

Optimale Verwertung bringt gute CO₂-Bilanz

Klärschlamm birgt sowohl in stofflicher wie auch in energetischer Hinsicht ein beachtliches Potenzial, welches es geschickt zu nutzen gilt. Einerseits enthält er grosse Mengen des wertvollen Rohstoffes Phosphor, andererseits liefert er CO₂-neutrale Energie, wenn er gezielt in Anlagen mit hohem Energienutzungsgrad verbrannt wird. Es wird die CO₂-Bilanz verschiedener Verwertungsszenarien betrachtet.

VON ANNINA GASCHEN UND JÜRIG LIECHTI

Klärschlamm stammt aus den Schweizer Abwasserreinigungsanlagen (ARA), wobei dort sowohl allgemeine öffentliche Abwässer als auch solche aus Gewerbe und Industrie (insbesondere Lebensmittelindustrie, Holz- und Papierindustrie) behandelt werden. In der Schweiz wurden im Jahr 2006 aus den kommunalen und industriellen Abwässern 347 000 Tonnen (Trockensubstanz, TS) roher, noch gärfähiger Klärschlamm gewonnen (vgl. Abbildung 1 und [1] und [2]). Dieser Schlamm wird zum grössten Teil (85%) vergoren, das heisst «ausgefault», wobei Biogas und gefaulter Klärschlamm entstehen. Das Biogas trägt dabei etwa einen Drittel der Energie mit sich. Aus den in die Vergärung gegebenen 295 000 Tonnen (TS) Rohschlamm entstehen rund 205 000 Tonnen (TS) gefaulter Klärschlamm.

Seit dem Klärschlammverbot in der Schweiz werden die darin enthaltenen düngewirksamen Stoffe, insbesondere der Phosphor, nicht mehr genutzt. Die Klärschlämme werden heute in Zementwerken, spezialisierten Schlammverbrennungsanlagen (SVA) oder zusammen mit Siedlungsabfällen in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrannt. Dabei kann man aber nur von einer nennenswerten Energienutzung sprechen, wenn die Schlämme einigermassen trocken

verbrannt werden. Anderenfalls dient die in den Schlämmen (auch nach der Ausfäulung noch) enthaltene Energie bloss zum Verdampfen des im Schlamm enthaltenen Wassers, und es bleibt unter dem Strich keine Energie für eine Nutzung übrig. Tatsächlich geschieht die «Verbrennung» in KVA und spezialisierten Schlammverbrennungsanlagen heute praktisch ohne externen energetischen Nutzeffekt. Das Unbefriedigende an diese Situation ist offensichtlich und hat nun zu verschiedenen Projekten geführt.

Energienutzung und Phosphor-Rückgewinnung

Der Regierungsrat des Kantons Zürich hat im Jahr 2009 beschlossen, Klärschlamm künftig nur noch so zu entsorgen, dass die Energie im Klärschlamm genutzt wird und eine

Rückgewinnung des Wertstoffes Phosphor möglich ist. In der Abklärung zur Verfahrenstechnik soll nebst dem Energienutzungsgrad, dem Phosphorrückgewinnungsgrad und den Kosten auch die CO₂-Bilanz ein Kriterium darstellen.

Grundsätzlich kann man entweder zuerst den Klärschlamm verbrennen und dann den Phosphor aus der Asche zurückgewinnen, oder man kann zunächst den Phosphor aus dem Abwasser oder aus dem wässrigen Schlamm extrahieren und danach den Schlamm verbrennen. Die Verbrennung kann trocken oder als Nassoxidation erfolgen. Von den verschiedenen möglichen Verfahrenswegen scheiden jene mit einer Phosphorextraktion aus dem wässrigen Milieu aus Kostengründen und wegen eines zu kleinen Phosphorrückgewinnungsgrades aus. Auch die Nassoxidationsverfahren scheitern

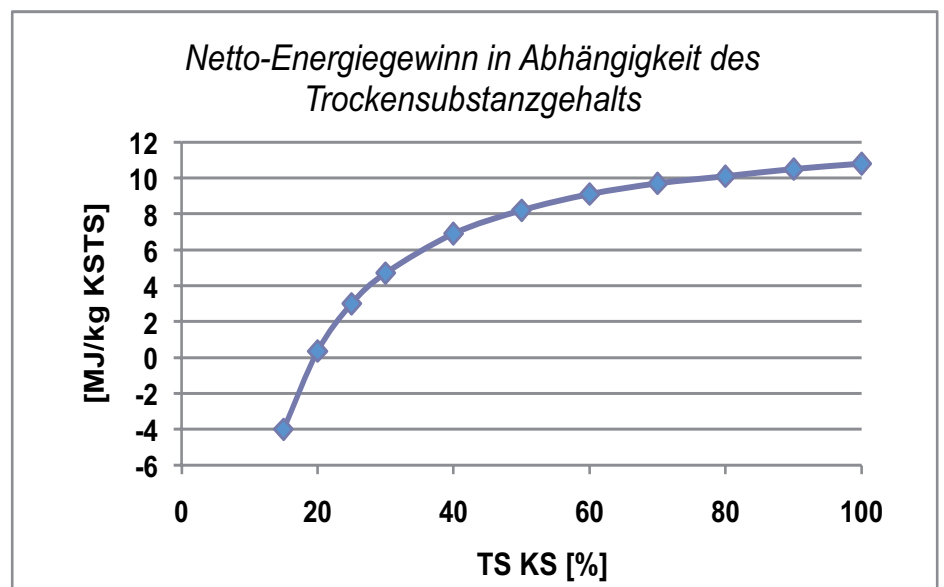


Abbildung 2: Abhängigkeit des Energiegewinns vom Trocknungszustand des Klärschlammes.

Annina Gaschen

Dr. phil. nat. Chemikerin, Projektleiterin Ökobilanzen, Neosys AG, Gerlafingen.

Jürg Liechti

Dr. sc. nat., CEO der Neosys AG, Gerlafingen.

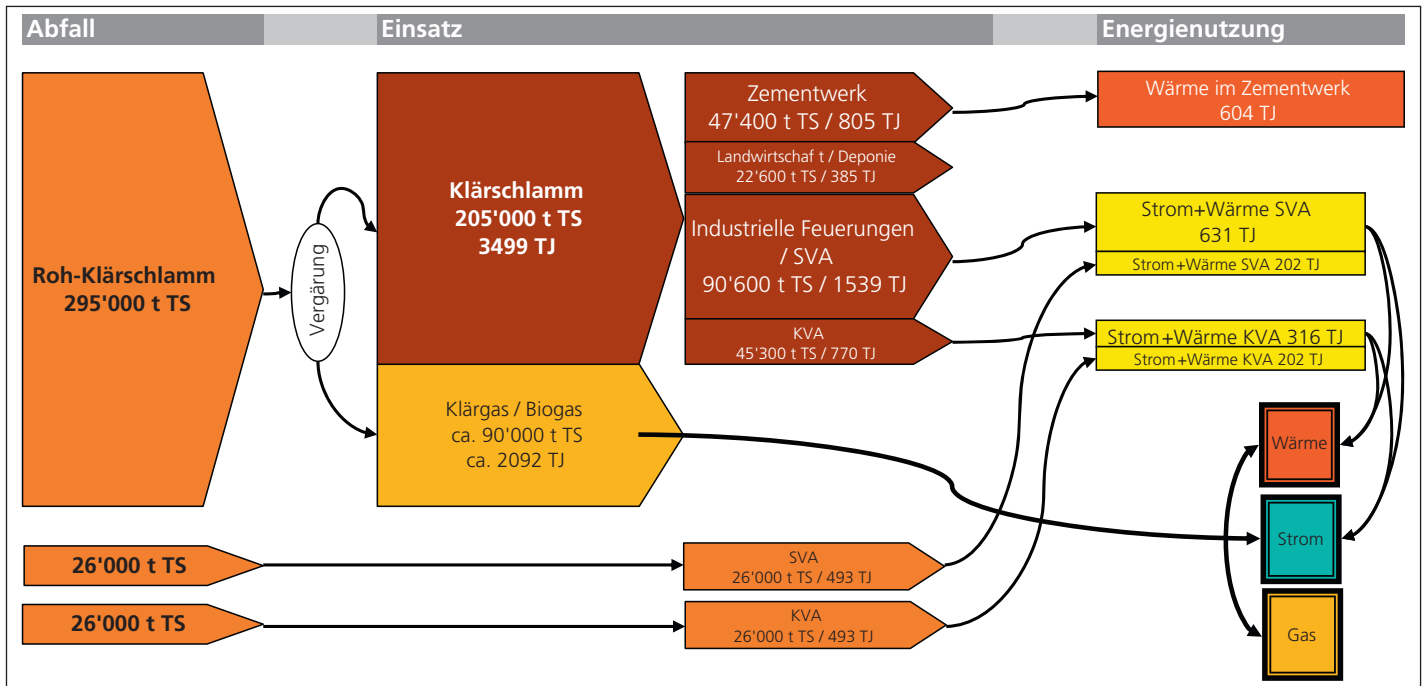


Abbildung 1: Klärschlammverwendung in der Schweiz. Quelle [1]

daran, dass gesamthaft tragbare Investitionskosten eine zentrale grosse Anlage bedingen. Ein Transport zu einer zentralen Anlage ist aber nur für entwässerte oder getrocknete Schlämme sinnvoll, aber nicht für Abwässer oder Dünnschlämme. Damit verbleibt die Möglichkeit, entwässerte oder getrocknete Schlämme zunächst unter möglichst guter Energienutzung in einem separaten Mono-Verbrennungsofen zu verbrennen und danach den Phosphor aus der Asche dieser Anlage zurückzugewinnen.

Die Krux mit dem Wassergehalt

Die Energienutzung und damit die CO₂-Bilanz hängt sehr vom Trocknungszustand des Schlamms ab, wie Abbildung 2 zeigt. Die Feuchtigkeit in den Schlämmen muss im Verbrennungsprozess nämlich als Wasser verdampft werden, was einen grossen Teil der in den Schlämmen vorhandenen Energie absorbieren kann. «Verbrennungen» von Klärschlämmen mit weniger als rund 20 Prozent Trockensubstanzgehalt sind deswegen nicht mehr exotherm, sondern brauchen mehr Energie als sie selber einbringen.

In den spezialisierten Mono-Schlammverbrennungsanlagen wird der Schlamm entwässert und meist unter Einsatz der eigenen Abwärme vorgetrocknet. Die meisten SVA werden nicht zur externen Energienutzung eingesetzt, sondern so gefahren, dass sie die eingebrachten Klärschlämme autotherm, also energieneutral behan-

deln können. Demgegenüber werden die Klärschlämme im Zementwerk getrocknet angeliefert und steuern ihre in der Trockensubstanz enthaltene Energie zur Energienutzung bei – sie substituieren die im Zementwerk als Normbrennstoff verwendete Kohle. Dies ist allerdings nur dann ein wirklicher energetischer und CO₂-Bilanzvorteil, wenn die vorhergehende Trocknung nicht mit fossilen Brennstoffen geschieht. Im optimalen Fall erfolgt die Trocknung mit anderweitig nicht nutzbarer Abwärme, beispielsweise mit Strahlungsabwärme des Zementofens, Sonnenenergie oder Kondensatabwärme. Eine grosstechnische Schlammtrocknung mit Abwärme auf tiefem Temperaturniveau ist aber technisch nicht ganz einfach, weil dabei grosse Mengen feuchter, geruchsbelasteter Abluft behandelt werden müssen.

CO₂-Bilanz der Rückgewinnungsverfahren

Abbildung 3 zeigt die Verfahrenskette für die Verwertung von Klärschlamm schematisch und erklärt die Einflüsse des jeweiligen Verfahrensschrittes auf die CO₂-Gesamtbilanz. Haupteinflussfaktoren sind dabei folgende:

- ☞ Wird das Biogas aus der Klärschlammfäulung effizient und zur Substitution fossiler Energieträger (Erdgas, Diesel, Heizöl) verwendet?
- ☞ Wird der Klärschlamm vor der Verbrennung getrocknet, mechanisch entwässert, oder gar nicht entwässert?

☞ Wenn durch die Verbrennung des Klärschlammes eine Nettoabwärme erzeugt wird: Wird diese zur Substitution fossiler Brennstoffe eingesetzt, oder «bloss» zur Stromproduktion oder geht sie sogar ungenutzt verloren?

Weitere Verfahrenselemente, wie zum Beispiel die Transportart oder die Details der Phosphorrückgewinnung, haben einen geringeren Einfluss.

Ein wichtiger Punkt, der den Unterschied zwischen Energiebilanz und CO₂-Bilanz ausmacht, ist der Emissionsfaktor der Stromproduktion. In der Schweiz ist dieser fast null, da der Schweizer Strom aus Wasser- und Kernkraftwerken stammt und fossilthermische Kraftwerke ihre Emissionen vollständig kompensieren müssen (vgl. Kasten). Es ist deshalb für die CO₂-Bilanz wichtig, mit der verfügbaren Energie fossile Brenn- und Treibstoffe zu ersetzen und nicht Strom. Dies ist in anderen Ländern anders. Damit die CO₂-Bilanzen international anwendbar sind, muss der Emissionsfaktor von Strom als Variable geführt und die Bilanz an die Situation im jeweiligen Land angepasst werden.

Drei Beispiele

Die nachfolgenden Fallbeispiele zeigen den möglichen Effekt der Verfahrenswahl auf die CO₂-Bilanz exemplarisch auf. Der Einfluss des nationalen Emissionsfaktors von Strom ist von Gewicht, aber nicht dominant. Die Transporte tragen

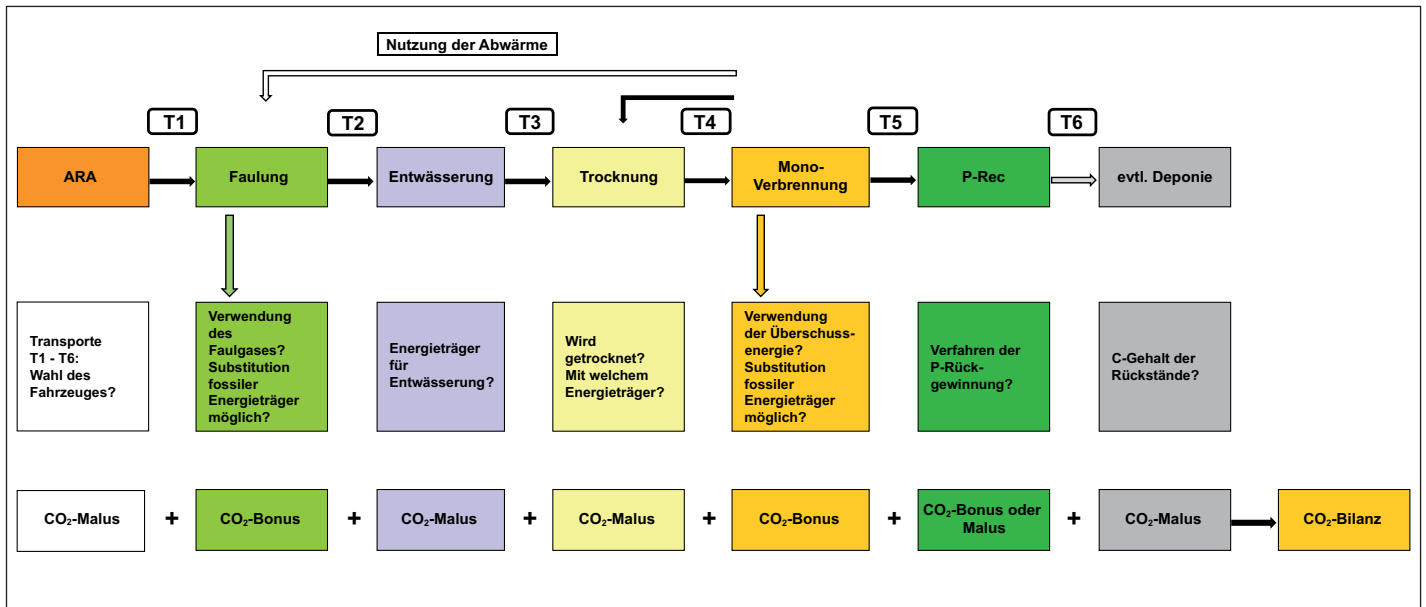


Abbildung 3: Verfahrenskette und Einflüsse auf die CO₂-Bilanz.

nur in der Größenordnung von zehn Gramm pro Kilogramm Kohlendioxid (g CO₂/kg) zur Bilanz bei und werden weggelassen.

Fallbeispiel 1: Das Faulgas wird als Treibstoff verwendet und ersetzt Diesel. Der ausgefaulte Schlamm wird entwässert und mit «Gratisabwärme» getrocknet. Der getrocknete Klärschlamm substituiert im Zementwerk Kohle.

- ☞ Bonus aus der Nutzung des Faulgases: -767 g CO₂/kg TS Faulschlamm (FS)
- ☞ Bonus aus der Nutzung der Überschussenergie: -983 g CO₂/kg TS FS
- ☞ Malus aus dem Energiebedarf der Phosphorrückgewinnung: +55 g CO₂/kg TS FS

Somit resultiert eine CO₂-Bilanz der Verfahrenskette von -1695 g CO₂/kg TS FS.

Fallbeispiel 2: Das Faulgas wird in das Gasnetz eingespeist und ersetzt Erdgas. Der ausgefaulte Schlamm wird entwässert und in einer SVA verbrannt, ohne vorher getrocknet zu werden. Die gesamte Überschussenergie wird in einem Fernwärmenetz genutzt und ersetzt Heizöl (80%) und Erdgas (20%).

- ☞ Bonus aus der Nutzung des Faulgases: -581 g CO₂/kg TS FS
- ☞ Bonus aus der Nutzung der Überschussenergie: -353 g CO₂/kg TS FS
- ☞ Malus aus dem Energiebedarf der Phosphorrückgewinnung: +55 g CO₂/kg TS FS

Somit resultiert eine CO₂-Bilanz der Verfahrenskette von -879 g CO₂/kg TS FS.

Fallbeispiele 3a und 3b: Das Faulgas wird verstromt und ins Stromnetz eingespeist, wo es konventionellen Strom ersetzt. Je nach gewähltem Stromszenario (3a: CH-Produktionsmix oder 3b: EU-Produktionsmix; siehe Kasten) kann ein CO₂-Bonus erzielt werden. Der ausgefaulte Schlamm wird entwässert und in einer SVA verbrannt, ohne vorher getrocknet zu werden. Mit der Überschussenergie wird eine Dampfturbine gespiesen und Strom erzeugt.

- ☞ Bonus aus der Nutzung des Faulgases (Fall a bzw. b): 0 bzw. -434 g CO₂/kg TS FS
- ☞ Bonus aus der Nutzung der Überschussenergie: 0 bzw. -210 g CO₂/kg TS FS
- ☞ Malus aus dem Energiebedarf der Phosphorrückgewinnung: +55 bzw. +88 g CO₂/kg TS FS

Somit resultiert eine CO₂-Bilanz der Verfahrenskette von +55 bzw. -556 g CO₂/kg TS FS.

Fazit

Durch eine Verwertung von Klärschlämmen kann wertvoller Phosphor zurückgewonnen werden. Die verschiedenen Möglichkeiten, wie dies getan werden kann, weisen aber eine sehr unterschiedliche CO₂-Bilanz auf. Je nach Verfahren kann eine CO₂-Mehremission entstehen oder aber eine CO₂-Minderung von bis zu 1,7 kg CO₂ pro kg TS Faulschlamm (vgl. Fallbeispiel 1). Das Gesamtpotenzial der CO₂-Einsparung bei einer optimalen Verwertung des gesamten Faulschlammvolumens der Schweiz (250000 t TS/Jahr) ergäbe somit 424000 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Dies entspricht fast zehn Prozent des Schweizer Reduktionszieles im Kyoto-Protokoll. Dieses Potenzial muss in Zukunft vollständig genutzt werden! Maximale Werte können aber nur erreicht werden, wenn der Klärschlamm vor seiner Verbrennung mit anderweitig nicht nutzbarer Abwärme getrocknet wird.

Literatur:

- [1] *Energie Trialog Schweiz: Optimale Nutzung der Energie aus Abfällen, Side Document zur Energiestrategie 2050*, Neosys AG, 2009
- [2] *Biogene Güterflüsse der Schweiz 2006*, BAFU, BFE, BLW (2008) ●

Emissionsfaktor

Der Stromverbrauch respektive die Stromerzeugung tragen unterschiedlich zur CO₂-Bilanz bei, je nachdem mit welchem Emissionsfaktor (kg CO₂ pro kWh Strom) gerechnet wird. Es entspricht der aktuellen Politik der Bundesämter für Energie und für Umwelt, in der Schweiz mit einem Emissionsfaktor von null zu rechnen, weil dies dem Schweizerischen Stromproduktionsmix entspricht. Andere mögliche Annahmen wären ein schweizerischer Verbrauchermix, welcher kürzlich in einer Studie zu etwa 110 g CO₂ pro kWh berechnet wurde, oder ein EU-Produktionsmix (431 g CO₂/kWh). In diesen Fällen leisten die Prozessschritte, die Strom erzeugen oder verbrauchen, ebenfalls Beiträge zur Bilanz.