den notwendigen Onlinesignalen versorgt wird. Die Verbindung von Optimierungsserver und Leitsystem wurde mittels OPC realisiert. Die Prognosen und Betriebsvorschläge werden über diese Schnittstelle zum Leitsystem zurück übertragen.</p>		

	<p>Mensch-Maschine-Schnittstellen:</p> <p>Die Oberfläche für die Visualisierung und Bedienung des Optimierungsrechners wurde durch die Stadtentwässerung Mannheim selbst auf dem vorhandenen Leitsystem implementiert. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Umsetzung:</p>  <p>Der Faulbehälter 1 ist aktiv, und in den Feldern „Tank Orange“ bzw. „Tank 1“ wird angezeigt, welche Mengen der jeweils vorliegenden Substratmischungen das Optimierungssystem zur Dosierung vorschlägt, um die eingetragene Zielmenge von 2.000 m³/h an Gasfluss zu erreichen. Die aktuelle Prognose auf der Basis der bereits umgesetzten Dosierungen zeigt einen zu erwartenden Gasfluss von 1.760 m³/h an.</p>			
<p>Realisierung seit</p>	<p>Februar 2008</p>			
<p>Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf</p>	<p>Modellierung:</p> <p>Die ersten Modelle auf Basis der bisher gesammelten Daten zeigen Genauigkeiten von +/- 4..7 % (Standardabweichung der Fehlerprognosen) und Korrelationen zwischen Prognose und Messung von >0,91. Aufgrund der bisher eingeschränkten Anzahl von Datensätzen werden die Modelle regelmäßig nachtrainiert und erweitert.</p> <p>Optimierung:</p> <p>Das System ist (mit vorläufigen Modellen) implementiert und wird zurzeit in Betrieb genommen. In Kürze startet der Probetrieb, dessen Auswertung dann genaue Zahlen zur erreichbaren Verbesserung der Gasausbeute liefern wird.</p> <p>Weiterer Forschungsbedarf:</p> <p>Es wird untersucht, mit welchen Methoden die Qualifizierung der angelieferten Co-Substrate in Echtzeit möglich ist, so dass neben den Mengen auch Parameter in die Modelle eingespeist werden können, die Einfluss auf die zu erwartende Faulgasproduktion haben (TS-Gehalt, Glühverlust, ...).</p> <p>Im nächsten Schritt ist ein Konzept geplant, welches den Bedarf der Kläranlage an Faulgas prognostiziert, um die heute von Hand vorgegebenen Sollwerte (siehe oben) durch bedarfsgerechte Prognoseganglinien zu ersetzen.</p>			
<p>Kategorisierung nach DWA</p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;"><input type="checkbox"/> Quellen</td> <td style="width: 33%;"><input type="checkbox"/> Bedarf</td> <td style="width: 33%;"><input checked="" type="checkbox"/> Effizienz</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz		
<p>Bewertung und Übertragbarkeit</p>	<p>Die Technologie ist auf alle Verfahren in der Abwassertechnologie übertragbar. Sie hat besonders bei den komplexen Prozessen, wie biologischen Abbauprozessen im Wasserweg oder auch im Faulturm große Vorteile gegenüber klassischen Verfahren der Modellierung.</p>			
<p>Einschätzung und Bemerkungen</p>	<p>Die beschriebene Technologie gehört in der chemischen und pharmazeutischen Industrie seit Jahren zum Standardrepertoire. Im Bereich der Wasser- und Abwasserprozesse erfolgt die systematische Markteinführung durch die Unternehmen Globatech und aquatune seit 2005.</p>			

7.0 Kläranlagen-Steuerung auf Basis einer nichtlinearen Optimierung

Adresse:	Dr.-Ing. A. Meßmer Gröbenseeweg 2 82402 Seeshaupt albert.messmer@t-online.de	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. Albert Meßmer, Dr.-Ing. Martina Scheer
Projektbeschreibung:	<p>Ziel des Verfahrens: Optimierung des Kläranlagenbetriebs zur Betriebskosten- und Energieverbrauchsreduzierung unter Beachtung der Einhaltung der Anforderungen an das System.</p> <p>Beschreibung des Verfahrens: Ausgehend vom geschätzten Systemzustand auf der Kläranlage (auf der Basis von Messungen), dem prognostizierten Kläranlagenzufluss sowie weiteren Randbedingungen werden mit dem eingesetzten Optimierungsalgorithmus bestmögliche zukünftige Verläufe für Steuergrößen, wie z. B. Lufteinträge, Rezirkulationsströme, Schlammabzug oder Zudosierungen, berechnet. „Bestmöglich“ heißt, dass die über den Optimierungshorizont (ein bis mehrere Tage) errechneten Verläufe der Steuereingriffe den Wert einer Kostenfunktion minimieren. In dieser Kostenfunktion sind Ziele und Randbedingungen, z. B. Betriebskostensätze, Energieeinsatz, Grenzwertvorgaben, Abwasserabgabensätze in mathematischer Form beschrieben.</p> <p>Der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Steuergrößen und der dadurch bewirkten Veränderung des Betriebsergebnisses (Wert der Kostenfunktion) wird über Modellgleichungen berechnet und für eine gezielte, gradientengestützte Annäherung an das Optimum verwendet.</p> <p>Die Berechnungen werden nach dem Prinzip des rollenden Horizonts im stündlichen bzw. mehrstündlichen Rhythmus wiederholt.</p> <p>Das Ergebnis dieser Berechnungen sind Betriebseinstellungen (z. B. an Belüftungseinrichtungen oder Pumpen), die zum verbesserten Systembetrieb führen können. Diese Werte werden zyklisch als Sollwertvorgaben an den Prozess ausgegeben.</p>		
Realisierung seit	<p>Eine KA-Steuerung auf Basis einer nichtlinearen Optimierung wurde in einem Forschungsprojekt (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02WA9892/4) untersucht [Scheer et al., 2004]*.</p> <p>*Scheer, M.; Heppeler, D.; Krapp, G.; Nusch, S.; Meßmer, A. (2004): Real time control of an integrated system -sewer system and wastewater treatment plant – of the Wastewater Association Obere Iller. Poster- Präsentation bei der 6th International Conference on Urban Drainage Modelling – UDM'04, Dresden, 15.-17.09.04</p>		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Das Verfahren konnte sich bisher nicht weitläufig für den täglichen Betrieb durchsetzen. Ein Grund könnte darin liegen, dass der Fokus bisher stark auf die theoretische Machbarkeit ausgerichtet war. Zukünftig sollen die Erfahrungen und die Kenntnis über die Machbarkeit genutzt werden. Insbesondere soll das Verfahren jedoch auf die Belange des Kläranlagenbetriebes ausgerichtet werden, damit die Betriebsverbesserungen nicht nur theoretischer Natur bleiben, sondern durch eine erhöhte Akzeptanz des Betriebspersonals auch in die Realität umgesetzt werden.</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

10.0 Energetische Optimierung von Kläranlagen mit Methoden der Computational Intelligence

Adresse:	Fachhochschule Köln – Campus Gummersbach Steinmüllerallee 1 51643 Gummersbach bongards@gm.fh-koeln.de	Ansprechpartner/in:	Prof. Michael Bongards
Projektbeschreibung:	<p>Energetische Optimierung von Kläranlagen mit Methoden der Computational Intelligence (CI)</p> <p>Strom auf Kläranlagen wird zu über 50 % für die Belüftung der Belebungsbecken genutzt. Insbesondere bei Belastungsstößen sind hohe Mengen an Sauerstoff notwendig, um eine ausreichende Nitrifikation zu garantieren. Eine optimierte Regelung dieser Belüftung bietet verschiedene Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energieeinsparung über die Verdichterlaufzeiten • Verbesserte Abbauleistung (Ammonium und CSB) • Abfangen von Belastungsspitzen <p>Da es sich bei Kläranlagen um stark nicht-lineare Systeme handelt, die zahlreichen Einflüssen unterliegen, ist eine Regelung mit klassischen linearen PI oder PID Reglern nur schwierig zu gewährleisten. An diesem Punkt können CI-Methoden helfen, den Regelungsprozess zu optimieren, da sie gut auf die Nichtlinearitäten der Anlagen konfigurierbar sind. In dem folgenden Praxisbeispiel wurde ein so genannter Feature-State-Controller entwickelt und auf einer intermittierend gefahrenen Anlage in Hessen mit 20.000 EWG eingesetzt, der die Vorteile zweier CI-Methoden verbindet und synergetisch ausnutzt. Bei diesen Methoden handelt es sich zum einen um Neuronale Netze, die Prognosen über die zukünftige Belastung einer Anlage erstellen, und zum anderen um Zustandsmaschinen, die in der Lage sind vergangene Ereignisse bei der Regelung mit zu berücksichtigen.</p> <p>Neuronale Netze</p> <p>Neuronale Netze (NN) sind Softwaresysteme, die anhand von Vergangenheitswerten (z. B. Betriebsdaten der letzten zwei Betriebsjahre) trainiert werden und dabei das Verhalten der Anlage lernen. Nach dem Training ist das NN in der Lage, einmal gelernte Zustände der Anlage wieder zu erkennen. Diese Fähigkeit ermöglicht eine Prognose der zukünftigen Entwicklung der Prozessparameter in der Belebung. Typischerweise werden NH_4 und NO_3 zwischen 30 Minuten und einer Stunde in die Zukunft prognostiziert. Zusätzlich zu den historischen Daten, werden auch aktuelle Datensätze genutzt, um die Neuronale Netze ständig weiter zu trainieren und somit auch eventuelle Änderungen der Anlage zu erlernen. Dadurch entsteht über einen längeren Zeitraum hinweg ein robustes Prognosesystem, dass in der Lage ist, wiederkehrende Veränderungen frühzeitig zu erkennen.</p> <p>Zustandsmaschinen</p> <p>Die Verwendung von Zustandsmaschinen bietet sich besonders bei intermittierend betriebenen Kläranlagen an, da durch den Wechsel von Denitrifikation und Nitrifikation bereits unterschiedliche Zustände vorhanden sind. Hinzu kommt, dass beim Betrieb von Kläranlagen eine Vielzahl von zusätzlichen Zuständen definiert werden können, die jeweils zu unterschiedlichem Verhalten der Anlage führen. Im Folgenden werden diese Zustände exemplarisch aufgeführt:</p> <p>Hauptzustände in Abhängigkeit von der Abwassertemperatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nitrifikation $\geq 10\text{ °C}$ • Nitrifikation $< 10\text{ °C}$ • Denitrifikation $\geq 10\text{ °C}$ • Denitrifikation $< 10\text{ °C}$ <p>Hinzu kommen weitere gekoppelte Zustände:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dauerregen • Trockenwetter • Regen nach langer Trockenperiode (Spülstoß im Kanal) • Trockenperiode nach Regen 		

Diese unterschiedlichen Zustände können in den meisten Fällen anhand der Betriebsdaten erkannt werden, so dass Messdaten jeweils einem bestimmten Zustand zuzuordnen sind. Alle diese Zustände führen zu einer unterschiedlichen Belastung der Anlage, die jeweils als Einzelfall zu betrachten sind. Dadurch ergeben sich viele Möglichkeiten zur Regleroptimierung, da die Anlagenregelung je nach Zustand angepasst und verbessert werden kann. Die Integration dieser Zustände in eine Zustandsmaschine erfordert die Definition von Übergängen zwischen den einzelnen Zuständen. Wann wechselt der Zustand von Regen zu Dauerregen und wann zu Trockenwetter? Diese Übergänge werden in enger Kooperation mit dem Anlagenpersonal definiert. Hinzu kommt, dass bei jedem Zustandswechsel die vergangenen Zustände mit berücksichtigt werden, wodurch das System ein einfaches Gedächtnis erhält. In Bezug auf eine intermittierende Anlage bedeutet das, dass Belüftungs- und Pausenzeiten je nach Zustand der Anlage variiert werden und somit optimal auf die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. In Kombination mit der Prognose des NN ergibt sich ein System, welches hohe Belastungen in der Belebung frühzeitig erkennt, so dass die Sauerstoffkonzentration in der Belebung rechtzeitig angehoben wird. Somit wird verhindert, dass sich hohe Ammoniumkonzentrationen aufbauen und die Anlage in einen Zustand gerät, in welchem viel Energie benötigt wird, um diese Belastung abzubauen. Bei intermittierend betriebenen Anlagen führt dies zu einer frühzeitigen Umschaltung von Denitrifikation in Nitrifikation.

Feature-State-Controller

Die Kombination aus Neuronalen Netzen und Zustandsmaschine erlaubt nun die Berücksichtigung von bereits vergangenen Betriebszuständen, dem aktuellen Betriebszustand und zukünftigen Betriebszuständen, wodurch eine optimale und umfassende Regelung der Sauerstoffkonzentrationen bzw. der Belüftungszeiten erreicht werden kann. Die Prognose des Neuronalen Netzes geht dabei in jedem Zustandswechsel mit in die Entscheidungskriterien ein, wodurch die Reaktionszeiten des Reglers deutlich verkürzt werden können. Die Umsetzung des Feature-State-Controllers erfolgt mit Hilfe einer selbst entwickelten Steuerungssoftware in Verbindung mit einer speziellen Visualisierung der Zustände und aktuellen Anlagendaten. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Regelungssystems.

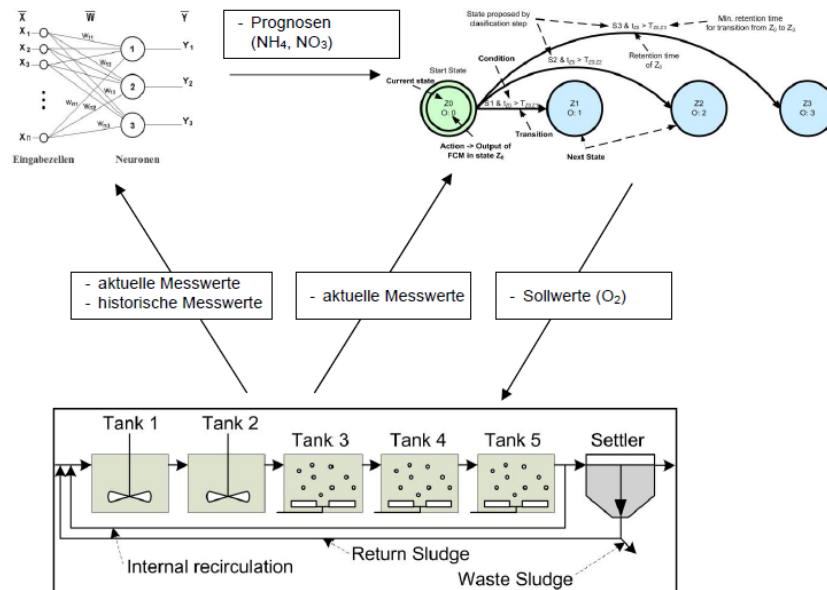


Bild 1: Prinzipieller Aufbau Regelungssystem

Betriebsergebnisse

Dieses Regelungssystem wurde bereits erfolgreich auf verschiedenen Kläranlagen eingesetzt. Als Praxisbeispiel soll die Kläranlage Oberes Weital mit 20.000 EWG dienen. Die Anlage wird intermittierend betrieben und hat als Hauptbiologie ein Umlaufbecken. Die Belüftung wird durch zwei Oberflächenbelüfter mit jeweils 30 kW realisiert. Mitte 2008 wurde das System auf der Anlage in Betrieb genommen und hat seither gute Ergebnisse erzielen können. Im Vergleich der Zeiträume erstes Halbjahr 2008 zu zweitem Halbjahr 2008 konnte, auf 24h Mischproben basierend, eine Steigerung der Eliminationsleistung für CSB um 18 % sowie um 13 % für den Gesamtstickstoffabbau ermittelt werden. Gleichzeitig konnten die Rotorlaufzeiten pro kg/CSB um über 50 % reduziert werden. Um die Denitrifikationszeiten besser nutzen zu können, wurde ergänzend zur Optimierung des Reglers ein neues Rührwerk installiert.

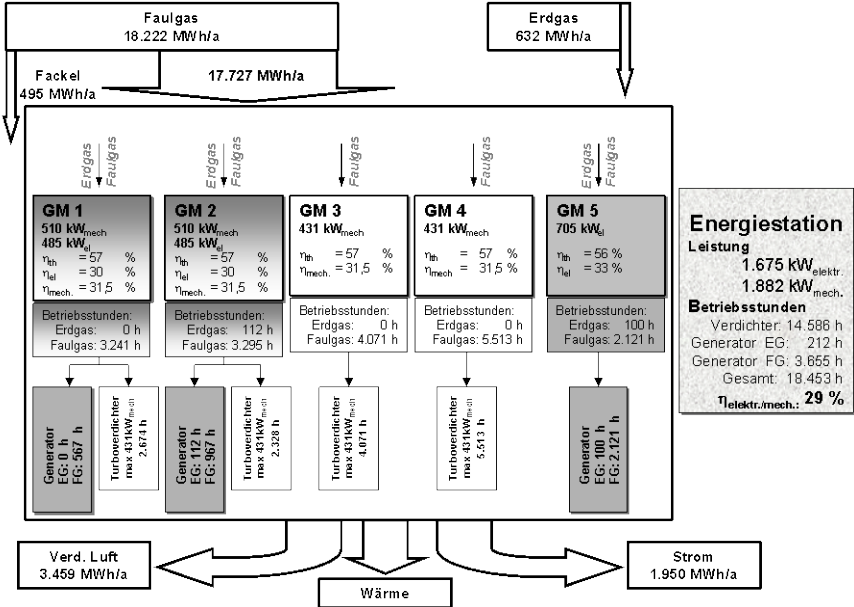
	Autoren: Peter Kern; Prof. Dr. Michael Bongards Fachhochschule Köln – Campus Gummersbach Steinmüllerallee 1; 51643 Gummersbach Peter.Kern@fh-koeln.de Michael.Bongards@fh-koeln.de www.fh-koeln.de/ait www.gecoc.de		
Realisierung seit	Sommer 2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Siehe Anlage.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Modulares, relativ leicht auf andere Anlagen zu übertragendes System.		
Einschätzung und Bemerkungen			

11.1 Reduzierung des Stromverbrauchs durch systematische Energieanalysen

Adresse:	Ruhrverband Kronprinzenstr. 37 45128 Essen	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. D. Thöle Technische Entwicklung und Abfallentsorgung dth@ruhrverband.de																																																																																								
Projektbeschreibung:	Im Rahmen einer Energieanalyse wird zunächst durch den Vergleich relativ einfach zu ermittelnder Größen (spezifischer Gesamtstromverbrauch, spezifischer Stromverbrauch der biologischen Stufe, spezifische Faulgasproduktion, etc.) mit sogenannten Ideal- und Richtwerten eine energetische Einordnung versucht. In einem zweiten Schritt muss im Rahmen einer Energiebilanz der Stromverbrauch weiter aufgeschlüsselt werden. Die Aufstellung einer schlüssigen Energiebilanz bedeutet, den gemessenen Gesamtenergieverbrauch auf einzelne Aggregate bzw. Aggregatgruppen herunter zu brechen.																																																																																										
Realisierung seit	Juni 1999																																																																																										
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Die energetischen und wirtschaftlichen Ergebnisse durchgeführter Energieanalysen sind auf der Basis der realisierten Maßnahmen für eine Reihe von Kläranlagen des Ruhrverbands in der Tabelle zusammengefasst. Darin sind auch stichwortartig die wichtigsten Vorschläge der durchgeführten Energieanalysen mit der tatsächlich eingesparten Energie und der zu erwartenden Kostensenkung (= Differenz aus Jahreskosten und Jahresnutzen aller Maßnahmen) wiedergegeben. Es wird deutlich, dass eine große Energieeinsparung nicht unbedingt eine große Kostensenkung bedeutet. So stehen z. B. der Energieeinsparung auf der KA Altena (KA-Nr. 301) auf Grund der Investitionskosten für die Einrichtung als BHKW-Standort ein relativ geringer realisierter Gewinn gegenüber, hier ist das wirtschaftliche Risiko einer Maßnahme entsprechend hoch. Auf der Kläranlage Rahmedetal (KA-Nr. 298) liegt der Energieverbrauch der Belebungsanlage nahe dem Idealwert, dennoch führt die konzipierte Maßnahmenkombination aus der Einrichtung eines Schlammverbunds mit einer benachbarten Kläranlage über die erhöhte Eigenstromerzeugung und Auslastung des Faulbehälters zu einer erheblichen Energieeinsparung, die auch wirtschaftlich sehr interessant ist.</p> <p>Tabelle: Energetische und wirtschaftliche Ergebnisse der realisierten Maßnahmen aus Energieanalysen (THÖLE et al. 2008)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">KA-Nr.</th> <th rowspan="2">Auszug realisierter Maßnahmen</th> <th rowspan="2">Energieverbrauch (vor EA) [kWh/a]</th> <th colspan="2">Energieeinsparung</th> <th rowspan="2">Kostensenkung [€/a]</th> </tr> <tr> <th>[kWh/a]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>170</td> <td>Beleuchtung</td> <td>488.000</td> <td>1.000</td> <td>0,2</td> <td>113</td> </tr> <tr> <td>294</td> <td>O₂-Regelung/TS-Gehalt</td> <td>1.603.000</td> <td>20.000</td> <td>1,3</td> <td>2.460</td> </tr> <tr> <td>540</td> <td>Spülzyklus der Filtration</td> <td>584.480</td> <td>3.000</td> <td>0,5</td> <td>351</td> </tr> <tr> <td>331</td> <td>Rührwerke, Sandfanggebläse</td> <td>1.003.000</td> <td>12.750</td> <td>1,3</td> <td>1.387</td> </tr> <tr> <td>288</td> <td>Rührwerke/Pumpen</td> <td>1.476.000</td> <td>85.000</td> <td>5,8</td> <td>8.616</td> </tr> <tr> <td>298</td> <td>Zentrifuge/BHKW/Schlammverbund</td> <td>1.198.000</td> <td>1.314.740</td> <td>109,0</td> <td>48.641</td> </tr> <tr> <td>301</td> <td>BHKW</td> <td>845.000</td> <td>337.314</td> <td>40,0</td> <td>9.889</td> </tr> <tr> <td>128</td> <td>Rührwerke/Erdgasverstromung</td> <td>3.044.000</td> <td>35.742</td> <td>1,2</td> <td>20.838</td> </tr> <tr> <td>352</td> <td>Aufheizung Rechengebäude</td> <td>2.345.000</td> <td>16.300</td> <td>0,7</td> <td>1.865</td> </tr> <tr> <td>467</td> <td>Rührwerke, Pumpen, Sandfang, (Co-Vergärung)</td> <td>7.185.828</td> <td>1.689.028</td> <td>23,5</td> <td>164.657</td> </tr> <tr> <td>242</td> <td>Regelung Hebewerk NK, BHKW</td> <td>1.419.937</td> <td>639.769</td> <td>45,1</td> <td>25.161</td> </tr> <tr> <td>307</td> <td>Rührwerke, Hebewerk</td> <td>3.068.376</td> <td>477.640</td> <td>15,6</td> <td>53.693</td> </tr> <tr> <td>209</td> <td>Pumpen, Optimierung BHKW</td> <td>2.089.254</td> <td>180.800</td> <td>8,7</td> <td>23.142</td> </tr> </tbody> </table>					KA-Nr.	Auszug realisierter Maßnahmen	Energieverbrauch (vor EA) [kWh/a]	Energieeinsparung		Kostensenkung [€/a]	[kWh/a]	[%]	170	Beleuchtung	488.000	1.000	0,2	113	294	O ₂ -Regelung/TS-Gehalt	1.603.000	20.000	1,3	2.460	540	Spülzyklus der Filtration	584.480	3.000	0,5	351	331	Rührwerke, Sandfanggebläse	1.003.000	12.750	1,3	1.387	288	Rührwerke/Pumpen	1.476.000	85.000	5,8	8.616	298	Zentrifuge/BHKW/Schlammverbund	1.198.000	1.314.740	109,0	48.641	301	BHKW	845.000	337.314	40,0	9.889	128	Rührwerke/Erdgasverstromung	3.044.000	35.742	1,2	20.838	352	Aufheizung Rechengebäude	2.345.000	16.300	0,7	1.865	467	Rührwerke, Pumpen, Sandfang, (Co-Vergärung)	7.185.828	1.689.028	23,5	164.657	242	Regelung Hebewerk NK, BHKW	1.419.937	639.769	45,1	25.161	307	Rührwerke, Hebewerk	3.068.376	477.640	15,6	53.693	209	Pumpen, Optimierung BHKW	2.089.254	180.800	8,7	23.142
KA-Nr.	Auszug realisierter Maßnahmen	Energieverbrauch (vor EA) [kWh/a]	Energieeinsparung		Kostensenkung [€/a]																																																																																						
			[kWh/a]	[%]																																																																																							
170	Beleuchtung	488.000	1.000	0,2	113																																																																																						
294	O ₂ -Regelung/TS-Gehalt	1.603.000	20.000	1,3	2.460																																																																																						
540	Spülzyklus der Filtration	584.480	3.000	0,5	351																																																																																						
331	Rührwerke, Sandfanggebläse	1.003.000	12.750	1,3	1.387																																																																																						
288	Rührwerke/Pumpen	1.476.000	85.000	5,8	8.616																																																																																						
298	Zentrifuge/BHKW/Schlammverbund	1.198.000	1.314.740	109,0	48.641																																																																																						
301	BHKW	845.000	337.314	40,0	9.889																																																																																						
128	Rührwerke/Erdgasverstromung	3.044.000	35.742	1,2	20.838																																																																																						
352	Aufheizung Rechengebäude	2.345.000	16.300	0,7	1.865																																																																																						
467	Rührwerke, Pumpen, Sandfang, (Co-Vergärung)	7.185.828	1.689.028	23,5	164.657																																																																																						
242	Regelung Hebewerk NK, BHKW	1.419.937	639.769	45,1	25.161																																																																																						
307	Rührwerke, Hebewerk	3.068.376	477.640	15,6	53.693																																																																																						
209	Pumpen, Optimierung BHKW	2.089.254	180.800	8,7	23.142																																																																																						

	KA-Nr.	Auszug realisierter Maßnahmen	Energieverbrauch (vor EA) [kWh/a]	Energieeinsparung		Kostensenkung [€/a]
				[kWh/a]	[%]	
	149	Sandfang Belüftung, Rückführverhältnis, BHKW	1.238.843	458.940	37,1	14.249
	222	Rührwerke, Motor SF	457.333	80.500	17,6	10.385
	610	Erdgasbezug, energieeffiziente RS-Pumpen, (Co-Vergärung)	9.859.250	1.223.400	12,4	199.534
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>■ 69 realisierte Maßnahmen (22 Energieanalysen)</p> <p>▣ 154 realisierte Maßnahmen (22 Energieanalysen + Vorschlagswesen)</p> </div> <p style="text-align: center;">Bild: Jahreskostenreduzierung realisierter Maßnahmen nach Bereichen</p>					
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen		<input type="checkbox"/> Bedarf		<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz	
Bewertung und Übertragbarkeit	Das grundsätzliche Vorgehen ist auf jede Kläranlage übertragbar, wobei die Bewertung und Entwicklung der Einzelmaßnahmen entsprechenden Sachverstand erfordert.					
Einschätzung und Bemerkungen						

11.2 Einrichtung neuer und Optimierung bestehender BHKW-Standorte

Adresse:	Ruhrverband Kronprinzenstr. 37 45128 Essen	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. D. Thöle Technische Entwicklung und Abfallentsorgung dth@ruhrverband.de
Projektbeschreibung:	<p>Die gestiegenen Strompreise führten in der jüngeren Vergangenheit zu einer zunehmenden Anzahl von Standorten beim Ruhrverband, an denen sich der Neubau eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) lohnt. Allein im Jahr 2006 hat sich die Ausrüstung 11 neuer Standorte im Verbandsgebiet mit BHKW als wirtschaftlich erwiesen. Dabei konnte aufgrund absehbar steigender Strompreise eine Realisierung dieser insgesamt 11 Anlagen von der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung über Planung, Genehmigung und Bau bis zur Inbetriebnahme in lediglich 8 Monaten umgesetzt werden.</p> <p>Alle bestehenden BHKW-Standorte werden nach einem einheitlichen Vorgehen durchleuchtet, um die Möglichkeiten betrieblicher Umstellungen oder den Ersatz von weniger energieeffizienten Modulen wirtschaftlich zu bewerten. Zur Analyse werden die vorhandenen Betriebsdaten in ein Bewirtschaftungsmodell eingebaut und mit den finanziellen Kenngrößen so verknüpft, dass eine direkte Entscheidungsgrundlage geschaffen wird.</p>		
Realisierung seit	Januar 2006		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Der grundsätzliche Ansatzpunkt der Optimierung des BHKW-Betriebs beinhaltet eine höhere elektrische/mechanische Ausbeute des Faulgasangebots durch Verringerung der Fackelverluste und Betrieb der BHKW mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad im Volllastbereich. Im vorliegenden Beispiel (vgl. Abbildung) wird zunächst die Druckluftherzeugung durch Anschaffung von Elektromotoren vom BHKW-Betrieb abgekoppelt, um eine weitere Minimierung der Fackelverluste zu gewährleisten. Neben der vorrangigen Verstromung des Faulgases in der Gasmaschine GM5 mit dem höchsten elektrischen Wirkungsgrad von 33 % wird am Standort durch Einrichtung einer Co-Vergärung das Faulgasangebot erhöht.</p>  <p>Bild: Betriebsdatenaufnahme eines BHKW-Standortes</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen	Obwohl die Eigenproduktion durch die Einspeisung an einigen Standorten nicht in vollem Umfang den Bezug reduzieren kann, hat die Steigerung der Eigenproduktion von 21,2 GWh im Jahr 2006 auf 34,6 GWh im Jahr 2007 einen erheblichen Anteil an der Reduzierung des Strombezugs.		

11.2 Erhöhung der eigenen Stromerzeugung durch Einrichtung von Co-Vergärung

Adresse:	Ruhrverband Kronprinzenstr. 37 45128 Essen	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. F. Schmitt Technische Entwicklung und Abfallentsorgung fsc@ruhrverband.de
Projektbeschreibung:	<p>Die Steigerung des Gasanfalls z. B. durch Verarbeitung externer Co-Substrate in vorhandenen Faulbehältern stellt eine wirtschaftliche Möglichkeit dar, den Strombezug zu reduzieren. Im Juni 2003 wurden erste Versuche zur Co-Vergärung von Fettabscheiderinhalten begonnen und im Sommer 2005 erfolgreich mit der Erteilung einer ersten Dauergenehmigung abgeschlossen. Fettabscheiderinhalte sind in hohem Maße für die Co-Vergärung geeignet, weil sie einen spezifischen Gasertrag von ca. 1.200 l/kg oTR ermöglichen, bei einem Glühverlust von mehr als 90 %.</p> <p>Ein weiteres interessantes Co-Substrat sind Küchen- und Speiseabfälle. Von Vorteil ist dabei, dass mit der nachfolgenden Verbrennung der Faulschlämme ein unter seuchenhygienischen Gesichtspunkten bevorzugter Verwertungsweg zur Verfügung steht. Auch Küchen- und Speiseabfälle weisen mit rd. 700 l/kg oTR einen hohen spezifischen Gasertrag bei etwa 90 % Glühverlust auf.</p>		
Realisierung seit	Juni 2003		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die große Nachfrage nach Entsorgungsmöglichkeiten für diesen Abfallstrom führte zur Beantragung von Versuchsgenehmigungen für 10 weitere Kläranlagen, so dass der Ruhrverband nunmehr flächendeckend für sein Verbandsgebiet diese Entsorgungsmöglichkeit anbieten kann. Durch die Einführung der Co-Vergärung konnte auf einigen größeren Kläranlagen des Ruhrverbandes der externe Strombezug im Vergleich der Jahre 2006 zu 2007 halbiert werden.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Voraussetzungen für die Genehmigungsfähigkeit der Co-Vergärung sind ausreichende Behandlungskapazitäten in den Faulbehältern, Verwertungsmöglichkeiten des zusätzlichen Faulgases und keine Verschlechterung der Kläranlagenabläufe.		
Einschätzung und Bemerkungen			

11.3 Optimierung des Stromeinkaufs

Adresse:	Ruhrverband Kronprinzenstr. 37 45128 Essen	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. T. Grünebaum HA Zentrale Abwasserabteilungen tgr@ruhrverband.de
Projektbeschreibung:	Die Anwendung erforderlicher, moderner Einkaufsstrukturen macht eine engere zeitliche und inhaltliche Anbindung des Stromeinkaufs an die Anforderungen des Kläranlagenbetriebs einerseits und den Strommarkt andererseits notwendig. Der Stromeinkauf innerhalb des komplexen öffentlich-rechtlichen Vergaberechts wird immer wieder als hinderlich für wirtschaftliche Ergebnisse angesehen. Tatsächlich sind aber Transparenz, Klarheit und Vertragssicherheit in diesem System und in diesem Einkaufssegment nicht zu unterschätzen und durch das öffentliche Vergaberecht weitgehend vorhanden.		
Realisierung seit	2006		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Zu den vorhandenen Gestaltungsräumen, die wettbewerbsfördernd eingesetzt werden können, gehören nach bisherigen Erfahrungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Möglichst genaue Beschreibung des Energie- und Leistungsbedarfs an den jeweiligen Verbrauchsstellen • Beschränkung der erforderlichen Unterlagen, Nachweise und Dokumente auf ein erforderliches Mindestmaß • Beschränkung des Stromeinkaufs auf die Stromlieferung ohne Netznutzung zur Einbeziehung von „Stromhändlern“ in die Angebotsabgabe • Losbildung auf Basis der Verteilnetze • Zusammenfassung von Verbrauchergruppen mit ähnlichem Verbrauchsverhalten in jeweiligen Preisgruppen • Separate Ausweisung von Belastungen aus EEG und KWK-Gesetz und Stromsteuer mit Anpassungsoption bei Änderung gesetzlicher Grundlagen • Vertragslaufzeit vorzugsweise 1 oder 2 Jahre mit Verlängerungsoption im beiderseitigen Einvernehmen • Vermeidung von Risikozuschlägen für die Bieter durch Verkürzung von Bindefristen, vorzugsweise sogar durch eine Indizierung des Arbeitspreises in Abhängigkeit der Börsenentwicklung • Tranchierung der Strommengen: Es besteht die Möglichkeit, durch „Einkauf“ von Teilmengen („Tranchieren“) das Risiko eher zufälliger Marktentwicklungen zu mindern bzw. zu teilen. Hierbei können bestimmte, zumeist fest vorgegebene Teilmengen entweder „vertikal“, z. B. als Quartalsprodukte, oder „horizontal“ als Anteile an Jahresbändern tranchiert werden. Die Zeitpunkte des jeweiligen Einkaufs werden entweder fest als Datum zuvor vorgegeben oder in Abhängigkeit der Marktentwicklung frei durch den Kläranlagenbetreiber bestimmt • Nutzung der Marktentwicklung durch aktive Vertragspreisfixierung durch den Kläranlagenbetreiber in Abhängigkeit der Strompreisentwicklung an der Energiebörse durch ein Indizierungsmodell 		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

12.0 Untersuchungen zur Auswirkung von Fremdwasser auf die Betriebskosten einer Kläranlage

Adresse:	Univ. der Bundeswehr München; Email: marika.holtorff@unibw.de	Ansprechpartner/in:	Dipl.-Ing. Marika Holtorff
Projektbeschreibung:	<p>Fremdwasseranfall auf Kläranlagen verursacht erhebliche Mehraufwendungen in Bezug auf Energie, Personal, Entsorgung, etc.</p> <p>Die Auswirkungen sollen, wo möglich quantifiziert, sonst aber zumindest qualifiziert dargestellt werden.</p> <p>Die Untersuchungen werden exemplarisch an einer Referenzkläranlage durchgeführt (oder Fremdwasseranfall!).</p>		
Realisierung seit	Januar 2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die fremdwasserbedingten Energiekosten betragen im Bereich der Ringkanalisation ca. 50 %, im Bereich der Kläranlage 10 % der Gesamtkosten. Weiterer Forschungsbedarf bei Personalmehraufwand. Ggfs. Erweiterung auf Kapitalkostenebene.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input checked="" type="checkbox"/> Bedarf <input checked="" type="checkbox"/> Effizienz	
Bewertung und Übertragbarkeit	Interessant für jede Kläranlage mit hohem Fremdwasseranfall.		
Einschätzung und Bemerkungen	Hoher Fremdwasseranfall verursacht neben direktem Energieverbrauch auch indirekten Energieverbrauch (Entsorgung, Inspektions- und Wartungskosten).		

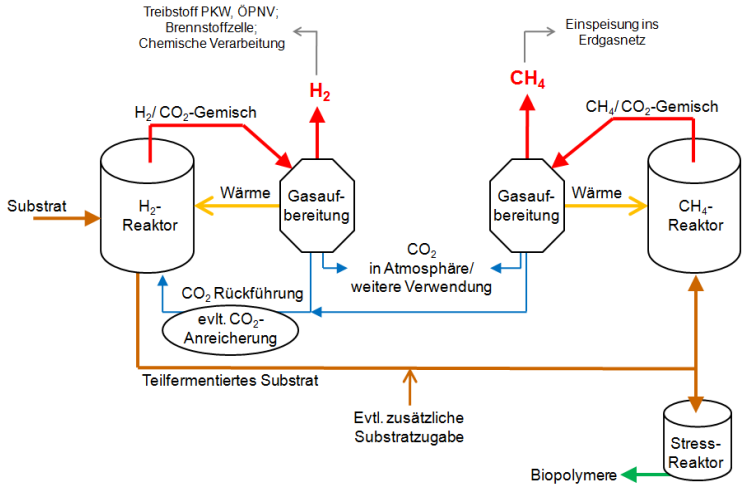
13.1 Co-Vergärung von Speiseresten und Fettabscheiderinhalten auf der Kläranlage Schleswig

Adresse:	Schleswiger Stadtwerke Abwasserentsorgung Poststr. 8 24837 Schleswig www.schleswiger-stadtwerke.de	Ansprechpartner/in:	Herr Dipl. Ing. (FH) Markus Döring
Projektbeschreibung:	<p>Auszug aus der Machbarkeitsstudie Ing.-Büro Weber:</p> <p><i>„Die Kläranlage Schleswig ist für 75.000 EW ausgelegt und gebaut worden. Derzeitig ist sie mit ca. 35.000 EW belastet. Diese Unterbelastung ist insbesondere auf die Umstellung der Produktion der örtlichen Molkerei zurückzuführen, die seitdem weniger stark verschmutztes Abwasser einleitet. Dadurch verfügen die vorhandene Biologie (14.000 m³ Belebungsbeckenvolumen), die bestehende Faulung (6.000 m³ Inhalt) und das Blockheizkraftwerk (300 kWel) über freie Kapazitäten. Dieses führte zu einer zusätzlichen finanziellen Belastung des Eigenbetriebes der Stadt Schleswig, den Schleswiger Stadtwerken – Abwasserentsorgung als Eigentümer und Betreiber der Abwasseranlagen. Mit der Verfahrensstufe Covergärung ist es möglich diesem Trend entgegenzusteuern.“</i></p> <p>Auf der Kläranlage Schleswig wird die Co-Vergärung mit Speiseresten (12.000 t/a) durchgeführt. Hierzu wurde ein weiteres BHKW-Modul installiert, um das Klärgas zu verstromen.</p>		
Realisierung seit	Oktober 2006		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die Fachhochschule Flensburg hat das Projekt im Rahmen einer von den Stadtwerken finanzierten Diplomarbeit über 12 Monate begleitet.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Sofern ausreichend Faulraumvolumen vorhanden ist und Kapazitäten der Belebung zum Stickstoffabbau berücksichtigt werden, können in jedem Faulturm Speisereste mitvergärt werden.		
Einschätzung und Bemerkungen			

14.2 Forschungsvorhaben im Klärwerk Stuttgart-Möhringen, Einsatz einer HotModule-Brennstoffzelle

Adresse:	Bandtäle 2, 70565 Stuttgart Christian.locher@iswa.uni-stuttgart.de	Ansprechpartner:	Dipl.-Ing. Christian Locher
Projektbeschreibung:	<p>Seit November 2007 betreibt die Stadtentwässerung Stuttgart auf dem Klärwerk Stuttgart-Möhringen eine Brennstoffzelle des Typs MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell). Es handelt sich um die europaweit erste Hochtemperaturbrennstoffzelle, die ausschließlich das auf dem Klärwerk beim anaeroben Stabilisierungsprozess anfallende Klärgas zur Gewinnung von elektrischer und thermischer Energie nutzt. Die Brennstoffzelle verfügt über eine Leistung von über 250 kWel und von 180 kWth. Dies entspricht einer maximal zuführbaren Klärgasmenge von ca. 120 Nm³/h.</p> <p>Für einen störungsfreien Betrieb der Brennstoffzelle ist eine hohe Klärgasqualität erforderlich. Eine qualifizierte mehrstufige Gasreinigung des Klärgases ist Voraussetzung, ehe es in die Brennstoffzelle gelangt. Diese besteht aus einem Gasentfeuchter und zwei in Reihe betriebenen Aktivkohlefiltern. Insbesondere die Schwefel-, Siloxan- und Halogenverbindungen werden so gemäß den Anforderungen des Brennstoffzellenherstellers aus dem Klärgas entfernt.</p> <p>Das von mehreren Projektpartnern finanziell unterstützte Forschungsprojekt wird wissenschaftlich vom Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft und vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart begleitet. Zusätzlich zur Brennstoffzelle wurden im Rahmen des Projekts zahlreiche weitere mess- und regeltechnische Aggregate (Gasanalytik, Wärmemengenzähler...) installiert, um eine wissenschaftlich geprägte Datenerfassung und -auswertung zu gewährleisten. Durch die Dokumentation und Auswertung der Betriebsergebnisse und der Erfahrungen aus dem laufenden Betrieb wird untersucht, wie die Brennstoffzelle Strom- und wärmeseitig in den Anlagenbetrieb eingebunden werden kann. Die ermittelten Leistungsdaten werden in technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht mit klärgasbetriebenen Gasmotor-BHKW verglichen.</p>		
Realisierung seit	Nov. 2007		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung ,nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

14.6 2-stufiges Konzept zur fermentativen Produktion von Wasserstoff und Bioerdgas durch innovative Gasaufbereitung

Adresse:	iosif.mariakakis@iswa.uni-stuttgart.de, katharina.raab@ivd.uni-stuttgart.de	Ansprechpartner/in:	Iosif Mariakakis (ISWA) Katharina Raab (IVD)
Projektbeschreibung:	<p>Ziel des Projekts ist die Biowasserstoff- und Bioerdgasproduktion auf Kläranlagen und die Aufbereitung der anfallenden Gase durch die Verwendung von Ionenaustauscher. Das Verfahren soll in einem 2-stufigen, anaeroben Fermentationsprozess realisiert werden, wie es in der Abbildung dargestellt wird. Dabei besteht auch die Alternative, aus den biologischen Reststoffen der 1. Stufe, Biopolymere in Form von PHB durch eine Verfahrensvariation produziert zu werden.</p>  <p>Das Substrat wird zunächst zur 1. Stufe gefördert und wasserstoffreiches Produktgas erzeugt. Dieses wird mittels eines Ionenaustauschers aufbereitet und reiner Wasserstoff erzeugt, der für weitere Anwendungen wie z.B. PKW, stationäre Brennstoffzelle oder zur Produktion von Rohstoffen verwendet werden kann. Die bei der Absorption von CO₂ frei werdende Reaktionswärme im Ionenaustauscher wird zur Beheizung des Wasserstofffermenters genutzt. Das bei der Regeneration freigesetzte CO₂ wird zurück in den Wasserstoffreaktor gebracht zur Reduzierung des Wasserstoffpartialdrucks. Das bereits teilweise fermentierte Substrat wird nun in die 2. Stufe des Verfahrens gebracht, in der das Substrat nun vollständig umgesetzt und Methan produziert werden soll. Das aus der Fermentation austretenden Methan-CO₂-Gemisch wird wiederum mit einem Ionenaustauscher zu Methan bzw. Bioerdgas aufbereitet und zur Einspeisung ins Erdgasnetz genutzt. Alternativ zur weiteren Fermentation kann das Substrat ebenfalls in Biopolymere umgesetzt werden.</p>		
Realisierung seit	März 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Mit großem Aufwand		
Einschätzung und Bemerkungen			

15.0 Energieoptimierte Abwasserbehandlung durch die intelligente, lastabhängige Belüftungsregelung TAT-IntelliClean®

Adresse:	ENVICON GmbH & Co. KG Bassfeldshof 6 46537 Dinslaken www.envicon.net	Ansprechpartner/in:	Andreas Plitzko Matthias Springer 02064/474-31 info@envicon.net
----------	---	---------------------	--

Projektbeschreibung: **Energieoptimierte Abwasserbehandlung durch die intelligente, lastabhängige Belüftungsregelung TAT-IntelliClean®**

Etwa 60 % des Energieverbrauches einer Kläranlage werden in der biologischen Stufe benötigt. Somit ist in diesem Prozessschritt das größte Energie-Einsparpotenzial gegeben. Um diese Potenziale nutzbar zu machen, hat ENVICON den intelligenten Belüftungsregler TAT-IntelliClean® entwickelt und patentiert. Der Regler arbeitet nach dem Fuzzy-Pattern-Verfahren. Er nutzt keine „wenn-dann“-Regeln (Fuzzy Logic), sondern ein mathematisches Merkmalsmuster-Erkennungsverfahren (Fuzzy- Pattern), wie es z. B. in der Biometrie angewendet wird. Es wird dort zur Erkennung einzigartiger, persönlicher Merkmale anhand eines Fingerabdrucks, der Iris des Auges oder auch der Spracherkennung eingesetzt. Aus gegebenen Verläufen, die zunächst verwirrend aussehen können, wird ein Muster von Linien oder charakteristischen Punkten herausfiltriert, die so nur auf dieses einzelne und unverwechselbare Individuum zutreffen. Anhand dieser Muster ist die Person immer und sicher identifizierbar. Dieses Muster gilt als Referenzabdruck. Bei Kontrollen werden die erhobenen Abdrücke mit den abgespeicherten Referenzabdrücken verglichen. Entspricht ein Abdruck einem hinterlegten Muster maximal, so ist die Person zweifelsfrei identifiziert. Auch Kläranlagen verhalten sich innerhalb gewisser Grenzen individuell. Schon keine zwei gleich aufgebauten, nebeneinander liegenden Kläranlagen würden sich genau gleich verhalten. Einflüsse wie Auslastungsgrad, Abwasserzusammensetzung, klimatische Bedingungen, Betriebsphilosophie und viele mehr führen dazu, dass jede Kläranlage eigene Muster aufweist, die der Regler erkennen kann. Durch den Einsatz des Reglers werden die Gebläse auf der Basis der Signalverläufe für das Redoxpotenzial, den Gelöstsauerstoff und den pH-Wert lastabhängig ein- und ausgeschaltet. Einen typischen Signalverlauf der belastungsabhängigen Belüftungsregelung mit TAT-IntelliClean® zeigt das Bild 1:

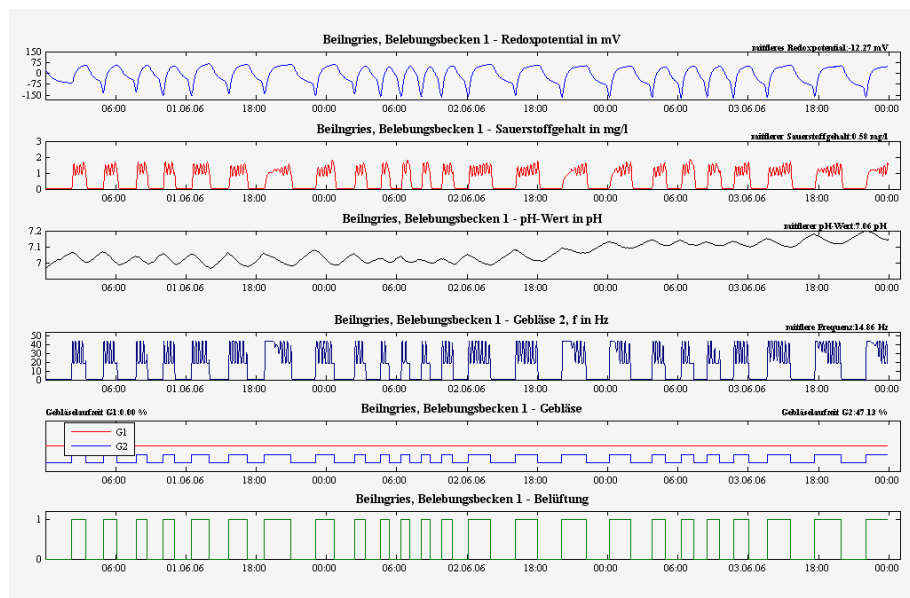


Bild 1: Verlauf der Signale von Redoxpotential (mit Redoxknien), Gelöstsauerstoff, pH-Wert (mit pH-Einläufen) und Gebläseleistung

Die energetischen Einsparpotenziale liegen meist in der Nutzung der Energiereserve aus dem Nitratabbau durch eine verbesserte Denitrifikation, dem Vermeiden von Überbelüftung oder z. B. in einer gezielten Reduktion des TS-Gehaltes. Die belastungsabhängig exakte Beendigung der Nitrifikationsphase bewirkt einen zusätzlichen Zeitgewinn für die Denitrifikation. Durch die lastabhängige Gestaltung der Zykluszeiten für Nitrifikation und Denitrifikation werden zusätzlich die Ablaufkonzentrationen derart vergleichmäßigt, dass u. U. eine Absenkung des TS-Gehaltes gefahrlos möglich ist, was

eine zusätzliche Energieeinsparung nach sich ziehen kann. Mit der Belüftungsregelung sind in der Vergangenheit bereits Energieeinsparungen in der biologischen Stufe von bis zu 30 % erzielt worden. ENVICON hat die Wirkungsweise auf über 100 Kläranlagen der Größen 2.000 – 200.000 EW nachgewiesen. Eine kleine Auswahl der erzielten Ergebnisse liefert die Tabelle 1:

Tabelle 1: Energieeinsparungen auf Kläranlagen durch den Einsatz von TAT-IntelliClean®

Kläranlagen-größe	Reduktion Energie-verbrauch Belüftung in %	Reduktion NO ₃ -N in %	Reduktion N _{ges} in %	mögliche Einsparung ¹⁾ in €/a
13.000 EW	24	68	36	5.800,-
14.000 EW	18	82	83	3.900,-
20.000 EW	10	59	54	5.200,-
25.000 EW	11	38	28	4.000,-
32.000 EW	14	72	31	4.000,-
35.000 EW	14	52	45	10.700,-
40.000 EW	10	21	36	10.900,-
43.000 EW	28	54	43	33.900,-
49.000 EW	16	44	32	11.000,-
80.000 EW	16	35	22	13.700,-

1) mögliche Einsparung: Summe aus Energieeinsparung, Reduzierung der Abwasserabgabe, Fällmitteleinsparung

Neben den Energieeinsparungen kommt es durch die prozessoptimierte Regelung auch zu einer deutlichen Vergleichmäßigung der Ablaufwerte (hier vor allem der Stickstoffparameter) auf niedrigerem Niveau. In vielen Fällen können die Ablaufwerte so weit abgesenkt werden, dass eine Niedrigererklärung der Kläranlage und somit eine Rückverrechnung der Abwasserabgabe nach § 10 Abs. 3 AbwAG ermöglicht wurde. Durch die spezielle Auswertung der Signalverläufe wird auf die Nutzung von Absolutwerten verzichtet. Bei Verschmutzung der Sonden oder Abdriften der Sondersignale kommt es deshalb nicht zu einer Schaltpunktverschiebung. Weiterhin müssen die Signale nicht geglättet werden, was rein mathematisch bereits zu einer Schaltpunktverzögerung führen würde. Der Regler TAT-IntelliClean® verfügt über einen eingebauten Sauerstoffregler, der auch die Sauerstoff-Sollwerthaltung mit übernehmen kann. Zusatzfunktionen wie eine lastabhängige Dosierung des Trübwassers, die Fällmitteldosierung oder ein Hochlastschalter (z. B. mobile Schlammmentwässerung, Erntekampagne etc.) sind verfügbar. Vorhandene Ammonium- oder Nitratsonden können in den Regelalgorithmus eingebunden werden oder zur Überwachung von Grenzwerten dienen, sind aber für die Leistung des Reglers nicht unbedingt erforderlich. Damit ist die TAT-IntelliClean® auch für mittlere und kleinere Kläranlagen interessant. Der Regler kann auch auf bereits bestehenden Kläranlagen eingesetzt werden und dazu beitragen, den Energiebedarf der biologischen Stufe deutlich zu senken.

Dipl.-Ing. A. Plitzko, ENVICON GmbH & Co. KG, Dinslaken

Realisierung seit	1998		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Bis zu 30 % Energieeinsparung in der biologischen Stufe Reduzierung N _{ges} , um bis zu 80 % Deutliche Vergleichmäßigung der Ablaufwerte Niedrigererklärung der Kläranlage möglich Rückverrechnung nach AbwAG § 10 (3) möglich		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Mit geringem Aufwand nachrüstbar		
Einschätzung und Bemerkungen	Sofortiger Nutzen, Finanzierung über Verrechnung der Abwasserabgabe oder durch Amortisationszeit ca. 4 Jahre		


16.0 Nutzung der „Umweltenergie“ aus dem Klarwasserablauf des Klärwerkes Schönerlinde mittels einer Wärmepumpenanlage für die Faulschlammerwärmung

Adresse:	Berliner Wasserbetriebe Cicerostraße 24 10709 Berlin	Ansprechpartner/in:	Frau Ulrike Franzke
Projektbeschreibung:	<p>Geplantes Projekt der BWB</p> <p>Nutzung der „Umweltenergie“ aus dem Klarwasserablauf des Klärwerkes Schönerlinde mittels einer Wärmepumpenanlage für die Faulschlammerwärmung .</p> <p>Bisheriger Stand</p> <p>Die Heizwärme, die im Werk für Raumwärme, Warmwasser und technische Wärme erforderlich ist, wird bisher bereitgestellt durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • das mit Faulgas betriebene BHKW • die Wärmeauskopplung aus der Schlammmentwässerung und -trocknung (SET) • zwei Heizkessel, die mit Faulgas und bei weiterem Wärmebedarf mit Erdgas beheizt werden. <p>In den vergangenen Jahren musste über den Faulgaseinsatz hinaus für die Erzeugung von ca. 4.500 MWh Erdgas vom EVU bezogen werden.</p> <p>Projektziel</p> <p>Der Erdgasverbrauch soll möglichst weitgehend durch den Einsatz einer Wärmepumpe substituiert werden, um die Energiekosten zu minimieren und gleichzeitig einen Beitrag zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes zu leisten.</p> <p>Geplante thermische Leistung der Wärmepumpen</p> <p>Der bisher mittels Erdgas bereitgestellte Heizwärmebedarf in Höhe von ca. 4.500 MWh fällt in Abhängigkeit von der verfügbaren Menge an Faulgas sehr ungleichmäßig verteilt an.</p> <p>Eine optimale Substituierung des Erdgasbedarfes ist mit einer gestaffelten Zuschaltung von drei Wärmepumpen mit je 300 kW Leistung zu erreichen.</p> <p>Wahl der Wärmequelle</p> <p>Als Energiequellen sind verfügbar :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Klarwasserablauf/Ableiter</i> mit einem Volumenstrom von min. 460 m³/h und jahreszeitlich bedingten Temperaturen von 10 – 22 °C 2. <i>Kühlwasser der SET (Schlammerwärmung und -trocknung)</i> mit einem Volumenstrom von min. ca. 30 m³/h und Temperaturschwankungen von 30 – 50 °C <p>Als Energiequelle soll vorrangig das Wasser des Ableiters genutzt werden. Da die Temperatur des Klarwassers jahreszeitlich bedingt schwankt, ist geplant, in der Übergangszeit und im Winter Kühlwasser aus der Schlammerwärmung und -trocknung beizumischen, so dass ganzjährig eine konstante Wärmequellentemperatur von 20 °C zur Verfügung steht.</p> <p>Mit dieser Temperatur der Wärmequelle ist eine Leistungszahl von mindestens COP = 4 zu erreichen, was bedeutet, dass drei Viertel der mit der Wärmepumpenanlage bereitzustellenden Heizwärme aus Umweltenergie gewonnen werden kann und nur ein Viertel der Heizwärme durch den Bezug von elektrischer Energie vom EVU bereitzustellen ist.</p> <p>Einsparpotential Betriebskosten</p> <p>Die Berechnungen haben ergeben, dass auch unter Berücksichtigung der erforderlichen Investitionen sich aufgrund der Betriebskosteneinsparungen ein wirtschaftlicher Betrieb ergibt.</p> <p>Einsparpotential CO₂- Ausstoß</p> <p>Die Verringerung an CO₂-Emissionen beträgt gegenüber dem heutigen Erdgasbetrieb ca. 25 %.</p>		

Realisierung seit			
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

17.1 Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser zur Beheizung des Betriebs- und Verwaltungsgebäudes der Kläranlage in Nassau

Adresse:	Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH www.siekmaningenieure.de Gebäudetechnische Planungen Benedikt Förster www.gpfoerster.de	Ansprechpartner/in:	Herr Dr. Klaus Siekmann Benedikt Förster
Projektbeschreibung:	<p>Im Zuge des Neubaus der Kläranlage in Nassau wurde das Verwaltungsgebäude der Verbandsgemeindewerke auf das Anlagengelände verlegt. Das gesamte Gebäude mit einer beheizten Fläche von ca. 500 m² wird über eine 30 kW_{th} Wärmepumpe mit Abwasserwärmetauscher umweltfreundlich und effizient beheizt. Um die Energie aus dem Abwasser zu gewinnen, ist im Nachklärbecken ein Wärmetauscher, bestehend aus 1.200 m PE-Leitungen, installiert.</p> <div data-bbox="483 759 1206 1299" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="483 1312 770 1341">Wärmepumpe im Technikraum</p> <div data-bbox="496 1444 1174 1912" data-label="Diagram"> <p data-bbox="483 1939 756 1968">Funktion einer Wärmepumpe</p> </div>		

	 <p>Wärmetauscher im Nachklärbecken</p>		
Realisierung seit	Die Anlage ist seit November 2006 in Betrieb.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Im Jahr 2007 wurden ca. 36.000 kWh Wärme zur Beheizung des Gebäudes benötigt und dafür ca. 7.200 kWh Strom verbraucht. Die hohe Jahresarbeitszahl von ca. 5,0 im Vergleich zu sonst üblichen Werten zwischen 3,0 und 4,0 wird erreicht, weil ganzjährig Abwassertemperaturen von rund 12° Celsius zur Verfügung stehen.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser mittels Wärmepumpe findet hier einen idealen Anwendungsbereich. Die Übertragbarkeit auf weitere Projekte ist sehr gut, sofern die Voraussetzungen für die Wärmeverteilung im Gebäude mit geringen Vorlauftemperaturen gegeben sind bzw. geschaffen werden.		
Einschätzung und Bemerkungen	Im Zuge der Umgestaltung und/oder der energetischen Optimierung von Bestandsgebäuden auf Kläranlagen stellt die Wärmeversorgung mit diesem System eine Lösung mit breitem Anwendungsbereich dar.		

17.2 Forschungsprojekt: Pyrolysereaktor zur dezentralen thermischen Klärschlammverwertung

<p>Adresse:</p>	<p>Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH Segbachstraße 9 56743 Thür www.siekmann-ingenieure.de</p>	<p>Ansprechpartner/in:</p>	<p>Dr. Klaus Siekmann</p>
<p>Projektbeschreibung:</p>	<p>Ziel des Vorhabens ist es, eine wirtschaftliche und ökologisch sinnvolle Lösung zur dezentralen thermischen Verwertung von Klärschlämmen insbesondere für kleinere kommunale Kläranlagen im ländlichen Raum ab ca. 10.000 EW anzubieten.</p> <p>Diese Anforderungen wurden mit der Entwicklung eines Pyrolysereaktors mit nachgeschalteter FLOX®-Feuerung realisiert. Derzeit wird auf der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes "Untere Selz" (AVUS) in Ingelheim eine Pilotanlage mit einer Durchsatzleistung von ca. 40 kg TS/h betrieben.</p> <p>Das entspricht der Klärschlammmenge von ca. 15.000 EW. Die Wärmeleistung dieser Feuerung liegt bei ca. 100 kW_{th}. Bei einem Energiegehalt des getrockneten Schlammes von ca. 10 MJ/kg TS wird die notwendige Energie für den Pyrolyseprozess ausschließlich durch die im Schlamm enthaltene organische Masse gewonnen.</p> <div data-bbox="481 922 1394 1447" data-label="Diagram"> </div> <p>Verfahrensschema der Pilotanlage</p> <p>Der Pyrolysereaktor ist als Rohr aus hochwarmfestem Stahl mit gasdichten Dosiereinrichtungen (Zellradschleusen) ausgebildet, in dem zwei ineinander kämmende Förderschnecken den Klärschlamm fördern, umwälzen und dieser dadurch gleichmäßig erwärmt wird. Das Reaktorrohr ist von einem Mantelrohr umgeben, in dem die heißen Rauchgase aus dem FLOX®-Brenner den Reaktor von außen auf eine Temperatur von ca. 600 bis 800 °C aufheizen. Das im Reaktor entstehende Pyrolysegas wird ohne Kondensation der Kohlenwasserstoffe (Teer) der nachgeschalteten FLOX®-Feuerung zugeführt. Bei der FLOX®-Feuerung wird durch interne Abgasrezirkulation der Inertgasanteil erhöht und die Ausbildung einer Flamme mit örtlichen Temperaturspitzen vermieden. Dadurch wird die Verbrennungstemperatur gleichmäßig in der gesamten Brennkammer bei ca. 1.000 °C gehalten und die thermische Stickoxidbildung vermieden. Die verbleibenden Reststoffe werden über eine Zellradschleuse aus dem Reaktor ausgetragen.</p>		



Ansicht der Pilotanlage auf der Kläranlage in Ingelheim

Realisierung seit	Beginn der Forschungsarbeiten an dem Pyrolysereaktor im Januar 2007		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die Anlage wird derzeit im Dauerbetrieb getestet und Untersuchungen der Reststoffe sowie der Rauchgase gemäß der 17. BImSchV durchgeführt. In Zukunft soll noch eine Wärmeauskopplung für den Betrieb einer KWK-Anlage mit Stirling- oder Dampfmotor erfolgen. Hierzu sind Fördermittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung – über den Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR bewilligt worden. Zudem soll untersucht werden, ob sich die Rückstände aus der Pyrolyse für die Phosphatrückgewinnung eignen.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Gemäß dem derzeitigen Stand der Forschung kann davon ausgegangen werden, dass derartige Anlagen zukünftig ein breites Anwendungsfeld insbesondere auf Kläranlagen ab einer Anschlussgröße von 10.000 EW finden werden.		
Einschätzung und Bemerkungen	Die abschließende Bewertung kann erst nach Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgen.		


18.1 Pumpenbetrieb Hochwasserpumpwerk Lohausen, Drehzahl korrespondierend Rheinwasserstand, Reduktion Spitzenlasten und energieeffizient

Adresse:	Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	
Projektbeschreibung:	Für den Betrieb der Pumpen im Hochwasserpumpwerk wurde die Drehzahl korrespondierend auf den Rheinwasserstand eingeregelt. Somit erfolgt bei einem Regenereignis ein Einsatz der Pumpen, der nicht sofort die gesamte Leistung abrufen und dann mit kurzen Schaltintervallen das Wasser in den Rhein pumpt. Geregelt wird die Pumpe so, dass sie beim optimalen Betriebspunkt für den jeweiligen Wasserstand kontinuierlich arbeitet. Dadurch werden die Spitzenlasten reduziert und die Energie effizient eingesetzt.		
Realisierung seit	2001		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

18.2 Wirkungsgradsteigerung eines Pumpwerkes im Klärwerk Düsseldorf Nord

Adresse:	Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	
Projektbeschreibung:	Für den Betrieb einer Pumpstation sind nicht nur die Pumpen selber Stromabnehmer, sondern auch die Nebenverbraucher tragen zum Energieverbrauch der gesamten Pumpstation bei. Nebenverbraucher sind Anlagenteile wie Heizung, Lüftung, Licht, Rührvorrichtungen im Pumpensumpf, Heizung zum Vorwärmen der Notstromaggregate. Durch die Ermittlung des Wirkungsgrads der Pumpen und dem Gesamtwirkungsgrad (incl. Nebenverbraucher) lässt sich eine Kennzahl ermitteln, die Auskunft über die Energieeffizienz der gesamten Pumpstation gibt. Zurzeit arbeitet eine DWA-Arbeitsgruppe zu diesem Thema mit dem Ziel, einen Arbeitsbericht zu veröffentlichen (Wirkungsgradsteigerung ca. 10 %, damit auch eine Energieersparnis von 10 %).		
Realisierung seit	2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

18.3 Erneuerung eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) im Klärwerk Düsseldorf-Nord

Adresse:	Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	Herr Elstermann Tel.:02132/917-213
Projektbeschreibung:	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Die vorhandene BHKW-Anlage auf dem Klärwerk Düsseldorf-Nord war auf Grund ihres Alters von im Mittel 14 Jahren und einer Laufzeit der einzelnen Module von mehr als 80.000 Betriebsstunden dringend erneuerungsbedürftig. Der damalige Handbetrieb der Module ließ wenig Spielraum für eine bedarfsgerechte und energieoptimierte Fahrweise. Hinzu kamen gesetzliche Veränderungen hinsichtlich der Abgasemissionen der BHKW-Module, die eine Anpassung der Anlage erforderlich machten.</p> <p>In einer Wirtschaftlichkeitsstudie wurden unterschiedliche Umbauvarianten und Konzepte untersucht. Dabei hat sich die Erneuerung durch BHKW-Module mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad als wirtschaftlichste Lösung erwiesen.</p> <p>Die wesentlichen Vorteile der Erneuerung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch eine weitgehende Automatisierung kann der Personalbedarf deutlich gesenkt werden. • Durch eine Erneuerung der Module wird die Verfügbarkeit der Anlage signifikant erhöht. • Durch einen ca. 10 % höheren Wirkungsgrad wird die Eigenstromerzeugung der Kläranlage deutlich gesteigert. • Bei einer auf maximale Eigenstromerzeugung ausgerichteten (stromorientierten) Fahrweise kann der derzeitigen Strompreis-Verteuerung bei Fremdbezug wirkungsvoll begegnet werden. Der Betreiber ist somit weniger abhängig von externen Versorgern. • Bei einer weitgehenden Verwendung des Klärgases in den BHKW-Modulen können steuerliche Vorteile in Form von Rückerstattungen genutzt werden. • Es besteht die Option, den Strom nach dem Energie-Einspeisegesetz (EEG) zu verkaufen. Dies ist stark abhängig von der Entwicklung der Strompreise bei Fremdbezug. 		
Realisierung seit	Die Inbetriebnahme aller drei Module war Ende Juli 2006.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Wie geplant ist der Anteil der Eigenstromerzeugung gestiegen. (2005: 8,96 Mio. kWh; 2007: 10,83 Mio. kWh)		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen	--		

18.4 Erneuerung der Turboverdichter im Klärwerk Düsseldorf Nord mit größerer Effizienz

Adresse:	Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	
Projektbeschreibung:	Nachdem seit Herbst 2004 die Störanfälligkeit der Turboverdichter zu nicht mehr vertretbaren Betriebszuständen und Ausfällen führte, wurde zunächst ein effektiver arbeitender Turboverdichter beschafft. Auch die übrigen Turboverdichter werden sukzessive ersetzt, so dass die Belüftung der Belebung zuverlässiger und energieeffizienter gestaltet werden kann. Da ca. 1/3 des Energieverbrauchs auf dem Klärwerk der Belüftung der Belebung zugeordnet werden kann, führen hier solche Maßnahmen natürlich zu deutlich spürbaren Effekten. Hier werden Energieeinsparungen von ca. 25 % erwartet.		
Realisierung seit	Inbetriebnahme 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

18.5 Sanierung der Heizungsanlage Klärwerk Düsseldorf Süd mit höherem Wirkungsgrad (Sanierung noch nicht abgeschlossen)

Adresse:	Stadtwasserbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	
Projektbeschreibung:	Die seit 1972 in Betrieb befindliche Heizungsanlage des Klärwerkes Düsseldorf Süd, zeigte an unterschiedlichen Anlagenteilen immer häufiger Störungen, so dass ein zuverlässiger und problemloser Betrieb langfristig nicht mehr gewährleistet war. Daher wurde die gesamte Anlage durch eine neue Anlage mit höherem Wirkungsgrad ersetzt. Die Maßnahme ist noch nicht abgeschlossen und kann noch nicht mit konkreten Zahlen belegt werden.		
Realisierung seit	Inbetriebnahme 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

18.6 Bau eines Blockheizkraftwerkes im Klärwerk Düsseldorf Süd zur optimalen Verwertung von Faulgas bei gleichzeitiger Nutzung des produzierten Stroms und der entstehenden Wärme, Gesamtwirkungsgrad bei 80 %

Adresse:	Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf KW Düsseldorf Nord Isseldyk 60 40667 Meerbusch Tel.: 02132 917-0 Fax: 02132 917-270	Ansprechpartner/in:	
Projektbeschreibung:	Im Zuge der Sanierung der Heizungsanlage auf dem Klärwerk Düsseldorf Süd wurde die Wärmerückgewinnung des gesamten Klärwerkes neu geplant. Der Bau des BHKW soll eine optimale Verwertung von Faulgas bei gleichzeitiger Nutzung des produzierten Stroms und der entstehenden Wärme gewährleisten. Der gesamte Wirkungsgrad des BHKW wird bei 80 % liegen. Die Leistung liegt bei 700 KWh, die Leistung pro Jahr wird in Abhängigkeit der Laufzeit auf 5.250.000 KWh geschätzt.		
Realisierung seit	Inbetriebnahme 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

19.1 Effizienterer Sauerstoffeintrag in die Belebungsbecken

Adresse:	Wupperverband Untere Lichtenplatzer Str. 100 42289 Wuppertal www.wupperverband.de	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. V. Erbe 0202/583-285 erb@wupperverband.de
Projektbeschreibung:	<p>Gleitdruckregelung mit intermittierendem Betrieb der KA Kohlfurth; frequenzgesteuerte Gebläse passen auf Basis der Ammonium- und Nitratkonzentration die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken an; Folienbelüfterelemente in einer 2er Kaskadenbiologie mit vorgeschalteter DN-Zone, ermöglichen die Luftabschaltung auch in der N-Zone.</p> <p>Im Vergleich zu der vorher installierten Verfahrenstechnik und Steuerung kommt es zu einer Einsparung von 4,79 kWh/(EW·a).</p>		
Realisierung seit	2006		
Ergebnisse / weiterer Forschungsbedarf	Kein weiterer Forschungsbedarf		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben, wenn die verfahrenstechnischen Voraussetzungen erfüllt sind		
Einschätzung und Bemerkungen			

19.2 Effizienterer Rührwerksbetrieb

Adresse:	Wupperverband Untere Lichtenplatzer Str. 100 42289 Wuppertal www.wupperverband.de	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. V. Erbe 0202/583-285 erb@wupperverband.de
Projektbeschreibung:	Durch Strömungssimulation erfolgt die Bestimmung des optimalen Standortes der Rührwerke zur Minimierung der Rührwerkanzahl und der Rührenergie. In Summe ergeben sich Einsparungen von 3,32 kWh/(EW·a).		
Realisierung seit	2006		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Reduzierung der Rührwerksleistung um 50 %, kein weiterer Forschungsbedarf		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Wirksames neues Planungsinstrument; Übertragbarkeit ist gegeben		
Einschätzung und Bemerkungen			

19.3 Effizienterer Sauerstoffeintrag in die Belebungsbecken

Adresse:	Wupperverband Untere Lichtenplatzer Str. 100 42289 Wuppertal www.wupperverband.de	Ansprechpartner/in:	Dr.-Ing. V. Erbe 0202/583-285 erb@wupperverband.de
Projektbeschreibung:	<p>Installation einer Zustandsregelung zur Optimierung des Lufteintrages auf der KA Odenthal mit Hilfe von Computational Intelligence (CI). Die Logik der CI ist auf einem Prozessrechner installiert, der über OPC mit der für den Lufteintrag zuständigen SPS kommuniziert.</p> <p>Mit dem Regler wird der Lufteintrag zwischen den Kaskaden, die jeweils intermittierend betrieben werden, optimal abgestimmt und die optimalen PID Regelparameter den schwankenden Zulaufbelastungen angepasst.</p> <p>Dies führt zu einer Energieeinsparung von ca. 2,29 kWh/EW.</p>		
Realisierung seit	2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Reduzierung des Energiebedarfs der Biologie um ca. 10 %		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	gut übertragbar		
Einschätzung und Bemerkungen	Mehraufwand durch F+E, Zusammenarbeit mit Hochschule		

20.1 Austausch der Belüfterelemente und der Luftregelschieber der Schwachlastbelebungsbecken 7-14

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	Bei den vorhandenen Schwachlastbelebungsbecken 7-14 (Gesamtvolumen 94.000 m ³) sind die Druckverluste des Belüftungssystems aufgrund der Alterung immer weiter angestiegen, so dass durch den erhöhten Stromverbrauch der Verdichter ein Austausch des gesamten Belüftungssystems wirtschaftlich wurde. Dabei wurden auch zur Optimierung der Luftmengen- bzw. Sauerstoffregelung die vorhandenen Regelschieber gegen neue Luftregelschieber mit einer verbesserten Regelcharakteristik ersetzt.		
Realisierung seit	Während des gesamten Jahres 2007 wurden in den 8 Schwachlastbelebungsbecken nacheinander die Belüftungssysteme und Luftregelschieber ersetzt.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	In 2008 konnte im Vergleich zu 2006 eine Energieeinsparung von ca. 6,5 Mio kWh/a erreicht werden.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.2 Einführung einer Methodik zur kontinuierlichen Energieanalyse

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	<p>Bis zum Jahre 2005 wurde neben der einmalig durchgeführten Feinanalyse des Energieverbrauches im Klärwerk Köln-Stammheim der Verbrauch anhand der Leistungsmessungen an den Trafostationen der Mittelspannungsanlagen nachvollzogen. Die Hauptenergieverbraucher sowie erhebliche Änderungen im Stromverbrauch konnten hiermit identifiziert werden.</p> <p>Da nicht alle Verbraucher der Kläranlage nach streng verfahrenstechnischen Gesichtspunkten den Mittelspannungsanlagen zugeordnet wurden und da die Aufteilung für eine weitergehende Analyse nicht ausreichend differenziert war, wird die Energieanalyse des GWK Köln-Stammheim ab 2005 anhand detaillierter Leistungsmessungen auf der Niederspannungsebene erstellt. Hierzu wurden neben den vorhandenen Leistungsmessungen noch 30 weitere Messungen in die Schaltanlagen nachgerüstet.</p> <p>Die Stromverbräuche werden online ermittelt und im Archivsystem gespeichert. Im Vergleich zu einer einmalig durchgeführten Energieanalyse kann so online eine kontinuierliche Ermittlung der Energieeinsparpotenziale analog zum Energiehandbuch NRW durchgeführt werden. Außerdem kann jederzeit überprüft werden, ob durchgeführte Maßnahmen auch wirksam sind und inwiefern sich Betriebsmodifikationen, z.B. zur Verbesserung der Ablaufqualität, auf die Energiebilanz auswirken.</p>		
Realisierung seit	Seit 2005		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.2 Austausch der Quecksilberdampfleuchten gegen Natriumdampfleuchten

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	Auf dem Großklärwerk Köln-Stammheim sind ca. 700 Quecksilberdampfleuchten mit einem jährlichen Stromverbrauch von ca. 385.000 kWh/a installiert. Durch den Austausch dieser Leuchten gegen Natriumdampfleuchten lässt sich eine Energieeinsparung von ca. 170.000 kWh/a erzielen. Zusätzlich ergibt sich für die Natriumdampfleuchten eine viermal längere Lebensdauer.		
Realisierung seit	Mit der Maßnahme wird in 2009 begonnen.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.2 Optimierung der raumlufttechnischen Anlagen

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	<p>Auf dem Großklärwerk Köln-Stammheim sind zahlreiche raumlufttechnische Anlagen installiert. Eine Untersuchung der gesamten Anlagen hat ergeben, dass sich hier einige Optimierungsmöglichkeiten ergeben.</p> <p>Bei den RLT-Anlagen können teilweise die eingestellten Raumtemperaturen verändert werden. Auch lassen sich die Luftwechselzahlen, insbesondere bei kaum genutzten Gebäuden, reduzieren.</p> <p>Für die im Stand-By-Betrieb befindliche Filteranlage wurde die Luftwechselzahl verringert und sogar einige Ventilatoren komplett abgeschaltet bzw. auf Intervallbetrieb umgestellt.</p>		
Realisierung seit	Mit der Maßnahme wurde in 2007 begonnen.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	In 2007 konnte im Vergleich zu 2006 bereits eine Stromeinparung von ca. 500.000 kWh/a realisiert werden. In 2008 wurde eine weitere Reduzierung um 113.000 kWh/a erreicht.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.2 Periodische Abschaltung der redundanten Transformatoren

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	<p>Für die Energieversorgung werden im Großklärwerk Köln-Stammheim insgesamt 21 Transformatoren 6/0,4 kV mit einer installierten Gesamtleistung von 17.410 kVA betrieben.</p> <p>In einigen NS-Hauptverteilungen besteht dabei Redundanz, d.h. die benötigte Leistung ist auf zwei oder mehr Transformatoren verteilt.</p> <p>Beim Betrieb der Transformatoren werden diese betriebswarm gehalten, dadurch treten jedoch Leerlaufverluste auf. Diese betragen bei heutigen fabrikneuen Öltransformatoren etwa 0,3 % der Nennleistung. Bei den älteren Ausführungen im GWK können die Leerlaufverluste mit mindestens 0,3 % angesetzt werden.</p> <p>Diese Verluste können durch ein zyklisches Umschalten der Trafos vermieden werden, d.h. es ist für eine noch festzulegende Periode immer nur ein Trafo an der 6 kV-Seite am Netz, die Redundanz-Trafos werden für den gleichen Zeitraum vollständig abgeschaltet.</p> <p>Nach Ablauf einer Periode wird unterbrechungslos auf den Redundanztrafo umgeschaltet und der bisher in Betrieb befindliche Trafo wird nun vollständig abgeschaltet.</p> <p>Nach Angaben der Trafishersteller soll ein Wechselintervall von 2 Monaten eingehalten werden, um unerwünschte Kondenswasserbildung im Trafo zu vermeiden.</p> <p>Durch die Abschaltung der redundanten Transformatoren wird von einer Energieeinsparung von ca. 110.000 kWh/a ausgegangen. Es sind für diese Maßnahme keine Investitionskosten erforderlich.</p>		
Realisierung seit	Mit der Maßnahme wurde noch nicht begonnen.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.8 Austausch des vorhandenen Schraubenkompressors gegen ein Drehkolbengebläse für die Sandentnahme mittels Mammutpumpe

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	Für die Sandentnahme mittels Mammutpumpe war ein Schraubenkompressor installiert, der die Luft auf ca. 5 bar verdichtet hat. Für die Mammutpumpe war ein Druck von ca. 1 bar ausreichend, um die Sandentnahme zu realisieren. Daher wurde anstatt des Schraubenkompressors ein Drehkolbengebläse mit einer erheblich geringeren elektrischen Leistung eingebaut.		
Realisierung seit	Inbetriebnahme März 2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Im Jahr 2008 konnten durch das neue Drehkolbengebläse bereits 284.303 kWh im Vergleich zu 2007 eingespart werden.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben		
Einschätzung und Bemerkungen			

20.9 Austausch der vorhandenen Zentrifugen gegen Siebbandeindicker für die Überschussschlammeindickung

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	Die vorhandenen 4 Zentrifugen für die Eindickung des Überschussschlammes aus der B-Stufe werden gegen 4 Siebbandeindicker ausgetauscht.		
Realisierung seit	Inbetriebnahme erstes Siebband seit April 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die ersten Leistungstests mit dem neuen Siebbandeindicker haben ergeben, dass die geforderten bzw. vertraglich festgelegten Stromverbräuche eingehalten werden. Es wird nach Inbetriebnahme der 4 Siebbandeindicker mit einer Stromeinsparung von ca. 2,0 Mio kWh/a gerechnet.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen	Für den Austausch der Zentrifugen gegen Siebbandeindicker kann nicht nur die Energieeinsparung als einziges Argument herangezogen werden. Vielmehr muss eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgen, die die Kapitalkosten, den Polymerverbrauch, die Wartungs- und Instandhaltungskosten, Klärschlamm Entsorgungskosten sowie die Anlagenverfügbarkeit betrachtet.		

20.10 Austausch der vorhandenen Überschussschlammumpfen mit Anpassung der Förderhöhe

Adresse:	Großklärwerk Köln-Stammheim, Egonstr. 9 51061 Köln	Ansprechpartner/in:	Frau Dr.-Ing. Fruhen-Hornig Herr Dipl.-Ing. Klein
Projektbeschreibung:	<p>In der detaillierten Energieanalyse (20.2) ist aufgefallen, dass die spezifischen Energieverbräuche der Überschussschlammumpfen (B-Stufe) zu hoch waren. Aus den Planungsdaten konnte ermittelt werden, dass die vorhandenen 5 Überschussschlammumpfen so konzipiert waren, dass der Überschussschlamm der B-Stufe zu den Überschussschlammzentrifugen und zum Voreindicker gepumpt werden konnte. Diese beiden Eindickmöglichkeiten bedingen jedoch unterschiedliche Förderhöhen der Pumpen. Um beide Beschickungsmöglichkeiten zu realisieren, sind die Pumpen auf die höchste Förderhöhe (Voreindicker) ausgelegt worden.</p> <p>Es hat sich herausgestellt, dass die Beschickung der Voreindicker verfahrenstechnisch nicht benötigt wird. Daraufhin wurden die vorhandenen Pumpen mit Verstellgetriebe gegen neue Pumpen mit angepasster Förderhöhe und FU-Antrieb ausgetauscht.</p>		
Realisierung seit	Inbetriebnahme der Pumpen im Dezember 2008		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Der spezifische Energieverbrauch für die Überschussschlammumpfen konnte von 89 W/m ³ ÜS-Schlamm auf 23 W/m ³ ÜS-Schlamm reduziert werden. Der spezifische Wert liegt somit noch unter dem in der Energieanalyse ermittelten Zielwert von 27 W/m ³ ÜS-Schlamm. Es wird eine Jahreseinsparung von 71.000 kWh/a erwartet.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Übertragbarkeit ist gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen			

21.1 Vermeidung des Neubau eines zusätzlichen Faulbehälters durch enzymatischen Aufschluss der Überschussschlammzellen durch Ultraschalldesintegration im Faulturm


Adresse:	Entsorgungs- und Baubetrieb Bamberg Rheinstraße 4 96052 Bamberg	Ansprechpartner/in:	Herr Hans-Joachim Wolff
Projektbeschreibung:	<p>Die Kläranlage der Stadt Bamberg von 1958 wurde 1988 bis 1992 für das UCT-Verfahren umgebaut und auf 220.000 EW erweitert. Ab dem Jahr 1997 wurde eine kontinuierliche Steigerung der Auslastung beobachtet, die in den letzten vier Jahren beim:</p> <p>CSB 325.00 bis 370.000 EW, BSB₅ 330.000 bis 350.00 EW, N_{ges} 245.000 bis 275.000 EW, P_{ges} 330.000 bis 400.000 EW betrug.</p> <p>Dadurch gelangt eine immer größere Fracht zur Kläranlage, welche wiederum einen erhöhten Roh- und Überschussschlammabzug nach sich zieht.</p> <p>Durch die gestiegenen Schlammengen ging die Verweilzeit in den Faultürmen auf 18 bis 22 Tage zurück, was gerade im Hinblick auf den hohen Überschussschlammanteil sehr negativ für die Gasproduktionsrate ist.</p> <p>Um bei dieser kurzen Verweilzeit in den Faultürmen einen guten Stabilisierungsgrad und Gasproduktionsrate zu erreichen, wurden verschiedene Verfahren untersucht, mit dem Ziel den Neubau eines Faulturmes zu vermeiden. Sehr schnell gelangten die Entscheidungsträger zu der Überzeugung, dass dies, mit der notwendigen Betriebssicherheit, nur eine Ultraschalldesintegration sein kann. Der enzymatische Aufschluss der Überschussschlammzellen im Faulturm wird durch eine Ultraschallquelle über Kavitation erreicht. Die gleiche Gasmenge, die sonst in 25 Tagen produziert wird, steht schon nach 13 bis 15 Tagen zur Verfügung</p>		
Realisierung seit	Juli 2004		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Ergebnisse</p> <p>Die zugesicherten Werte der Anlagenbauer konnten von ihren Maschinen eingehalten werden, ob jedoch die TS- und OTS-Abbauleistung und die Gasausbeute einer Veränderung unterlagen, wurde mit einem Messprogramm vor, in und nach der Faulung untersucht. Als Referenzzeitraum dienten die Monate von Februar 2003 bis Juli 2004, dem wurde die Betriebsphase von August 2004 bis Juni 2007 gegenüber gestellt. Die Desintegration arbeitet seit Ende Juli 2004.</p> <p>Für die Berechnung der abgebauten Schlammengen wurde der Input mit dem Output eines Monats verglichen.</p> <p>Im Referenzzeitraum sind die starken Schwankungen in der Abbauleistung in der Faulung durch starke Schwankungen bei der Überschussschlammmenge zu erklären. Einbrüche bei der Abbauleistung laufen parallel zu großen Überschussschlammengen. Der Anteil des Überschussschlammes an der gesamten Schlammmenge betrug zwischen 44 % bis 69 %. Der Mittelwert für den oTR-Abbau betrug 35 %, der vom TR-Abbau 19 %. Die Verweilzeit im Faulturm betrug 18,2 bis 24,7 Tagen, im Mittel 20,1 Tage.</p> <p>In der Betriebsphase der Sonotroden fallen die Schwankungen bei der Abbauleistung nicht mehr so stark auf, der oTR-Abbau verbesserte sich und pendelt nun um ca. 54 %. Der Mittelwert für den TR-Abbau liegt jetzt bei 37 %. Es liegt kein Zusammenhang mehr zwischen der Abbauleistung und der abgezogenen Menge an Überschussschlamm vor. Der Anteil des Überschussschlammes an der gesamten Schlammmenge betrug zwischen 32 % bis 63 %. Die Verweilzeit im Faulturm stieg, durch die Eindickung des Überschussschlammes, auf 17 bis 28 Tagen an, im Mittel 22 Tage.</p> <p>Dieser Anstieg der Abbauleistung findet sich auch als Erhöhung bei der Gasproduktion wieder. Der Mittelwert stieg von 130.030 m³/Monat Gas (Referenzzeit) auf 159.200 m³ im Monatsdurchschnitt (Dezember 2006 bis Juni 2007) an, die Steigerung lag somit bei 22 %. Die mittlere Methankonzentration stieg parallel dazu auch noch von 61 % auf 70 % an. Diese beiden Effekte erbrachten zusammen einen Anstieg des Heizwertes von 830.749 kW/Monat auf 1.170.000 kW/Monat. Der Heizwert</p>		

	<p>stieg um 41 % an, obwohl die mittlere Verweilzeit in der Faulung nur von 20,1 Tage auf 22 Tage anstieg. Die Temperaturen in der Faulung lagen in den verglichenen Zeiträumen im gleichen Bereich zwischen 39 °C und 40 °C. Im November 2004 kam es jedoch zu einer Störung in der Heizanlage, die Temperatur sank um 4 °C ab. Die Gasproduktion und auch der Heizwert ging im November 2004 entsprechend zurück.</p> <p>Im Referenzzeitraum erreichte die monatliche Stromproduktion einen Durchschnittswert von 259.000 kWh. Nach einer Generalüberholung (E6) der großen Gasmachine in November 2006 stieg die Stromproduktion sprunghaft auf 324.000 kWh/Monat an (bis April 2007), oder 25 % mehr gegenüber dem Referenzzeitraum. Das Schäumen der Faultürme von Ende Mai bis Mitte Juli 2007 führte zu einem Einbruch der Stromproduktion.</p> <p>Die Gasproduktion in der ersten Faulstufe, 5.000 von ges. 7.000 m³, hat sich sehr stark gesteigert. Sie lag im Referenzzeitraum um 70 % und beträgt nun um die 84 %, obwohl die Aufenthaltszeit in der ersten Faulstufe nur leicht von 15 auf 15,9 Tage angestiegen ist. Im Ablauf der ersten Faulstufe betragen die organischen Säuren nur noch unter 100 mg/l.</p> <p>Die CH₄- Onlinemessung musste ersetzt werden und ging erst im Januar 2007 wieder in Betrieb. Es wurden während der Ausfallzeit zwei Laborwerte ermittelt.</p> <p>Resümee</p> <p>Die Verweilzeit im Faulturm stieg, durch die Überschussschlammindickung, leicht um 1,9 Tage an. Die Beschickung der Faultürme ist leicht von 10.100 m³/Monat auf 9.700 m³/Monat gesunken. Ein Flockungshilfsmittel an der Zentrifuge wird nicht zugegeben, der schwankende TS im Austrag von 50-65 g/l wird in Kauf genommen.</p> <p>Der Überschussanteil an der gesamten Schlammmenge ging im Mittel von 50 % auf 42 % zurück. Die Ursache für diesen Rückgang könnte in der Nutzung des desintegrierten Überschussschlammes als Kohlenstoffquelle liegen.</p> <p>Es wurde ein kontinuierlicher Anstieg beim Methangehalt im Klärgas von 59 % – 61 % auf 69 % – 71 % beobachtet. Es hat wahrscheinlich eine langfristige Adaption der Biozönose an das veränderte Substrat stattgefunden. Die Klärgasmenge stieg um 29.000 m³/Monat an.</p> <p>Der Heizwert stieg, trotz nur minimalen Änderungen an den Rahmenbedingungen, wenn man die Desintegration außer Acht lässt, um 40 % an.</p> <p>Die Stromproduktion konnte nicht parallel zum Anstieg des Heizwertes gesteigert werden und erreicht nur ein Plus von 25 %. Die Ursache könnte eine Verschlechterung des Wirkungsgrades der BHKW's sein, bedingt durch den Anstieg der Betriebsstunden, und/oder durch den Messfehler bei den Gasmengenmessungen von +/- 6 % verursacht sein. Die genauere Messung ist die Strommenge. Für die nächsten zwei/drei Jahre ist ein Austausch der Gasmachines vorgesehen. Die Kläranlage kann durch die Stromeigenproduktion ca. 72 % bis 80 % des Strombedarfs decken.</p> <p>Nach nunmehr 33 Betriebsmonaten der Desintegration kann nur von einem parallelen Betrieb der Sonotrodenmodulen abgeraten werden. Der Aufwand in der Mess- und Steuertechnik, sowie bei den Armaturen ist enorm. Sollten mehrere Sonotrodenmodule notwendig sein, ist eine Reihenschaltung zu bevorzugen.</p> <p>Die gezielte Zugabe von Überschussschlamm in die Vorklärung hat sich bewährt. Der TS im Rohschlamm hat sich bei 40 bis 50 g/l eingependelt.</p> <p>Eine Verbesserung bei der biologischen Phosphatelimination hat sich nicht bestätigt.</p> <p>Diese Ergebnisse sprechen für eine Überschussschlammesintegration. Das Ziel, den Bau eines vierten Faulturm vermeiden zu können, ist erreicht worden. Eine, im Vergleich zu anderen Kläranlagen, durchschnittliche Gasproduktion wäre sogar nur mit der ersten Faulstufe möglich. Die Gasmenge würde dann um ca. 16 % zurück gehen.</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

21.2 Einsatz der Desintegration als Kohlenstoffquelle

Adresse:	Entsorgungs- und Baubetrieb Bamberg Rheinstraße 4 96052 Bamberg	Ansprechpartner/in:	Herr Hans-Joachim Wolff
Projektbeschreibung:	<p>Im Zuge der Durchführung von 21.1:</p> <p>Wie die meisten anderen Kläranlagen auch, so kommt es auch in Bamberg am Wochenende zu einem starken Rückgang der Kohlenstofffracht, was wiederum zu einer schlechteren Denitrifikationsleistung führt. Die Planung der Schlamm-desintegration sollte eine Option vorsehen, dass desintegrierter Überschussschlamm bei Bedarf in den Zulauf zur Biologie zugegeben werden kann. Durch diese Maßnahme soll das Kohlenstoffdefizit beseitigt, bzw. abgemildert werden. Ob ein Bedarf besteht, wird durch eine UV-Sonde im Zulauf Belebung festgestellt. Sinkt die CSB-Fracht unter 135 g/s gelangt der desintegrierte Schlamm nicht mehr in die Faultürme, sondern in die Belebung.</p>		
Realisierung seit	Juli 2004		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	<p>Die Denitrifikation konnte erheblich verbessert werden. Die Reinigungsleistung stieg von 86,4 % (2004) auf 90,9 % (2005) an, obwohl die Zulauffracht um 6 % zunahm. Die Reduzierung im Jahr 2006 auf wieder 86 % ist durch eine Änderung in der Sollwertvorgabe CSB im Zulauf der Biologie zu erklären.</p> <p>2005 ging der desintegrierte Schlamm in die Biologie, wenn im Zulauf der Biologie weniger als 135 g/s CSB-Fracht vorhanden waren. Im Jahr 2006 wurde der Sollwert auf 100 g/s geändert. Die Denitrifikation wurde wieder schlechter und die Gasausbeute stieg an. Zurzeit beträgt der Sollwert 115 g/s, um ein Optimum zwischen Denitrifikation und Gaserzeugung zu finden.</p> <p>Im Jahr 2006 ist noch zu berücksichtigen, dass im März für 14 Tage die Zulauftemperatur unter 5 °C betrug und nur noch eine eingeschränkte Nitrifikation (kleiner 50 %) möglich war.</p> <p>Der Einsatz von desintegriertem Überschussschlamm als Kohlenstoffquelle zu Schwachlastzeiten hat sich bewährt. Den Bescheidswert von 13 mg/l N_{org.} einzuhalten bereitete keine Schwierigkeiten, wohl aber den niedriger erklärten Wert von 10,4 mg/l. Hier kam es immer wieder zu Überschreitungen, die eine erhöhte Zahlung bei der Abwasserabgabe nach sich zog. Ab dem dritten Quartal 2007 beträgt der erklärte Wert nur noch 8,5 mg/l, die Messwerte liegen zwischen 4,5 mg/l bis 7,5 mg/l.</p> <p>Bezogen auf den Abbau von 1992 (= 0 %) konnte die Abbauleistung um im Mittel 220 % gesteigert werden. Der Stromverbrauch für die Belüftungseinrichtungen stieg dabei nur um ca. 5 % an.</p>		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

22.0 Einsatz einer ausschließlich mit Klärgas betriebenen Brennstoffzelle im Klärwerk Stuttgart-Möhringen

Adresse:	Landeshauptstadt Stuttgart, Tiefbauamt, Stadtentwässerung, Abtl. Klärwerke und Kanal- betrieb Schloßstr. 64A 70176 Stuttgart harmut.klein@stuttgart.de; www.stuttgart- stadtentwaesserung.de	Ansprechpartner/in:	Stadtbaudirektor Hartmut Klein, Leiter der Abteilung Klärwerke und Kanalbetrieb bei der Stadt- entwässerung Stuttgart
Projektbeschreibung:	<p>Der Einsatz der Brennstoffzelle ist ein auf zwei Jahre ausgelegtes Forschungsprojekt. Ziel ist es, die bisher für Erdgasbetrieb entwickelte Hochtemperaturbrennstoffzelle für die Verwendung von Klärgas weiter zu optimieren und in der Praxis zu erproben. Sie wird europaweit erstmals direkt und ausschließlich mit Klärgas betrieben. Weiterhin soll die elektrische Leistung erstmalig auf bis zu 280 kW_{el} gesteigert werden. Die Brennstoffzelle versorgt sich dabei aus einem 1 500 m³ fassenden Gasspeicher der Schlammfaulungsanlage. Der Systemdruck des klärwerkseigenen Gassystems liegt bei ca. 34 mbar. Über eine Gasdruckerhöhungsanlage muss der Gasdruck vor der Gasreinigung und nachgeschalteter Brennstoffzelle auf 800 mbar erhöht werden. Der Einsatz des Klärgases setzt eine hohe Gasreinheit voraus. Diese Reinheit wird mit einer 2-stufigen Gasreinigungsanlage erreicht.</p> <p>Der erzeugte Strom „verlässt“ das Klärwerk nicht, sondern wird physikalisch in das Netz des Klärwerks eingespeist. Jedoch wird dieser als fiktive Stromlieferung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) durch das Energieversorgungsunternehmen EnBW vergütet.</p> <p>Die erzeugte Wärmemenge, die in einer maximalen Größenordnung von ca. 180 kW_{th} aus dem Prozess ausgeschleust werden kann, wird über eine hydraulische Weiche in den Heizkreislauf des Klärwerks eingespeist.</p>		
			
	<p>Brennstoffzelle im Klärwerk Stuttgart-Möhringen</p>		
Realisierung seit	Seit November 2007 produziert die Anlage Strom und Wärme. Das Forschungsvorhaben hat eine Laufzeit von 2 Jahren.		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die Anlage läuft im stabilen Dauerbetrieb. Bis Anfang Februar 2009 sind rund 8.000 Betriebsstunden aufgelaufen. Im Jahr 2008 wurden 1.009.724 kWh produziert. Der mittlere elektrische Wirkungsgrad liegt bei 45 % und die spezifische Leistung bei 2,67 kWh _{el} /m ³ Klärgas.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Die wissenschaftliche Begleitung erfolgt durch zwei Institute der Universität Stuttgart. Die Stadtentwässerung wird nach Abschluss des Forschungsvorhabens einen Bericht veröffentlichen. Eine Studie zur Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt im Klärwerk Stuttgart-Möhringen auf Kläranlagen in Baden-Württemberg ist in Auftrag gegeben.		
Einschätzung und Bemerkungen	Weiterer Forschungsbedarf zur Nutzung des Klärgases in Hochtemperaturbrennstoffzellen ist notwendig. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Klärgasreinigung zu legen.		

23.0 Energieoptimierte Durchmischung von dem AN-Becken

Adresse:	Verbandskläranlage Neuried-Schutterwald Vieweiderweg 77743 Neuried Tel: 07807 1600 Email: KKA-N-S@t-online.de	Ansprechpartner/in:	Günther Roth Herr Strosack Email: VKA-n-s@t-online.de
Projektbeschreibung:	Ein Rührwerk (Schnellläufer) im AN-Becken war defekt. Die Kosten der Reparatur überschritten den Neupreis. Überlegung der Energieeinsparung durch den Einsatz von langsam laufenden Rührwerken. Einholung von Angeboten mit Energieberechnung und Garantie der Volldurchmischung des Beckens sowie Probetrieb für ein Jahr. Die beiden Schnellläufer werden ausgebaut und ein Langsamläufer eingebaut.		
Realisierung seit	Juli 2007		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Volldurchmischung und Ablagerungsfreiheit ist gewährleistet Stromverbrauch hat sich um etwa 70 % reduziert Die Kosten der Umstellung gleichen sich nach 2 Jahren aus Geringere Unterhaltungskosten, da nur ein Stück		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Anwendbar bei Dauerbetrieb von Rührwerken in Becken mit geringem TS. Strömungsberechnungen und Einbauart sollten mit dem Rührwerkhersteller besprochen werden.		
Einschätzung und Bemerkungen	Auf Grund der ständig steigenden Energiekosten sind solche Einsparpotentiale durch einfache Umbaumaßnahmen effektiv nutzbar.		

24.0 Einsatz einer Dampfturbine beim Wirbelschichtofen 3 im Hauptklärwerk Stuttgart – Mühlhausen

Adresse:	Landeshauptstadt Stuttgart Tiefbauamt, Stadtentwässerung Abtl. Klärwerke und Kanalbetrieb Schloßstr 64 A 70176 Stuttgart harmut.klein@stuttgart.de www.stuttgart-stadtentwaesserung.de	Ansprechpartner/in:	Stadtbaudirektor Hartmut Klein, Leiter der Abteilung Klärwerke und Kanalbetrieb bei der Stadtentwässerung Stuttgart																								
Projektbeschreibung:	<p>Der seit Januar 2007 eingesetzte Wirbelschichtofen 3 verfügt über ein zusätzliches Dampf-Kondensat-System.</p> <p>Der im Kessel erzeugte Frischdampf der 64 bar Schiene wird auf eine Gegendruckturbine geleitet. Die dabei entstehende mechanische Energie wird mittels eines Generators in Strom umgewandelt. Der Frischdampf wird nicht komplett entspannt, sondern bei einem Gegendruck von 4 bis 1,5 bar an die Schlamm-trocknung weitergeleitet. Dadurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad der Dampfturbine. Im unteren Druckbereich ist der Wirkungsgrad recht gering, so dass es sinnvoller ist, mit der noch vorhandenen Wärme die Schlamm-trocknung zu betreiben.</p> <p>Technische Daten:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Dampfdruck im Betrieb:</td> <td style="width: 30%;">Frischdampf</td> <td style="width: 30%;">Abdampf</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Hochdruck</td> <td>Niederdruck</td> </tr> <tr> <td></td> <td>62 bar</td> <td>4 bis 1,5 bar</td> </tr> <tr> <td>Dampf-temperatur im Betrieb:</td> <td>410 °C</td> <td>160 bis 135 °C</td> </tr> <tr> <td>Dampfverbrauch:</td> <td>10.700 kg/h</td> <td>8.280 kg/h</td> </tr> <tr> <td>Spez. Dampfverbrauch:</td> <td>9,3 kg/kWh_{el}</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Klemmenleistung:</td> <td>1050 kW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Generatorspannung</td> <td>690 V</td> <td></td> </tr> </table>			Dampfdruck im Betrieb:	Frischdampf	Abdampf		Hochdruck	Niederdruck		62 bar	4 bis 1,5 bar	Dampf-temperatur im Betrieb:	410 °C	160 bis 135 °C	Dampfverbrauch:	10.700 kg/h	8.280 kg/h	Spez. Dampfverbrauch:	9,3 kg/kWh _{el}		Klemmenleistung:	1050 kW		Generatorspannung	690 V	
Dampfdruck im Betrieb:	Frischdampf	Abdampf																									
	Hochdruck	Niederdruck																									
	62 bar	4 bis 1,5 bar																									
Dampf-temperatur im Betrieb:	410 °C	160 bis 135 °C																									
Dampfverbrauch:	10.700 kg/h	8.280 kg/h																									
Spez. Dampfverbrauch:	9,3 kg/kWh _{el}																										
Klemmenleistung:	1050 kW																										
Generatorspannung	690 V																										
																											
	Dampfturbine im Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen																										
Realisierung seit	seit Mai 2007 produziert die Anlage Strom																										

Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft

Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Die Anlage läuft im stabilen Dauerbetrieb. Im Jahr 2008 wurden 4.881.000 kWh produziert, was einem Anteil von 12,1 % am Gesamtanlagenverbrauch im Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen entspricht.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Die mit der Anlage gewonnene Strommenge reicht aus, um langfristig den Eigenbedarf der Klärschlammverbrennungslinie 3 zu decken.		
Einschätzung und Bemerkungen	In Zusammenhang mit der Entstehung von Heißdampf ist dieses Anlagenkonzept wirtschaftlich		

25.1 Energieoptimierung und Schlammreduktion durch (pat.) selektiven Hydrolyseprozess unter Einsatz von (pat.) Schlammwärmetauschern

Adresse:	Eurotec Hydrolyse Gunnar Clausensvej 11 DK-8260 Viby J www.eurotec.dk	Ansprechpartner/in:	Hr. Preben Jensen Hr. Werner Ernst
Projektbeschreibung:	Die einfache Anhebung des Schlammtemperaturniveaus (>75 °C) führt bei nachfolgender Verweilzeit des Schlammes auf diesem Temperaturniveau zu einer Nachausfäulung des Schlammes und damit zur Mineralisierung (und damit einhergehender Energiegewinnung) – mit typisch 45 % (normal zwischen 35 % und 65 %) höherer Energieproduktion – ohne Einsatz von zusätzlichen Chemikalien o.ä. Fremdstoffen! (d.h. nur unter Verwendung der patentierten WT sowie eines extra Schlammzwischenlagers).		
Realisierung seit	2006		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	Mineralisierungsgrad > 80 % erreicht bei Vollskalaversuchen – (Akkreditierte) Forschungsergebnisse/berichte zugänglich. Anlagen im Betrieb in DK.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Generelle Gültigkeit der Ergebnisse der Versuchsanlagen		
Einschätzung und Bemerkungen	Sehr hohe Ausbeute sowohl bez. Energieproduktion als auch bez. Schlammreduktion		

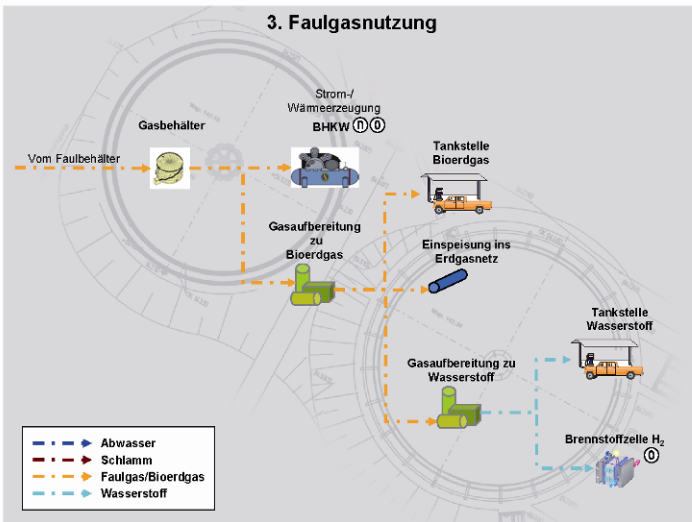
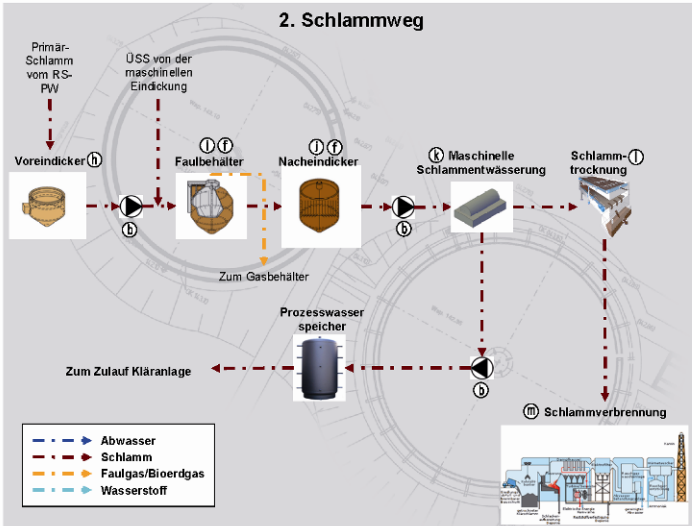
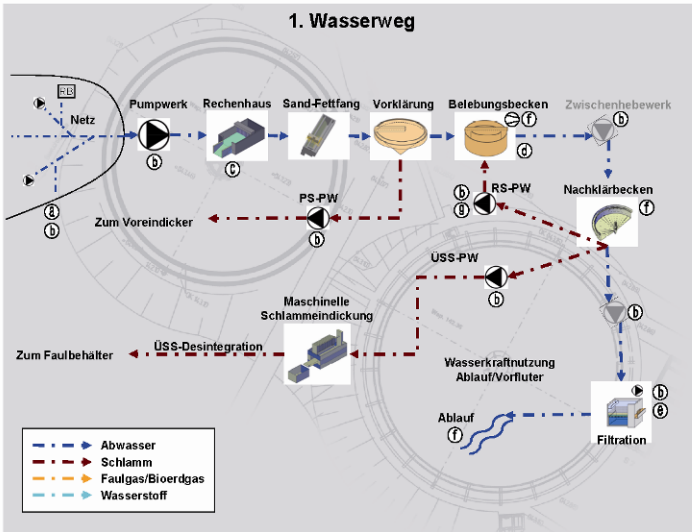
25.2 Energieoptimierung durch Wärmerückgewinnung unter Einsatz von (pat.) Schlammwärmetauschern

Adresse:	Eurotec Hydrolyse Gunnar Clausensvej 11 DK-8260 Viby J www.eurotec.dk	Ansprechpartner/in:	Hr. Preben Jensen Hr. Werner Ernst
Projektbeschreibung:	Die im Faulschlamm enthaltene Wärmeenergie wird unter Einsatz unserer patentierten Schlammwärmetauscher gegen den Frischschlamm gewechselt und dessen Temperatur damit – ohne wesentlichen externen Wärmebeitrag – auf Betriebstemperatur angehoben.		
Realisierung seit	2005		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf	System durchprobt und Wärmetauscherprinzip patentiert, Berechnungsprogramm (Druckverluste und therm. Kapazität, u.a. in Abhängigkeit vom TS-%) erstellt und verifiziert.		
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit	Generelle Gültigkeit der Ergebnisse der Versuchsanlagen		
Einschätzung und Bemerkungen	Sehr hohe Ausbeute sowohl bez. Energieproduktion als auch bez. Schlammreduktion		

26.0 Projekt Klärschlamm-trocknung und Waldholznutzung

Adresse:	Klärschlammverwertung Albstadt GmbH Am Markt 2 72461 Albstadt	Ansprechpartner/in:	Geschäftsführer Bernd-Michael Abt Email: bernd-michael.abt@albstadt.de Tel.: 07431/160-3600
Projektbeschreibung:	<p>Das Vorhaben stellt einen alternativen und innovativen Lösungsansatz zur Klärschlammbehandlung dar. Kernpunkt ist die Trocknung des Klärschlamms direkt an der Kläranlage Albstadt-Ebingen mit Niedertemperatur-Abwärme aus einem holzgefeuerten Biomasse-Heizkraftwerk. Der getrocknete Klärschlamm lässt sich einfach und umweltfreundlich transportieren und ist für die Verwerter ein willkommenes und CO₂-neutrales Brennstoffsubstitut mit hohem Heizwert. Eine Schadstoffanreicherung in Böden bei landwirtschaftlicher Klärschlammausbringung wird vermieden und die CO₂-Entlastung liegt insgesamt bei bis zu 6.000 Tonnen CO₂ pro Jahr.</p> <div data-bbox="480 689 1394 1301" style="border: 1px solid gray; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Projektansatz</p> <p style="text-align: center;">Klärschlammverwertung Albstadt GmbH</p> <p>Das Diagramm zeigt den Prozess der Klärschlamm-trocknung und Waldholznutzung. Es beginnt mit der Gewinnung von Biomasse aus heimischer Biomasse (Holzhack-schnitzel) und Durchforstungsholz (Hacker). Diese Biomasse wird in einem Biomasse-Heizkraftwerk (BHKW) verbrannt, um Strom und Wärme zu erzeugen. Die Wärme wird zur Klärschlamm-trocknung genutzt. Die Klärschlamm-trocknung liefert einen CO₂-neutralen Ersatzbrennstoff für ein Zementwerk (Drehrohfen). Die Biomasse-Heizkraftwerk liefert Strom und Wärme. Die Klärschlamm-trocknung liefert Strom und Wärme. Die Klärschlamm-trocknung liefert einen CO₂-neutralen Ersatzbrennstoff für ein Zementwerk (Drehrohfen). Die Biomasse-Heizkraftwerk liefert Strom und Wärme. Die Klärschlamm-trocknung liefert einen CO₂-neutralen Ersatzbrennstoff für ein Zementwerk (Drehrohfen).</p> </div>		
Realisierung seit	Bewilligungsbescheide Bund und Land in 12/2008 auf der Grundlage einer Projektstudie. Seit 2009 konkrete Planungs- und Konzeptionsphase, Baubeginn vorauss. Herbst 2009		
Ergebnisse/weiterer Forschungsbedarf			
Kategorisierung nach DWA	<input type="checkbox"/> Quellen	<input type="checkbox"/> Bedarf	<input checked="" type="checkbox"/> Effizienz
Bewertung und Übertragbarkeit			
Einschätzung und Bemerkungen			

Anhang 5 Schematische Darstellung – Optimierung Kläranlage



- a) **Kanalnetz**
 Speicherbewirtschaftung (Spitzenausgleich)
 Fremdwasserreduzierung
 Abwassermengenmessung prüfen und gegebenenfalls kalibrieren
- b) **Pumpwerk**
 Wirkungsgrad prüfen
 Ablagerungsfreie Einstaumöglichkeiten
 Regelung und Stufung der Pumpenleistung
- c) **Abluftbehandlung (z.B. Rechenhaus)**
 Abluftabsaugung nach Bedarf steuern
 Biofilter auflockern
 Wascher reinigen
 Ventilatoren gesteuert nach Ex-Warngerät
 Behandlungsstufen belastungsabhängig
- d) **Belebungsbecken**
 Eichung Sauerstoffsonden
 Prüfung der Sauerstoffgehalte
 Verdichtewirkungsgrad prüfen
 EFF1-Motoren statt EFF2 oder EFF3 bei notwendigem Motoraustausch
 Sauerstoffeintragsregelung nach NH4/NO3
 TS-Anpassung an effektive Belastung und Jahreszeit
 Vorgeschalte Denitrifikation
 Rührungsenergie minimieren durch Steuerung
 Belüfterzahl prüfen
 Rezirkulation bedarfsgerecht nach NO3 regeln
 Aerobe Schlammstabilisierung auf Wirtschaftlichkeit prüfen
- e) **Filtration**
 Filter nach Belastung außer Betrieb nehmen
 Bedarfsgerechte Spülung möglichst nachts
- f) **Wärmepumpe**
- g) **Rücklaufschlammumpwerk**
 Steuerung nach Zulaufmenge
 Zulaufniveau möglichst hoch
 Ablaufhöhe minimal
 Pumpenwirkungsgrad prüfen
 Rohrleitungsdimension auf Verluste prüfen
- h) **Voreindicker**
 Krälwerk intermittierend
 Schlammabzug nach TS-Grenzwerte steuern
 Trübwasserabzug automatisiert TS-gesteuert
- i) **Faulbehälter**
 Umwälzung intermittierend
 US maschinell eindicken
 innenliegende Umwälzung Faulbehälter
 Co-Vergärung
 Desintegration
- j) **Nacheindicker**
 Krälwerk intermittierend
 Schlammabzug nach TS-Grenzwerte steuern
 Trübwasserabzug automatisiert TS-gesteuert
- k) **maschinelle Schlammwässerung**
 Entwässerung nachts, Niedertarif
 EFF1-Motoren statt EFF2 oder EFF3 bei notwendigem Motoraustausch
- l) **Abwärmenutzung**
 solare Trocknung
- m) **energetische Nutzung**
 Turbine/Abwärme
- n) **BHKW**
 Wirkungsgrade elektrisch und thermisch prüfen
 Auslegung prüfen
 Wirtschaftlichkeit Brennstoffzellen vergleichen mit Wirtschaftlichkeit BHKW
 vollständige Wärmenutzung prüfen (Abgaswärmetauscher mit Umgehung)
- o) **H2-Brennstoffzelle**
 Wirtschaftlichkeit verschiedener Brennstoffzellen vergleichen
 vollständige Wärmenutzung prüfen
 Fernwärmenetzeinspeisung

Die Potenziale der deutschen Wasserwirtschaft hinsichtlich einer nachhaltigen Energiegewinnung spielen bei der derzeitigen Debatte über Klimawandel und Versorgungssicherheit eine wichtige Rolle. Die Wasserwirtschaft ist einerseits Energieverbraucher, leistet andererseits aber auch einen Beitrag zur regenerativen Energiegewinnung z. B. durch Wasserkraft oder energetische Nutzung von Klärschlamm.

Diese Potenziale waren aber bislang nicht systematisch untersucht. Aus diesem Grund hat die DWA, finanziell unterstützt durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), eine Studie erarbeitet, in welcher der Beitrag der Wasserwirtschaft, in den Bereichen Energieeinsparung, Erhöhung der Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien mit dem Schwerpunkt Abwasser, in all seinen Facetten untersucht worden ist.

Die Ergebnisse sind praxistauglich aufbereitet und anhand von Beispielen, die Multiplikatoraspekte beinhalten, für die Fachwelt in diesem Themenband zusammengefasst.

Das von der DBU geförderte Projekt wurde in drei Stufen durchgeführt:

- Stufe I: Ermittlung des Status Quo und möglicher Potenziale basierend auf einer Literaturstudie
- Stufe II: Überprüfung der in Stufe I ermittelten Daten am Beispiel der Abwasserbehandlung
- Stufe III: Ermittlung innovativer und verallgemeinerbarer Beispielprojekte zum ressourcenschonenden und nachhaltigen Umgang mit Energie in der Abwasserbehandlung.

Die Ergebnisse des Projektes „Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft“ zeigen, dass die Wasserwirtschaft einen nachhaltigen Beitrag zur Energieversorgung leistet und wesentliche Ausbauoptionen bestehen.

Der vorliegende Themenband enthält eine Fülle von Daten, Zahlen und weiteren Informationen. Fachwelt, Politik und Öffentlichkeit sind eingeladen, die Energiepotenziale der Wasserwirtschaft, besonders durch innovative Ansätze, wahrzunehmen und zur Realisierung einzelner Möglichkeiten und damit zum nachhaltigen und ressourcenschonenden Umgang mit Energie beizutragen.



ISBN: 978-3-940173-91-1

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de