



Aktenzeichen IV-7 – 042 600 003 A

Analyse der Energieeinspar- und Energieoptimierungspotenziale in der industriellen Abwasserreinigung (EnerIndus)

KURZBERICHT

Im Auftrag von:

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Projektleitung:



Projektpartner:





Aktenzeichen IV-7 – 042 600 003 A

Analyse der Energieeinspar- und Energieoptimierungspotenziale in der industriellen Abwasserreinigung (EnerIndus)

KURZBERICHT

Aachen, im Dezember 2011
FiW an der RWTH Aachen

Hannover, im Dezember 2011
aqua consult

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Dipl.-Ing. Roland Lange



Analyse der Energieeinspar- und Energieoptimierungspotenziale in der industriellen Abwasserbeseitigung (EnerIndus)

Kurzbericht Dezember 2011

Projektleitung:

aqua-consult Ingenieur GmbH
Mengendamm 16
D-30177 Hannover

Projektpartner:

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
Kackertstraße 15-17
D-52056 Aachen

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH)
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
D-30167 Hannover

Autoren:

Florian Schmidlein	aqua-consult Ingenieur GmbH
Roland Lange	aqua-consult Ingenieur GmbH
Linda Hinken	ISAH, Leibniz Universität Hannover
Sebastian Meier	ISAH, Leibniz Universität Hannover
Dirk Weichgrebe	ISAH, Leibniz Universität Hannover
Karl-Heinz Rosenwinkel	ISAH, Leibniz Universität Hannover

1 Einführung und Zielsetzung

In kommunalen Kläranlagen wird ein erheblicher Anteil (etwa 1/3) des Energiebedarfs durch Einleitungen von Indirekteinleitern aus der Industrie verursacht. Darüber hinaus ist der Energiebedarf auf den industriellen Kläranlagen selbst bei der Abwasservorbehandlung erheblich. Eine Vielzahl der existierenden industriellen Abwasserbehandlungsanlagen ist vor Jahren errichtet worden und wurde nur dann optimiert, wenn Probleme in der Anlage auftraten. Eine erneute Bewertung dieser Anlagen sowie eine verfahrenstechnische und energetische Optimierung können zu erheblichen Energieeinsparungen führen.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, für ausgewählte Industriebranchen Nordrhein-Westfalens vorhandene Energieeinspar- und -erzeugungspotenziale, die sich beispielsweise durch eine Umstellung bzw. Optimierung der vorhandenen Reinigungsverfahren realisieren lassen, zu ermitteln.

Besonders große Potenziale zur Energieeinsparung werden dabei im verstärkten Einsatz anaerober Verfahrenstechniken gesehen. Durch die anaerobe Vorbehandlung geeigneter Produktionsabwässer lässt sich der insgesamt benötigte Energiebedarf der biologischen Abwasserbehandlung deutlich reduzieren. In Ergänzung zu der dadurch eingesparten Belüftungsenergie für die Aerobstufe wird energetisch nutzbares Biogas erzeugt und der Schlamm-anfall wesentlich verringert.

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen konzentrieren sich daher im Kern auf solche Industriebranchen, in denen organisch hochbelastetes Abwasser anfällt und somit im Vergleich zur derzeitigen Situation hohe Energieeinsparungs- und -erzeugungspotenziale durch eine entsprechende Verfahrensumstellung zu erwarten sind.

In Ergänzung zu dieser Ermittlung branchenspezifischer Energieeinsparpotenziale beinhaltet die Studie eine dynamische Langzeitsimulation und CO_{2e}-Bilanzierung, die beispielhaft sowohl für einen direkt- als auch einen indirekt-einleitenden Industriebetrieb durchgeführt wird. Unter Berücksichtigung auftretender Belastungsschwankungen werden hier interne Maßnahmen zur Verbesserung des Energieverbrauchs, eine Verbesserung der Anlagentechnik sowie der Einsatz einer anaeroben Vorbehandlung an Fallbeispielen dargestellt. Für den industriellen Indirekteinleiter werden hierbei auch die Auswirkungen auf den Energiebedarf einer nachfolgenden kommunalen Kläranlage berücksichtigt.

2

Methodik

Die zielführende Auswahl von in Nordrhein-Westfalen relevanten Industriebranchen und die anschließende Beschreibung von Branchenstruktur und branchenspezifischer Abwassersituation bilden die Basis auf der mögliche Energieeinsparpotenziale ermittelt bzw. dargestellt werden.

Die Auswahl und Analyse interessanter Industriebranchen erfolgt im Rahmen der Studie anhand statistischer Daten des Landesamtes (IT.NRW), des statistischen Bundesamtes (DeStatis) sowie der Energieeffizienzagentur NRW. Ergänzt werden diese Daten durch eine Auswertung der vom MKULNV und LANUV bereitgestellten Direkt- und Indirekteinleiterdatenbanken NIKLAS-IGL (2010) bzw. INKA (2010). Zusätzliche Informationen von Branchenverbänden, Veröffentlichungen in Zeitschriften und im Internet sowie Branchenkenntnisse der an der Erstellung der Studie Beteiligten fließen in die Datengrundlage ebenfalls mit ein. Umfang und Qualität der verfügbaren Daten sind für die einzelnen Industriebranchen unterschiedlich. Im Rahmen der Studie erfolgt eine Bewertung der recherchierten Datenmenge hinsichtlich ihrer Qualität und Aussagekraft, sodass die erzielten Ergebnisse eingeordnet werden können. Aufgrund der vorherrschenden Konkurrenzsituation unter den in Nordrhein-Westfalen ansässigen Industrieunternehmen ist die generelle Bereitschaft betriebsspezifische Informationen (wie Produktionszahlen, Abwasseranfall, Energieeinsatz etc.) zu veröffentlichen gering. Dies gilt sowohl für die einzelnen Unternehmen als auch für die entsprechenden Branchenverbände. In ihrer Gesamtheit ist die recherchierte Datengrundlage allerdings ausreichend, um die Zielvorgabe der Studie zu erfüllen und spezifische Energiepotenziale zu bestimmen.

Die Ermittlung vorhandener Energieeinspar- bzw. -optimierungspotenziale erfolgt maßgeblich anhand einer Abschätzung der in den jeweiligen Industriebranchen anfallenden Jahresschmutzfrachten über landesweite Produktionszahlen und über spezifische Abwasserkennwerte aus entsprechenden Schlüsselbetrieben. Unter Berücksichtigung von branchenspezifischen Randbedingungen und mit Kenntnis der bereits in Nordrhein-Westfalen realisierten Anaerobanlagen wird der für den zusätzlichen Einsatz anaerober Reinigungsverfahren interessante Anteil dieser Jahresschmutzfracht bestimmt.

Um vorhandene Energieeinsparpotenziale abzuschätzen, wird bei der überwiegenden Anzahl der betrachteten Industriebranchen für diesen Anteil der Jahresschmutzfracht eine Vergleichsbetrachtung von rein aerober Reinigungstechnik (IST-Situation) gegenüber einer kombinierten Verfahrenstechnik mit anaerober Vorbehandlung (Optimierung) durchgeführt. Die für eine aus-

reichende Sauerstoffzufuhr in die Belebungsstufe der aeroben, biologischen Abwasserreinigung benötigte Belüftungsenergie wird für beide Varianten bilanziert. Durch die mittels anaerober Vorbehandlung deutlich reduzierte organische Belastung einer nachfolgenden aeroben, biologischen Behandlung ergeben sich hier maßgebende Einsparpotenziale. Ebenfalls dargestellt wird das bei der anaeroben Umsetzung der organischen Schmutzfrachten anfallende Bio- bzw. Methangas. In der Bilanzierung wird die hier mögliche Energieerzeugung bei einer vollständigen Verstromung der Gasmenge berücksichtigt. Bei der energetischen Verwertung des Bio- bzw. Methangases, z.B. mittels BHKW-Anlage, anfallende Abwärme wird in der Energiebilanz nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass diese Wärmemenge direkt auf der Abwasserreinigungsanlage verbraucht wird, beispielsweise für die meistens notwendige Temperierung der Anaerobreaktoren (mesophiler Abbauprozess).

Aussagen über mögliche CO₂-Einsparungen in den betreffenden Branchen lassen sich über die ermittelten Energieeinsparpotenziale und ein entsprechendes CO₂-Äquivalent ableiten. Bei den im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Bilanzierungen wird hierfür gemäß Umwelt-Bundesamt (2010) ein CO₂-Emissionsfaktor von 0,575 kg CO₂/kWh (deutscher Strommix) angenommen.

Die Systemgrenzen des Verfahrensvergleichs umfassen den direkten Betrieb aerober bzw. anaerober Reinigungstechnik. Die durch eine veränderte Verfahrensweise entstehenden Auswirkungen auf den Rohschlammanfall und dessen Behandlung werden hier energetisch nicht berücksichtigt. Auch die Auswirkungen einer veränderten Behandlung des industriellen Abwasseranteils auf nachgeschaltete kommunale Kläranlagen (bei Indirekteinleitung) lassen sich auf Grundlage der begrenzten Datenmenge in der branchenweiten Bilanzierung rechnerisch nicht vollständig erfassen und werden nur in der Langzeitsimulation betrachtet.

3 Ergebnisse

3.1 Auswahl relevanter Industriebranchen

Für das Jahr 2007 sind in Nordrhein-Westfalen 1.852 Betriebe verzeichnet, die Wasser gewinnen oder die einen Fremdbezug an Wasser von mindestens 10.000 m³/a aufweisen bzw. die Wasser oder Abwasser in Gewässer einleiten (IT.NRW, 2007). In diesen 1.852 Betrieben fällt eine nichtöffentlich beseitigte Abwassermenge von 4.570 Mio. m³/a an (vgl. Bild 1). Bei einem wesentlichen

Anteil dieser Wassermenge handelt es sich um Kühlwasser (3.703 Mio. m³/a), sodass sich die tatsächliche Abwassermenge auf 866 Mio. m³ pro Jahr reduziert.

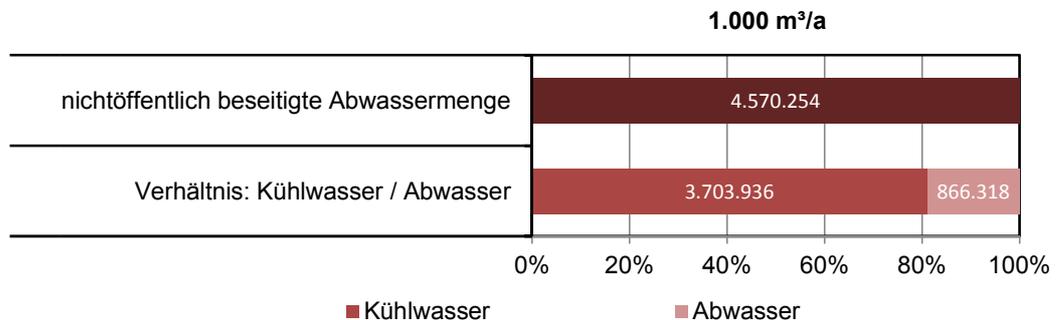


Bild 1: Nichtöffentlich beseitigte Abwassermenge in Nordrhein-Westfalen für das Jahr 2007 (IT.NRW, 2007)

Werden die 1.852 erfassten Betriebe nach Wirtschaftszweigen klassifiziert (verwendeter Klassifizierungsschlüssel WZ 2003), lassen sich bei einer rein quantitativen Betrachtung der oben dargestellten, anfallenden Abwassermenge in Nordrhein-Westfalen 9 Wirtschaftszweige von besonderer Relevanz erkennen. Hierzu zählen WZ 40 „Energieversorgung“, WZ 24 „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“, WZ 13-14 „Erzbergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau“, WZ 21 „Papiergewerbe“, WZ 15-16 „Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung“, WZ 27 „Metallerzeugung und -bearbeitung“, WZ 26 „Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“, WZ 23 „Kokerei, Mineralverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen“ sowie WZ 10-11 „Kohlenbergbau, Torfgewinnung, Gewinnung von Erdöl und Erdgas“. In diesen Wirtschaftszweigen fällt jeweils mindestens ein Prozent der Abwassermenge von 866 Mio. m³/d an. Zusätzlich anfallende Kühlwassermengen werden hier nicht betrachtet.

Von den 2007 insgesamt erfassten 1.852 Betrieben lassen sich 1.036 Betriebe diesen 9 Wirtschaftszweigen zuordnen. Dabei ist innerhalb des Wirtschaftszweigs „Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung“ trotz einer vergleichsweise geringen Abwassermenge von ca. 34,7 Mio. m³/a mit 284 Betrieben bei weitem die größte Anzahl von Betrieben verzeichnet.

Unter Berücksichtigung der Zielsetzung des Vorhabens sind von den 9 hinsichtlich der nichtöffentlich beseitigten Abwassermenge relevanten Wirtschaftszweigen aufgrund der Abwasserqualität bzw. der Höhe der anfallenden organischen Schmutzfrachten einige Wirtschaftszweige besonders hervorzuheben. Die Studie konzentriert sich daher bei der Energieanalyse auf das Ernährungsgewerbe, das Papiergewerbe und auf die chemische Industrie

in Nordrhein-Westfalen. Im Einzelnen werden dabei 8 verschiedene Bereiche des Ernährungsgewerbes untersucht. Hierzu zählen die milchverarbeitende Industrie, die Erfrischungsgetränke- und Fruchtsaftindustrie, die Stärkeindustrie, das Braugewerbe, die Zuckerindustrie, die Hefeindustrie, Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe sowie die Tierkörperverwertung.

Soweit möglich werden die Strukturen der jeweiligen Industriebranchen, die Abwassersituation sowie daraus resultierende Energieeinsparpotenziale ermittelt und detailliert dargestellt.

3.2 Energieeinspar- und optimierungspotenziale

Die branchenspezifisch ermittelten Energieeinspar- und -optimierungspotenziale sind in nachstehender ~~Tabelle 1~~~~Tabelle 1~~~~Tabelle 4~~ zusammengefasst. Um die Aussagekraft der dargestellten Ergebnisse besser einschätzen zu können, wird hier ebenfalls eine Bewertung der recherchierten Datenbasis vorgenommen. Diese berücksichtigt allerdings nur eine Einschätzung über Menge und Qualität der verfügbaren Daten, eine Bewertung des konkret realisierbaren Energieeinsparpotenzials lässt sich hiervon nicht ableiten.

In der Gesamtbetrachtung ergibt sich für die untersuchten Industriebranchen Nordrhein-Westfalens bei veränderter Verfahrensweise in der Abwasserreinigung ein Energieeinsparpotenzial von etwa 46,0 Mio. kWh/a. Im Kern beruht dieses Potenzial auf einem reduzierten Belüftungsenergiebedarf durch den vermehrten Einsatz anaerober Vorbehandlungsverfahren. Eine zusätzlich mögliche Energieerzeugung durch die Verstromung der bei den anaeroben Abbauprozessen anfallenden Biogasmenge lässt sich ungefähr auf 48,3 Mio. kWh/a abschätzen. In Summe ergibt sich somit ein Energieeinsparpotenzial für die untersuchten Branchen von ca. 94,4 Mio. kWh/a. Dies entspricht einer möglichen CO₂-Emissionseinsparung von etwa 54,3 Mio. kg CO₂/a.

Um die branchenspezifisch ermittelten Energieeinspar- bzw. -optimierungspotenziale einfach vergleichen und bewerten zu können, ist ein Bezug zu überschlägig abgeschätzten Gesamtenergiebedarfszahlen (IST-Situation) hilfreich. Soweit die verfügbare Datengrundlage eine solche Abschätzung zulässt ist diese für die jeweiligen Branchen in Bild 2 dargestellt.

Tabelle 1: Gesamtbetrachtung des vorhandenen Energieeinsparpotenzials in der Abwasserreinigung ausgewählter Industriebranchen für Nordrhein-Westfalen

Branche	Bewertung der vorhandenen Datenbasis	branchenspezifisch abgeschätzte Energieeinsparpotenziale			mögliche CO ₂ -Emissionseinsparung [kg CO ₂ /a]
		Einsparpotenzial durch reduzierten Belüftungsenergiebedarf [kWh/a]	mögl. Energieertrag durch Verstromung von Biogas [kWh/a]	Energieeinsparpotenzial in Summe [kWh/a]	
Ernährungsindustrie					
Milchverarbeitung	befriedigend	2.457.000	2.594.000	5.051.000	2.904.000
Erfrischungsgetränke-, Fruchtsaftindustrie und Mineralbrunnen	gut	4.665.000	4.277.000	8.942.000	5.142.000
Stärkeindustrie	befriedigend	7.242.000	5.909.000	13.151.000	7.562.000
Brauwirtschaft	sehr gut - gut	8.830.000	8.124.000	16.954.000	9.749.000
Zuckerindustrie	sehr gut - gut	Kein weiteres Einsparpotenzial durch Umstellung auf Anaerobtechnik ersichtlich!			
Hefeindustrie	gering	Aufgrund der Datenbasis ist keine branchenumfassende Bewertung möglich!			
Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe	befriedigend	7.997.000	10.407.000	18.404.000	10.582.000
Tierkörperverwertung	gering	Aufgrund der Datenbasis ist keine branchenumfassende Bewertung möglich!			
Papierindustrie	gut - befriedigend	14.841.000	17.010.000	31.851.000	18.314.000
Chemische Industrie	gering	Aufgrund der Datenbasis ist keine branchenumfassende Bewertung möglich!			
Gesamtbetrachtung Nordrhein-Westfalen		46.032.000	48.321.000	94.353.000	54.253.000

Für die Milchverarbeitende Industrie, die Erfrischungsgetränke- bzw. Fruchtsaftindustrie und für die Brauwirtschaft gilt hier, dass die ermittelten Energieeinsparpotenziale von etwa 5,1 Mio., 8,9 Mio. und 17,0 Mio. kWh/a einem Anteil von 55-60 % des für die Branchen abgeschätzten Gesamtenergiebedarfs für die Abwasserreinigung entsprechen. Für Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe wird angenommen, dass das ermittelte Energieeinsparpotenzial etwa 31 % des branchenweiten Energiebedarfs ausmacht. Das für die Papierindustrie bestimmte Einsparpotenzial von ca. 31,9 Mio. kWh/a macht ebenfalls in etwa 30 % des für die Branche abgeschätzten Gesamtenergiebedarfs aus.

Die in der Gesamtbetrachtung für Nordrhein-Westfalen ermittelte Energieeinsparsumme von ca. 94,4 Mio. kWh/a entspricht somit einem Anteil von ungefähr 37 % der in den zugrundeliegenden Branchen derzeit für die Industrieabwasserreinigung genutzten Energiemenge.

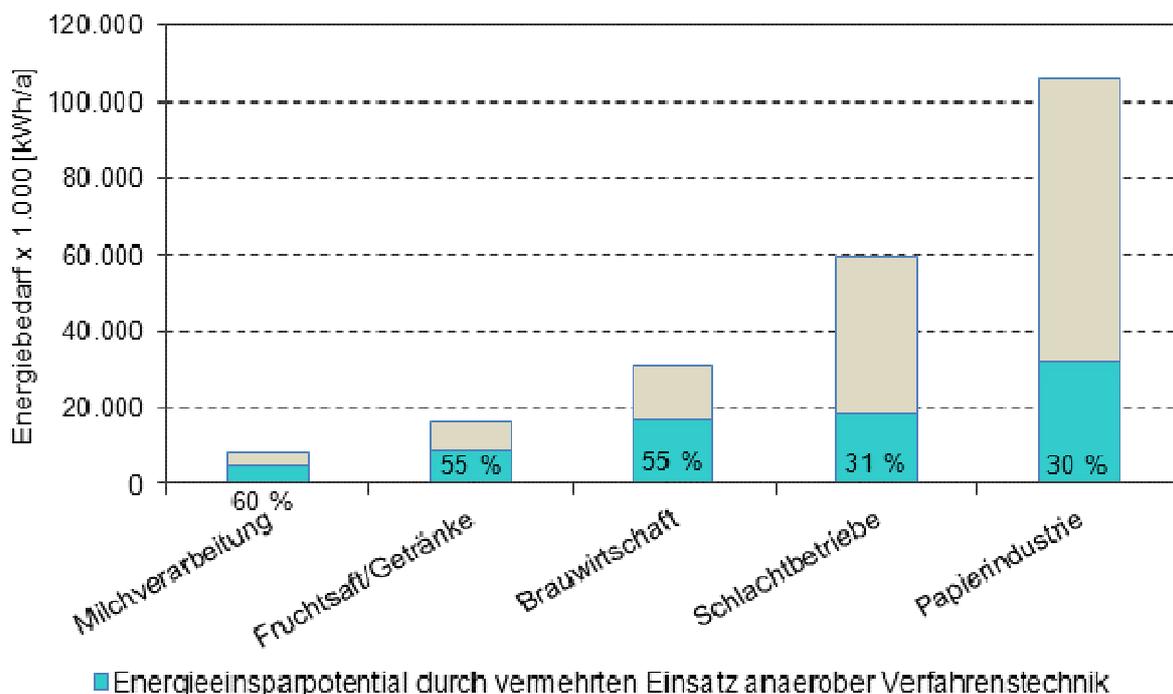


Bild 2: Branchenspezifische Darstellung des Anteils der ermittelten Energieeinsparpotenziale am jeweiligen Gesamtenergieverbrauch für die Industrieabwasserreinigung

Aufgrund ihrer Vielschichtigkeit und der geringen Menge an verfügbaren Daten konnte die Chemische Industrie nicht ausreichend abgebildet werden, um ein branchenspezifisches Einsparpotenzial abzuschätzen. Generell werden allerdings auch in den Unternehmen dieser Branche Energieeinsparpotenziale bei der betrieblichen Abwasserreinigung in nennenswertem Umfang gesehen.

3.3 Ergebnisse der Langzeitsimulation

Im Rahmen der Studie wurden der spezifische und der Gesamtenergiebedarf der Abwasserbehandlung von Brauereiabwasser beispielhaft für einen Direkt- einleiter und einen Indirekteinleiter ermittelt und in dynamischen Langzeitsimulationen unter Berücksichtigung der Schwankungen analysiert. Es zeigt sich, dass die dynamische Modellierung den Grad der Genauigkeit der Gesamtaussage verbessert und diese bei stärkeren Schwankungen im Tages-, Wochen- oder Montagsgang notwendig ist.

Die Ergebnisse der dynamischen Simulation für den Indirekteinleiter und den Direkt einleiter machen das große Energiepotenzial der Industrieabwasserbehandlung deutlich. Durch interne Maßnahmen (z.B. Reduzierung des Rezirkulationsvolumenstroms, Regelung des Schlammalters) können beim Direkt einleiter bis zu 5 % des derzeitigen Energieverbrauchs eingespart werden. Die Verbesserung der Anlagentechnik (optimierte Rührwerke, verbesserte Belüftungssysteme) kann zu einer weiteren Einsparung von bis zu 10 % führen.

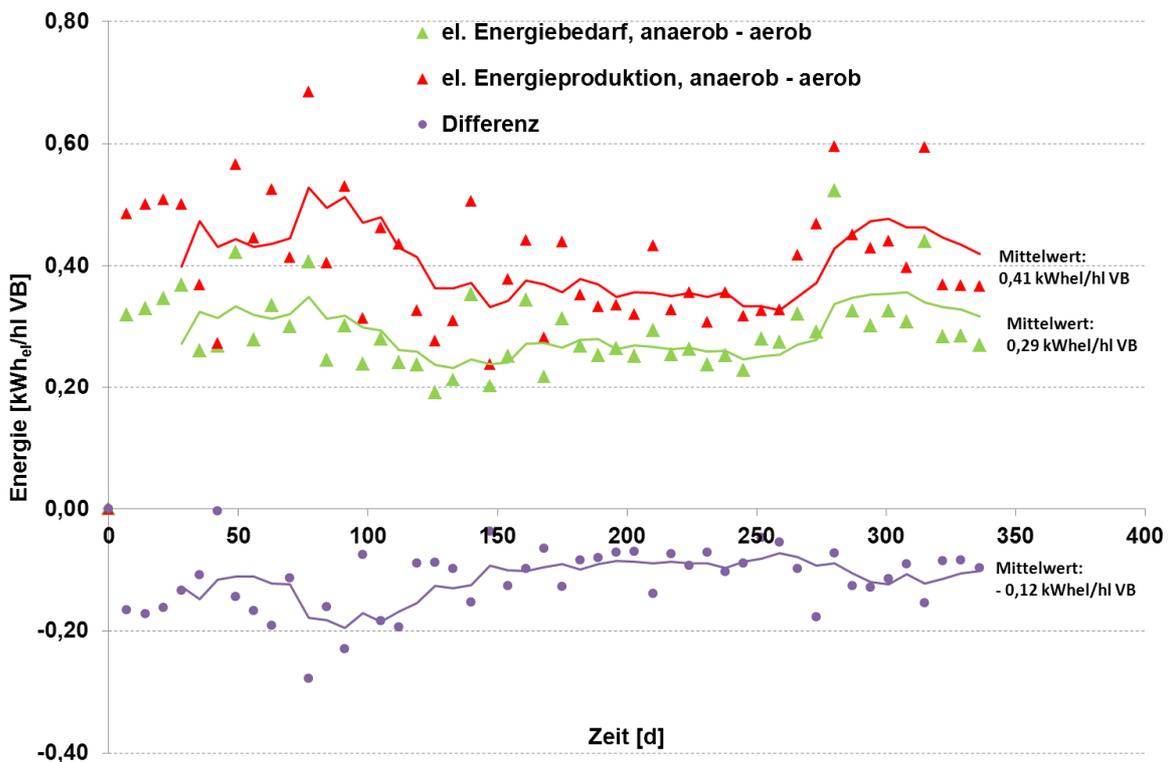


Bild 3: Elektrischer Energiebedarf und elektrische Energieproduktion der Gesamtanlage (Anaerobe Vorbehandlung mit nachgeschalteter Belebungsstufe)

Das größte Potenzial bietet bei stark organisch belastetem Abwasser die Änderung der Verfahrenstechnik. Durch eine anaerobe Vorbehandlung können

für das Beispiel aus der Brauereiwirtschaft unter Berücksichtigung der Verwertung des erzeugten Biogases mehr als 100 % des Energiebedarfs ($\sim 1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{hl VB}$) eingespart werden. Hier ist ein Energie- und CO_2 -neutraler Betrieb der Industriekläranlage möglich (vgl. [Bild 3](#)~~Bild 3~~~~Bild 3~~).

Auch für die industriellen Indirekteinleiter besteht ein erhebliches Einsparpotenzial: durch die Umstellung auf eine anaerobe Vorbehandlung bei einem Indirekteinleiter mit einem Anteil von ca. 25 % an der CSB-Fracht lassen sich ca. 15 % des Energiebedarfs der kommunalen Kläranlage einsparen. Insgesamt kann durch die Verfahrensumstellung der Indirekteinleiter die notwendige Energie für die eigene Abwasserbehandlung komplett decken (Einsparung: $\sim 0,3 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{hl VB}$) und bis 0,2 - 0,25 $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{hl VB}$ zusätzlich produzieren.

Die Berechnungen mit der Software UMBERTO zeigen für die beiden Beispiele (Indirekt- bzw. für den Direkteinleiter) ein CO_2 -Einsparpotenzial von etwa 550 bzw. 1.100 t CO_2/a . Grundsätzlich sind die Ergebnisse innerhalb dieser Branche (Baugewerbe) übertragbar, wobei die Höhe des jeweiligen Einsparpotenzials stark von der bestehenden Verfahrenstechnik und den vorhandenen Aggregaten abhängig ist. Für die Betrachtung anderer Branchen werden weitere Langzeitsimulationen empfohlen.

4 Zusammenfassung

In der Industriellen Abwasserreinigung Nordrhein-Westfalens ergeben sich erhebliche Energieeinspar- bzw. Optimierungspotenziale durch eine Umstellung bzw. Optimierung der vorhandenen Reinigungsverfahren. Im Rahmen dieser Studie werden solche Einsparpotenziale für ausgewählte Industriebranchen mit Bezug zur derzeitigen Situation ermittelt. Der vermehrte Einsatz anaerober Verfahrenstechnik zur Vorbehandlung geeigneter Abwasserströme stellt hierbei eine entscheidende Maßnahme zur Energieeinsparung dar. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die Studie auf Industriebranchen, in denen vermehrt organisch hochbelastetes Abwasser anfällt.

In der Gesamtheit wurden für die oben genannten Branchen (ohne Chemische Industrie) Energieeinspar- bzw. -optimierungspotenziale von ungefähr 94,4 Mio. kWh/a ausgemacht, für deren Realisierung im Wesentlichen der verstärkte Einsatz anaerober Verfahrenstechnik erforderlich ist. Dieses Energieeinsparpotenzial entspricht in etwa 37 % des derzeit in den Branchen vorhandenen Energiebedarfs für die Abwasserreinigung. Die durchgeführte Einzelbetrachtung ermöglicht zudem eine Bewertung der unterschiedlichen

Branchen hinsichtlich eines notwendigen Handlungsbedarfs bzw. der energiepolitischen Relevanz.

Generell ist zu berücksichtigen, dass die ermittelten bzw. aufgezeigten Energieeinsparpotenziale aus betriebswirtschaftlicher Sicht für die Industriebetriebe nicht immer gleichbedeutend mit einer Handlungsnotwendigkeit sind. Vor einer Projektrealisierung sind aus betriebswirtschaftlicher und verfahrenstechnischer Sicht immer die betriebsspezifischen Randbedingungen vor Ort detailliert zu prüfen.

Im Rahmen dieser Studie ließ sich ebenfalls zeigen, dass die dynamische Modellierung ein geeignetes Werkzeug für die Durchführung unterschiedlicher Lastfall-Berechnungen ist. Insbesondere bei starken Jahresganglinien sind dynamische Berechnungen notwendig, um den tatsächlichen Sauerstoffbedarf und Biogasenergieertrag erfassen zu können. Die Bilanzierung mit UMBERTO ermöglicht darüber hinaus eine übersichtliche Darstellung von Stoff- und Energieströmen. Auf diese Weise können Hauptverbraucher schnell erkannt und optimiert werden.

Dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) wird mit dieser Studie ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung gestellt, das in den entsprechenden Branchen zielführend zum Start konkreter Projekte genutzt werden kann.

5 **Literatur**

INKA (2010) Indirekteinleiter-Kataster. Datenmodell (INKA, Version A16, Stand:10/2010). Die Datenbank wurde durch das Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen für dieses Forschungsvorhaben zur Verfügung gestellt.

IT.NRW (2007) Statistische Berichte – Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen 2007.

NIKLAS-IGL (2010) Neues Integriertes Klär-Anlagensystem für Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft. Datenmodell (NIKLAS-IGL, Version 6.0/0002, Stand:10/2010). Die Datenbank wurde durch das Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen für dieses Forschungsvorhaben zur Verfügung gestellt.
