

# Klärschlamm – ein erneuerbarer Energieträger

## Boues d'épuration – source d'énergie renouvelable

L'interdiction d'épandre les boues d'épuration a déclassé les boues en déchets, alors qu'elles sont un précieux engrais. Mais les connaissances actuelles et les perspectives d'avenir sont claires: les boues d'épuration ne devraient plus être considérées comme déchets, mais bien plutôt comme source d'énergie renouvelable. Au sens chimique, elles sont porteuses d'une formidable énergie qui ne demande qu'à être libérée, mais sous quelle forme et à quel prix? Un outil informatique a été développé pour calculer les bilans énergétiques des différentes possibilités d'élimination. Ces bilans peuvent être fortement influencés par les synergies de proximité entre preneurs et fournisseurs d'énergie. Chaque STEP doit donc faire l'objet d'une évaluation spécifique. Le modèle de calcul présenté ici permet de comparer les nouveaux modes d'élimination et de sélectionner ainsi la meilleure variante pour chaque nouveau projet.

## Sewage Sludge – A Renewable Energy Source

The production prohibition of sewage sludge has devalued the sludge from a valuable fertiliser to waste material. With today's state of knowledge and forward-looking thinking, the sludge should no longer be regarded as waste, but rather as a source of energy. Regardless of the disposal method, sludge has chemically stored energy. It is crucial how this enormous quantity of energy is released and utilised. In order to calculate the energy balances for the various types of disposal, an IT tool has been developed. These balances can be strongly influenced by synergies with heat customers from the surrounding area and heat suppliers. It makes therefore a lot of sense to make a location-specific assessment of every sewage treatment. The calculation model allows the testing of new supply methods and compares the various options for concrete projects.

Elija Kind



**Das Ausbringverbot von Klärschlamm hat den Schlamm vom wertvollen Dünger zum Abfallstoff abgewertet. Mit dem heutigen Kenntnisstand und einem zukunftsorientierten Denken sollte der Schlamm nicht weiter als Abfall, sondern als Energieträger betrachtet werden. Schlamm verfügt unabhängig vom Entsorgungsweg über chemisch gespeicherte Energie. Entscheidend ist, wie diese grosse Energiemenge freigesetzt und genutzt wird. Um die Energiebilanzen für die verschiedenen Entsorgungsvarianten berechnen zu können, wurde ein EDV-Tool entwickelt. Diese Bilanzen können stark durch Synergien mit Wärmeabnehmern in der Umgebung und Wärmelieferanten beeinflusst werden. Eine standortspezifische Beurteilung der Situation ist deshalb für jede Kläranlage sinnvoll. Das Rechenmodell erlaubt die Überprüfung von neuen Entsorgungswegen und vergleicht die verschiedenen Varianten bei konkreten Projekten.**

## 1. Einleitung und Zielsetzung

**A**bwasser enthält eine grössere Menge an organischem und mineralischem Material, das in den verschiedenen Behandlungsstufen der ARA als Klärschlamm anfällt. Seit dem 1. Oktober 2006 darf dieser Klärschlamm in der Schweiz nicht mehr als Dünger in die Landwirtschaft ausgebracht werden, sondern gilt als Abfall und muss gemäss der *Technischen Verordnung über Abfälle (TVA)* [1] thermisch entsorgt werden. Dies geschieht heute üblicherweise in einer *Kehrichtverbrennungsanlage*

(KVA), in einer *Monoverbrennung* (MV) oder in einem *Zementwerk*. Eine Monoverbrennung erlaubt dabei die Rohstoffrückgewinnung, was insbesondere im Hinblick auf die beschränkten Ressourcen und den damit steigenden Preisen für Phosphor interessant werden könnte. Die grossen Kostenschwankungen fossiler Energie auf dem Weltmarkt und die Förderung der erneuerbaren Stromproduktion in der Schweiz seit Anfang 2008 mit der *kostendeckenden Einspeisvergütung* (KEV) machen es zunehmend interessant, Abfall als Energieträger zu bewerten. Die Betrachtung der Energieflüsse einer ARA und eine anschliessende energetische Optimierung können somit nicht nur ökologisch sinnvoll sein, sondern auch *ökonomische Vorteile* bringen. Darüber hinaus haben Klimafragen und die Versorgungssicherheit in der Gesellschaft in den letzten Jahren merklich an Relevanz gewonnen. Es gilt deshalb auch bei den Kläranlagen, die wichtigsten Prozesse aus energetischer Sicht aufzuzeigen und diese anhand der neuen Randbedingungen zu verbessern. Die Klärschlammverwertung spielt dabei eine zentrale Rolle. Das hierzu entwickelte *EDV-Tool* erlaubt verschiedene Entsorgungs- bzw. Verwertungswege des Klärschlammes energetisch zu vergleichen. Als Basis für die Berechnung wird die Modellkläranlage aus dem neu erschienenen Handbuch *Energie in ARA* mit einer Reinigungskapazität von 100 000 Einwohnerwerten (EW) verwendet [2]. Es werden die Strom- bzw. Wärmeumsätze der einzelnen Prozesse ausgewiesen und anschliessend über die gesamte Prozesskette bilanziert. Dabei wird zwischen *produzierter* Energie (+) und *verbrauchter* Energie (-) differenziert. Die verschiedenen Energieträger werden mit dem Primärenergiefaktor gewichtet. Diese

Gewichtung ermöglicht den Vergleich von elektrischer Energie mit Wärmeenergie. Die graue Energie der Infrastrukturanlagen wird nicht mitberücksichtigt. Die so gewonnenen Erkenntnisse können bei anstehenden Investitionen als Entscheidungshilfen für die Wahl von neuen Entsorgungswegen oder zur Optimierung einzelner Bausteine der Prozesskette dienen.

## 2. Entsorgungsvarianten

**G**rundsätzlich werden *drei Entsorgungs- bzw. Verwertungswege* energetisch betrachtet:

- a) Frischschlammverbrennung (ohne Faulung) in KVA oder MV
- b) Faulung und Verbrennung in KVA oder MV
- c) Faulung, Trocknung und Verbrennung im Zementwerk

In realen Fällen können die vorgegebenen Standortbedingungen der konkreten Kläranlage in der Modellrechnung berücksichtigt werden. So kann insbesondere berechnet werden, welche Auswirkung z.B. die Trocknung mit Abwärme von einem möglichen Wärmelieferanten auf die Energiebilanz hat oder wenn überschüssige Abwärme aus der Verbrennung des Schlammes an nahe gelegene Wärmeabnehmer verkauft werden kann.

### Zu a)

Sämtlicher Klärschlamm fällt in der aeroben biologischen Stufe der ARA an. Es wird keine Vorklämung betrieben, um den Schlamm in der Biologie zu stabilisieren. Nach einer Entwässerung auf 25% Trockensubstanz (TS) wird der Frischschlamm direkt der Verbrennung zugeführt. Dazu eignen sich KVA oder MV, nicht aber Zementwerke, welche wesentlich höhere TS-Werte

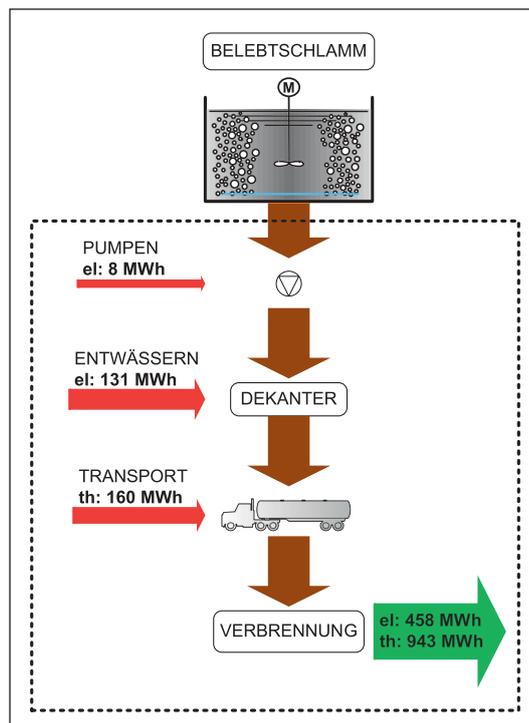


Abb. 1 Elektrischer (el) und thermischer (th) Energieverbrauch und Produktion der Frischschlammverbrennung pro Jahr.

benötigen (Abb. 1). Es werden also auf der ARA keine Anlagen zur Voreindickung und zur Schlammfäulung benötigt, es entsteht aber auch kein Klärgas. Für die KVA oder MV wird angenommen, dass die Verbrennungswärme gemäss schweizerischem Mittel genutzt wird: 10% zur Stromproduktion und 22% für Fernwärme [3]. Bei konkreten Projekten können auch die individuellen Angaben der entsprechenden KVA eingesetzt werden.

### Zu b)

Klärschlamm wird sowohl der Vorklämung wie auch der aeroben, biologischen Reinigungsstufe entzogen. Dieser wird anschliessend eingedickt, ausgefault und entwässert. Bei der Faulung entsteht *Klärgas*, welches als erneuerbarer Energieträger gilt. Mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) kann aus Klärgas erneuerbarer Strom produziert werden. Die dabei anfallende Abwärme wird ARA-intern genutzt und deckt den Wärmebedarf für die Faulung und Gebäudeheizung vollständig ab (Modellanlage). Nach der Faulung wird der Klärschlamm mechanisch in einem Hochleistungsdekanter bis auf einen Trockensubstanzgehalt von 30% entwässert, bevor er in die Verbrennung gelangt

(Abb. 2). In der KVA oder MV wird der entwässerte Klärschlamm verbrannt, wobei analog zur Frischschlammverbrennung (a) von einer Energienutzung ausgegangen wird, die dem schweizerischen Mittel entspricht (10% Stromproduktion und 22% Wärme [3]).

**Zu c)**

Der grosse Unterschied zur Faulschlammverbrennung in einer KVA/MV besteht bei der Variante Zementwerk darin, dass die Zementwerke nur *getrockneten Schlamm* verwenden können. Die Trocknung braucht sehr viel Energie. Hingegen wird auch in dieser Variante das anfallende Klärgas auf der ARA zur Stromproduktion und Wärmenutzung verwertet. Der Klärschlamm wird auf einen TS-Gehalt von mehr als 90% getrocknet, bevor er als Brennstoff im Zementwerk eingesetzt werden kann (Abb. 2). Dort substituiert er meist einen fossilen Energieträger wie beispielsweise Kohle. Die gesamte Wärmeenergie aus dem Klärschlamm kann vollständig zur Aufheizung des Brennraumes und daher zu 100% als *Brennstoffersatz* genutzt werden. Eine allfällige Abwärmenutzung ist unabhängig von der Klärschlammnutzung; es fällt gleich viel Abwärme bei der Zementproduktion an, ob nun Klärschlamm oder ein fossiler Energieträger verbrannt wird. Eine Neuausrichtung z.B. mit der Verbrennung von Klärschlamm ist aber eine Gelegenheit zur Überprüfung, ob in der Umgebung des Zementwerkes Wärmebezüger als Abnehmer von Abwärme in Frage kommen oder Anlagen mit grossem Wärmebedarf wie z.B. eben die Schlamm-trocknung hier angesiedelt werden können.

**3. Ergebnisse**

**3.1 Energiebilanz der Prozesse**

In *Abbildung 1* und *2* sind die elektrischen und thermischen Energieverbräuche und -produktionen für die drei Entsorgungswege aufgezeigt. In der Bilanz stechen drei besonders *energieintensive Prozesse* hervor, auf der positiven Seite die Faulung sowie die Verbrennung und auf der negativen Seite die Trocknung. Bei der *Faulung* entsteht dank der Stromproduktion ein sehr grosser Überschuss an Energie, da der Wärmebedarf für die Faulraumbeheizung aus der Abwärme des Blockheizkraftwerkes selbst gedeckt werden kann. Bei der *Trocknung* benötigt vor allem die Bereitstellung der Verdampfungsenergie zusätzlich eine sehr grosse Wärmemenge. Dies fällt in der Bilanz besonders

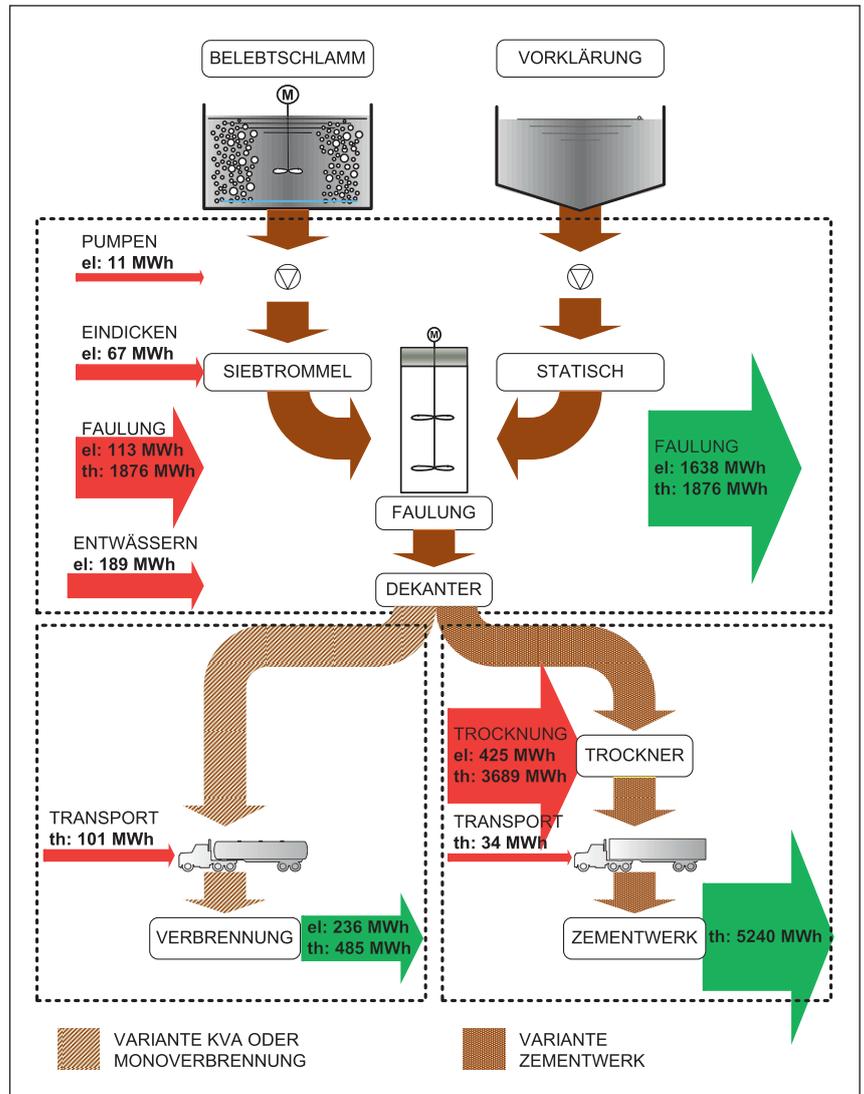


Abb. 2 Elektrischer (el) und thermischer (th) Energieverbrauch und Produktion der Faulschlammverbrennung in KVA/MV und Zementwerk pro Jahr.

negativ zu Buche, wenn der Bedarf mit fossilen Brennstoffen und nicht mit Abwärme gedeckt wird. Der hohe Energiebedarf der Trocknung zeigt, wie wichtig eine möglichst hohe mechanische Entwässerung ist, da mechanisch entferntes Wasser nicht aufwändig verdampft werden muss. Die *Verbrennung* zeigt bei den drei Varianten KVA, MV oder Zementwerk gänzlich unterschiedliche Energiebilanzen auf, die aber bei allen positiv ausfallen.

Auf *zwei Punkte*, welche im Schema nicht ersichtlich sind, sei hier hingewiesen: Das EDV-Tool zeigt, dass der Energieaufwand des Hochleistungsdekanter vergleichbar ist mit demjenigen für die Schlammumwälzung im Faultrum. Die Schlammumwälzung in der Modellanlage weist gar einen höheren Energieaufwand auf. Ebenfalls verursacht die Zusatzbelastung der Biologie durch das rückgeführte Zentrat nach der Entwässerung des Faulschlammes

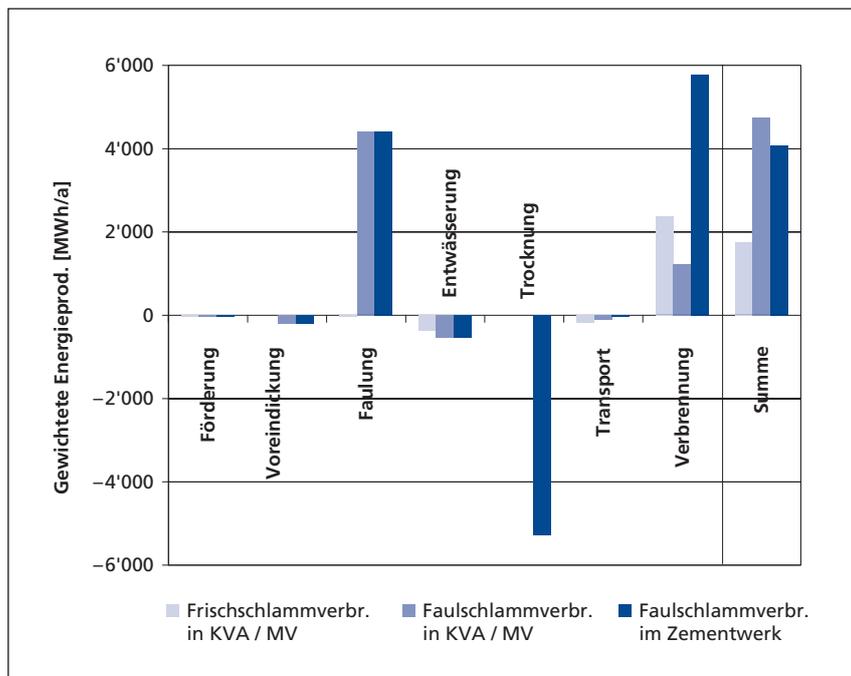


Abb. 3 Bilanz der Energieproduktion und -verbrauch (Primärenergie) über die Verfahrensstufen der Klärschlamm Entsorgung.

	Frishschlammverbr. in KVA / MV	Faulschlammverbr. in KVA / MV	Faulschlammverbr. im Zementwerk
	MWh <sub>gew</sub> /a	MWh <sub>gew</sub> /a	MWh <sub>gew</sub> /a
<b>Interne Schlammförderung</b>	-23	-33	-33
<b>Voreindickung</b>	0	-194	-194
Primärschlamm-Eindickung	-	-	-
Überschussschlamm-Eindickung	0	-194	-194
<b>Schlammfaulung</b>	-27	4 422	4 422
Schlammwärmerzeugung	-	-2 037	-2 037
Umwälzung	-	-329	-329
Stromproduktion Gas	-	4 750	4 750
Wärmeproduktion Gas	-	2 064	2 064
Gebäudeheizung	-27	-27	-27
<b>Entwässerung</b>	-381	-546	-546
Schlamm-entwässerung	-381	-290	-290
Rückbelastung Zentrat	-	-257	-257
<b>Schlamm-trocknung</b>	0	0	-5 290
Thermischer Endenergieverbrauch	-	-	-4 058
Elektrischer Energieverbrauch	-	-	-1 207
Rückbelastung Brüden	-	-	-26
<b>Transport (50 km)</b>	-176	-112	-37
<b>Verbrennung</b>	2 367	1 218	5 764
Stromproduktion	1 330	684	-
Wärmeproduktion	1 038	534	5 764
<b>Summe</b>	1 760 37 %	4 754 100 %	4 084 86 %

Tab. 1 Gewichtete Energieproduktion und -verbrauch (Primärenergie) über die Verfahrensstufen der Klärschlamm Entsorgung.

einen zusätzlichen Energieaufwand, der nur wenig kleiner ist, als derjenige des erwähnten Dekanters. Dies gilt nur für die Entwässerung ausgefallter Schlämme.

### 3.2 Gesamtenergiebilanz

Die Gesamtenergiebilanz wird in Form der Primärenergie ausgewiesen. Die elektrischen Energieflüsse werden mit einem Primärenergiefaktor von 2,9 und die thermischen Energieflüsse mit einem Faktor 1,1 gewichtet und über die einzelnen Prozesse bilanziert.

Das Ergebnis der drei Entsorgungsvarianten ist grafisch in Abbildung 3 und als Zahlenwerte in Tabelle 1 dargestellt. Grundsätzlich weisen alle drei Varianten eine positive Energiebilanz über die gesamte Prozesskette auf, die Schlammverwertung liefert damit in der Schweiz insgesamt einen wertvollen Beitrag zur erneuerbaren Energieproduktion. Dabei ist aber entscheidend, ob eine Faulung vorhanden ist oder nicht, denn die Faulschlammvariante schneidet insgesamt energetisch doppelt so gut ab als die Frischschlammvariante. Bei den zwei Faulschlammvarianten ist in der gewählten Modellanlage der Entsorgungsweg KVA/MV (100%) energetisch besser als die Variante Zementwerk (86%). Die Verwertung im Zementwerk liefert zwar die grösste nutzbare Energiemenge bei der Verbrennung, schneidet aber vor allem wegen der energieaufwändigen Trocknung insgesamt schlechter ab als die Verbrennung in der KVA/MV (86%), aber immer noch besser als die Frischschlammverbrennung (37%). Wird die Trocknung allerdings mit Abwärme oder erneuerbarer Energie bewerkstelligt, werden die Zementwerke mit Abstand zur energetisch besten Variante (vgl. Kap. 4.1).

Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass bei den drei dominierenden Verfahrensstufen Schlammfaulung sowie Verbrennung und Schlamm-trocknung die Schwerpunkte von Verbesserungen gesetzt werden müssen und dass sich eine effiziente Faulung sehr vorteilhaft auf die Energiebilanz auswirkt. Es ist eine standortspezifische Überprüfung in jedem Fall angebracht.

## 4. Diskussion und Einflussfaktoren

### 4.1 Standort-spezifische Unterschiede

Bei der Modellanlage wurden für die Berechnung der Bilanz möglichst durchschnittliche Bedingungen angenommen. Ein Vergleich mit realen Bedingungen zeigt, dass insbesondere

standortspezifisch sehr grosse Unterschiede vorhanden sind. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie gross der *Schwankungsbereich* der drei einflussreichsten Prozesse ist (Verbrennung, Faulung und Trocknung).

**Abwärmenutzung KVA**

Die Verbrennung in der KVA zeigt bei bestehenden Anlagen in der Schweiz sehr grosse Unterschiede in der Energieausbeute: Die KVA *Sion* beispielsweise nutzt nur 7% des verfügbaren Energieinhaltes des Abfalls zur Stromproduktion, während die KVA *Basel* 79% als Fernwärme und 3% zur Stromproduktion verwendet [3]. Da die Wärme- und Stromgewinnung aus der Verbrennung einen wesentlichen Anteil an der Energiebilanz ausmacht, wurde die Bilanz für die Schlamm Entsorgung (vgl. Kap. 3) mit drei verschiedenen Kehrriechverbrennungsanlagen nochmals gerechnet (Tab. 2). Zusätzlich wird eine optimale Energieausbeute dargestellt (zukünftige Technologie).

Für die bessere Vergleichbarkeit werden die Ergebnisse prozentual zur durchschnittlichen Faulschlammverbrennung in der Kehrriechverbrennungsanlage angegeben. Wird der Faulschlamm in der KVA Basel verbrannt, so kann im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt (Modellanlage) rund 20% mehr Energie aus dem Faulschlamm gewonnen werden, bei *Sion* 16% weniger. Bei einer Verbrennung von Frischschlamm werden die Unterschiede noch grösser. Bei der KVA Basel fällt die Energiebilanz doppelt so gut aus wie im schweizerischen Mittel. Ist die Energieausbeute der KVA hingegen schlecht, so geht die im Frischschlamm enthaltene Energie weitgehend verloren (vgl. KVA *Sion*). Bei der Frischschlammverbrennung ist für eine gute Gesamtenergiebilanz entscheidend, wie gut in der KVA die Verbrennungswärme genutzt wird, da nur in diesem Prozessglied die Energie des Klärschlammes verwertet wird. Der Wirkungsgrad der KVA hat einen deutlichen Einfluss auf die Energiebilanz der Klärschlammverwertung, besonders aber bei der Variante Frischschlamm.

**Abwärmenutzung Klärgasverbrennung**

In den meisten Kläranlagen der Schweiz wird die Abwärme, welche bei der BHKW-Verstromung des Klärgases anfällt, ausschliesslich für die Aufheizung des Faulturmes und für die Gebäudeheizung verwendet. Fällt mehr Abwärme an, so wird diese im Modell über eine Notkühlung aus dem System geführt. Die ungenutzte Wärmemenge macht rund ein Drittel

	Energienutzung KVA <sup>1</sup>		Frischschlammverbrennung	Faulschlammverbrennung in KVA	Faulschlammverbrennung im Zementwerk
	Strom	Abwärme Wärme			
	% <sub>el</sub>	% <sub>th</sub>	%	%	%
Modell (CH Mittel, 2004)	10%	22%	37%	100%	86%
KVA Basel	3%	79%	75%	120%	86%
KVA Buchs (SG)	19%	14%	52%	108%	86%
KVA Sion	7%	0%	6%	84%	86%
Zukünftige Technologie	30%	50%	118%	140%	86%

Tab. 2 Gewichtete Energiebilanz relativ zur Faulschlammverbrennung in KVA unter Variation der Abwärmenutzung KVA.

<sup>1</sup> [3]

der verwertbaren Abwärme aus. Sofern sich geeignete Abnehmer (Gebäude, Fernwärme) in der Umgebung der Kläranlagen befinden, die insbesondere auch im Sommerhalbjahr Wärme brauchen, ist es mit einer geschickten Prozessführung möglich, die überschüssige Abwärme zu nutzen [4]. Die Energiebilanzen können damit bei der Faulschlammverbrennung um bis zu 22% verbessert werden (Tab. 3).

**Energieoptimierung Trocknung**

Bei der Trocknungsanlage sind sehr grosse thermische Energiemengen erforderlich. Die entscheidende Frage für die Energieeffizienz der Trocknung ist nun, ob man Abwärme für die Bereitstellung der Energie in der Trocknung nutzen kann (Niedertemperaturtrockner) oder ob es möglich ist, Abwärme der Trocknung an Abnehmer in der Umgebung abzu-

geben (Hochtemperaturtrockner). Deshalb muss auch die Frage gestellt werden, an welchem Standort die Schlamm Trocknung am sinnvollsten ist bzw. wo Abwärme resp. Wärmebezüge vorhanden sind. Die Gesamtenergiebilanz wird dadurch wesentlich beeinflusst.

Bei den *Hochtemperaturtrocknern* kann keine Abwärme genutzt werden, weshalb der Energieverbrauch sehr hoch ist [5]. Sofern geeignete Abnehmer in der Umgebung zu finden sind, kann dafür je nach Anlage zwischen 20 und 90% der eingesetzten thermischen Endenergie wieder als Abwärme genutzt werden. Bei den *Niedertemperaturtrocknern* kann theoretisch bis zu 100% des thermischen Energiebedarfs durch Abwärme gedeckt werden. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass auch Abwärme auf tieferem Temperaturniveau verwendet werden kann.

	Energienutzung BHKW		Frischschlammverbrennung	Faulschlammverbrennung in KVA/MV	Faulschlammverbrennung im Zementwerk
	Strom	Abwärme Wärme			
	% <sub>el</sub>	% <sub>th</sub>	%	%	%
Modell	32%	36%	37%	100%	86%
Bessere Abwärmenutzung BHKW	32%	55%	37%	122%	108%

Tab. 3 Verbesserung der Energiebilanz durch Steigerung der Abwärmenutzung aus dem BHKW auf der ARA (Primärenergie in % zur Faulschlammverbrennung in KVA).

Die energetisch beste Lösung ist die *Solartrocknung*, da sie den Wärmebedarf mit Solarenergie abdecken kann und wenig fossile Brennstoffe benötigt. Die Solartrocknung hat aber den Nachteil, dass sie einen *grossen Flächenbedarf* benötigt. Sofern nicht ausreichend Platz dafür vorhanden ist, kann auch die Trocknung mit Abwärme (z.B. vom Zementwerk) oder die Abwasserwärmenutzung geprüft werden, wie sie in Mellingen und Altenrhein realisiert wurde. In *Tabelle 4* wird die Bilanz über den gesamten Entsorgungsweg mit einer solaren Trocknungsanlage [6] und mit einer Abwasserwärmenutzung [7] nochmals gerechnet.

Die Faulschlammverbrennung im Zementwerk weist bei einer solaren Trocknung eine fast doppelt so hohe gewichtete Energieausbeute auf als bei einer konventionellen Trocknung. Auch wirkt sich eine Abwasserwärmenutzung deutlich positiv auf die Energiebilanz aus. Mit der Solartrocknung oder wenn Abwärme verwendet werden kann, wird die Variante Zementwerk energetisch besser als die Variante KVA/MV.

**4.2 Phosphorrückgewinnung**

Phosphor ist ein wichtiger Rohstoff, der vielerorts eingesetzt wird. So basieren viele *Dünger* auf Phosphor-

säuren. Daneben findet Phosphor z.B. auch als Trocknungsmittel in der Industrie Verwendung. Da die kostengünstig abbaubaren, kontinentalen Phosphor-Vorkommen (meist als Phosphate) in absehbarer Zeit zunehmend knapp werden, kann die Phosphorrückgewinnung preislich interessant werden [8]. Da aber auch die Energieressourcen beschränkt sind und die Reserven von z.B. Erdöl wohl noch früher als bei Phosphor zur Neige gehen, sind immer beide Aspekte zu berücksichtigen. Deshalb müssen sich die Kläranlagenbetreiber wie auch die Behörden und die Politiker immer auch die Frage stellen und abwägen, inwieweit eine Phosphorrückgewinnung bereits heute sinnvoll ist, wenn dabei eine energetisch schlechtere Energiebilanz in Kauf genommen werden muss.

Um Phosphor nach der Verbrennung aus der Asche zurückzugewinnen zu können, darf die Asche des Klärschlammes nicht mit anderen Verbrennungsrückständen vermischt werden. Daher eignet sich die Mitverbrennung in der KVA nicht zur Phosphorrückgewinnung. Gleiches gilt für die Verbrennung im Zementwerk, da dort die Verbrennungsprodukte vollständig in den Zement eingebunden werden. Nur mit der *Monoverbrennung* sind die Voraus-

setzungen gegeben, dass aus der Schlamm- asche Phosphor zurückgewonnen werden kann. Entsprechende Pilotanlagen für die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm- asche sind in der Testphase; Möglichkeiten einer Rückgewinnung des Phosphors vor der Verbrennung werden erst diskutiert. Längerfristige strategische Entscheide sollten diesen Umständen Rechnung tragen.

**4.3 Bedeutung Transport**

Der Transport von entwässertem Schlamm wurde mit 50 km Fahrtdistanz (ein Weg) für schweizerische Verhältnisse angenommen. Der Einfluss des Transportes auf die Gesamtbilanz bleibt bei dieser Annahme klein. Die Energiemenge, welche bei der Schlammverwertung frei wird, ist um ein Vielfaches grösser. Es ist daher sehr gut möglich, dass ein längerer Transportweg zu einer Verbrennungs- bzw. Trocknungsanlage mit besserer Energienutzung in energetischer Hinsicht durchaus sinnvoll ist. Energetisch gesehen ist der Transport nicht ausschlaggebend, doch ist er sicht- und hörbar und wird dadurch in der Öffentlichkeit stark wahrgenommen. Der Energieaufwand wird hingegen meist überschätzt. Die dadurch zugeschriebene Relevanz ist für regionale bzw. interregionale Konzepte entsprechend zu gewichten.

**5. Fazit**

Mit dem neuen EDV-Tool von EnergieSchweiz lassen sich die Energiebilanzen der Klärschlammverwertung über die gesamte Prozesskette anhand der Modellanlage wie auch für einen realen Fall ermitteln. Die Berechnungen anhand der Modellanlage haben gezeigt, dass die zwei Entsorgungswege mit Schlammfäulung eine doppelt so gute Energiebilanz aufweisen als die Variante ohne Fäulung. Bei der Fäulung muss zwar relativ viel Energie aufgewendet werden, welche aber durch die Klärgasverstromung und Abwärmenutzung mehr als gedeckt wird. Bei den zwei Varianten mit Fäulung schneidet mit der Modellanlage die Variante KVA oder MV besser ab als die Variante Zementwerk. Grund ist, dass der Schlamm für ein Zementwerk auf 90% TS getrocknet werden muss, was ein sehr energieintensiver Prozess ist. Wird hingegen die Trocknung mit Abwärme oder Solarenergie vollzogen, so ist die Variante Zementwerk insgesamt energetisch deutlich besser als die Variante KVA oder Variante Monoverbrennung.

	Energiebedarf Trocknung		Frischschlammverbrennung	Faulschlammverbrennung in KVA/MV	Faulschlammverbrennung im Zementwerk
	Strom	Wärme			
	kWh <sub>el</sub> /t <sub>wv</sub>	kWh <sub>th</sub> /t <sub>wv</sub>			
Modell	86	762	37%	100%	86%
Solare Trocknungsanlage <sup>1</sup>	11	274	37%	100%	163%
Abwasserwärmenutzung <sup>2</sup>	207	36	37%	100%	132%

**Tab. 4** Gewichtete Energieproduktion relativ zur Faulschlammverbrennung in KVA mit einer solaren Trocknungsanlage und einer Abwasserwärmenutzung.

<sup>1</sup> Solare Trocknung Renquishausen [6]

<sup>2</sup> Trocknungsanlage Mellingen [7]

**EDV-Tool**

Das EDV-Tool zur Erstellung von Energiebilanzen für Klärschlamm Entsorgungswege wurde von EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen im Auftrag des Bundesamtes für Energie entwickelt. Damit lässt sich die Energiebilanz für die Prüfung von neuen Entsorgungswegen, die Optimierung der einzelnen Prozesse in der gesamten Entsorgungskette sowie bei konkreten Projekten berechnen. EnergieSchweiz bietet Kläranlagenbetreibern dazu eine kostenlose Vorgehensberatung sowie die Berechnung der Energiebilanz an. Interessenten melden sich bei:

EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen  
Ernst A. Müller  
Gessnerallee 38a  
CH-8001 Zürich  
www.infrastrukturanlagen.ch  
info@infrastrukturanlagen.ch

Bei einer Monoverbrennung des Schlammes ist eine Rückgewinnung des Phosphors aus der Schlammmasche möglich.

Abschliessend kann gesagt werden, dass mit einer energetischen Überprüfung der Schlamm Entsorgung durchaus grösseres Optimierungspotenzial erkannt werden kann. Der Transport von entwässertem Schlamm fällt wenig ins Gewicht. Es kann daher durch grossräumige Lösungen mit hohem Gewicht auf Synergien zu externen Wärmelieferanten (Abwärmenutzung) und Wärmeabnehmern (Gebäudeheizung, Schlamm Trocknung, Gewächshäuser, Industrie etc.) eine optimale Energieausbeute des

Schlammes erzielt werden. Dies Bedarf aber der Erweiterung der üblichen Systemgrenzen und Einbezug neuer Einflussfaktoren. Aktiver Dialog mit Industriebetrieben und Behörden kann zu innovativen Lösungen führen, welche dem Energieträger Schlamm neue Entsorgungswege eröffnen.

**Literaturverzeichnis**

- [1] Bund (SR 814.600): Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Januar 2009).
- [2] Müller, E. A.; Kobel, B.; Schmid, F.; Levy, G. A.; Moser, R. et al (2009): Handbuch Energie in ARA, Bezug Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzleute VSA, Zürich.
- [3] Bundesamt für Umwelt, BAFU (2004): Abfallstatistik 2004, Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft im Jahr 2004.
- [4] Levy, G. A. et al. (2009): Energieoptimierung auf Kläranlagen, GWA 06/09.
- [5] Burger, S.; Rohr, Ch.; Vetter, H. (2006): Energetische Optimierung der Klärschlamm aufbereitung. Im Auftrag EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen/Bundesamt für Energie.
- [6] Bux, M. et al. (2002): Solare Trocknung von Flüssigschlamm in kleinen Kläranlagen, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 3.
- [7] Warthmann, P. (2006): Trocknungsanlage nutzt Abwasserwärme, HK-Gebäudetechnik 9/06.

- [8] [www.umwelt-schweiz.ch/abfall](http://www.umwelt-schweiz.ch/abfall) → Abfallwegweiser → Klärschlamm.
- [9] Müller, E. A., Kobel, B., Pinnekamp, J. et al (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landw. des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL), Düsseldorf.
- [10] IFEU/SGKV (2001): Vergleichende Analyse von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Strassengüterverkehr.
- [11] Doka, G. (2005): Ökobilanz für Energie aus Kehrverbrennungsanlagen, BUWAL, AWEL, EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, Bern/Zürich.

**Keywords**

Klärschlamm – Energiebilanz – Schlamm Entsorgung – Abwärme – Trocknung – Verbrennung

**Adresse der Autoren**

Elija Kind, dipl. Umw.-Ing. ETH  
elija.kind@holinger.com

Ivo Engeler  
ivo.engeler@holinger.com

HOLINGER AG  
Mellingerstrasse 207  
CH-5405 Baden  
Tel. +41 (0)56 484 85 00  
Fax +41 (0)56 484 85 45

# SWISS DECANTER

Ihr Partner für Umwelt- und Abwassertechnik

**MOBILE SCHLAMMENTWÄSSERUNGSANLAGEN**

Lohnentwässerungen  
Versuchsausführungen  
Mietanlagen  
Zentrifugen  
Revisionen

Gesamtkonzepte  
Pumpen  
Lysatechnologie  
Zubehör  
Geruchsneutralisation

**25**  
Jahre

S-Decanter AG - Postfach - Florenzstrasse 1a - 4023 Basel  
Telefon +41 (0)61 281 20 00 - Fax +41 (0)61 281 13 12  
E-Mail [info@s-decanter.ch](mailto:info@s-decanter.ch) - Internet [www.s-decanter.ch](http://www.s-decanter.ch)

