

KVA Böblingen: Kurzstudie zum PYREG-Verfahren

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Aufgabenstellung	2
2	Kurzbeschreibung PYREG-Verfahren.....	3
3	Nutzung des Produkts.....	4
3.1	Zulassung als Düngemittel.....	4
3.2	Pflanzenverfügbarkeit	4
3.3	Schwermetalle und sonstige Schadstoffe	5
3.4	Vergleich mit Klärschlammverbrennung	5
3.5	Zusammenfassung	5
4	Energie	6
5	Emissionen	6
5.1	Luft	6
5.2	Wasser.....	7
6	Betriebserfahrungen/Entsorgungssicherheit	8
7	Zusammenfassung	9
	Literatur	10
	Abkürzungsverzeichnis	10

1 Einleitung, Aufgabenstellung

Der Zweckverband Restmüllheizkraftwerk Böblingen beabsichtigt, auf seinem Werksgelände eine Klärschlammverwertungsanlage zu errichten und für einen eigens dafür gegründeten Zweckverband zu betreiben. Wesentliche Ziele, die mit dem Betrieb der Anlage für die Verbandsmitglieder verfolgt werden, sind:

- Erfüllung der bindenden Vorgaben der Klärschlammverordnung
- Entsorgungssicherheit
- Auskopplung von Fernwärme für das örtliche Fernwärmenetz
- Einhaltung hoher Umweltstandards

Aus Gründen der Zeit- und Kosteneffizienz soll bereits im Rahmen der Vorplanungen eine Festlegung auf ein Verwertungsverfahren vorgenommen werden.

Als Alternative zu modernen Klärschlammverwertungsanlagen mit Wirbelschichtfeuerung wird seit längerem der Einsatz von kleineren, dezentralen Verwertungsanlagen diskutiert. Hier ist insbesondere das PYREG-Verfahren relevant, in dem durch Pyrolyse ein Dünger-Substrat zur landwirtschaftlichen Verwertung erzeugt werden soll. Als wesentliche Vorteile werden genannt:

- Dezentrale Lösungen führen zu einer Reduktion der Klärschlammtransporte.
- Das Pyrolyse-Produkt soll ohne weitere Aufbereitung als Düngersubstrat verwendet werden können, so dass der im Klärschlamm enthaltene Phosphor genutzt werden kann.
- Ein Teil des im Klärschlamm enthaltenen Kohlenstoffs soll in dem Pyrolyse-Produkt gebunden werden.

Im Rahmen dieser Kurzstudie wird untersucht, ob der Einsatz von PYREG-Anlagen zurzeit eine technisch sinnvolle Alternative zu einer Klärschlammverwertungsanlage mit Wirbelschichtfeuerung am Standort Böblingen ist. Diese Kurzstudie beruht auf Veröffentlichungen zum Pyreg-Verfahren und Informationen des Herstellers. Sie konzentriert sich auf folgende Aspekte:

- Nutzung des Produkts
- Energiebilanz
- Emissionen
- Betriebserfahrungen.

2 Kurzbeschreibung PYREG-Verfahren

Beim PYREG-Verfahren findet bei Temperaturen um ca. 650 °C eine thermochemische Zersetzung von Klärschlamm statt. Der Klärschlamm muss einen Trockenrückstands- (TR)-Gehalt von ca. 90 % aufweisen, also praktisch vollständig getrocknet sein. Das Verfahren kombiniert den Pyrolyse-Prozess (in Abbildung 2.1 PYREG-Reaktor) mit einer anschließenden Brennkammer, in der die bei der Pyrolyse entstehenden Gase verbrannt werden. Die in der Brennkammer freiwerdende Energie wird für die im Pyrolyse-Reaktor benötigte Wärme genutzt. Der pyrolysierte Klärschlamm wird aus dem Reaktor abgezogen.

Die Restwärme im Abgas wird über einen Abgas-Wärmetauscher entzogen und kann an dieser Stelle ausgekoppelt werden. Die Abgasreinigung erfolgt über einen mit Natronlauge betriebenen Wäscher und einen nachgeschalteten Aktivkohlefilter. Das Prinzipschema ist im Folgenden dargestellt:

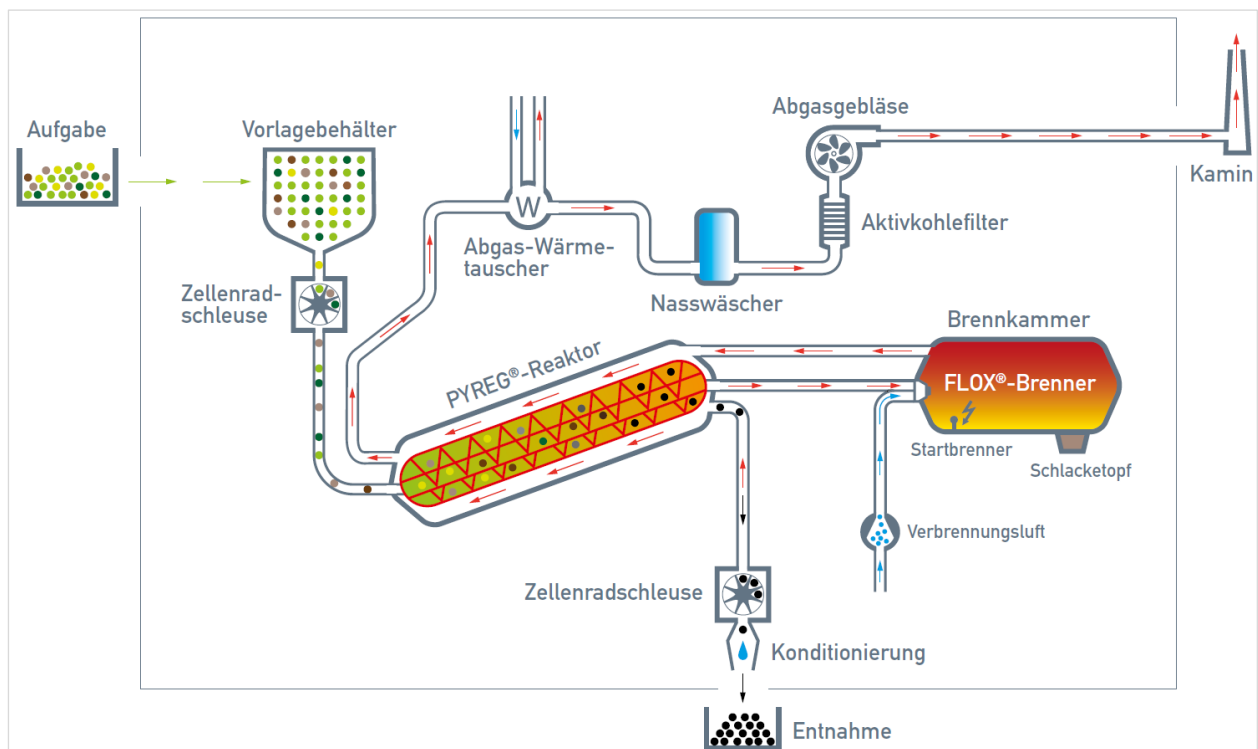


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des PYREG-Verfahrens [2, p. 33]

Das Pyreg-Verfahren wurde ursprünglich für die Verwertung von Biomasse-Rückständen entwickelt. Für Klärschlamm werden seitens Pyreg drei Referenzen angegeben:

1. Linz-Unkel, in Betrieb seit 2015
2. Himburg, in Betrieb seit 2016

3. USA, Redwood, in Betrieb seit 2017

Bei diesen Anlagen handelt es sich um dezentrale Kleinstanlagen.

3 Nutzung des Produkts

Das Produkt des PYREG-Verfahrens ist der im Pyrolyse-Reaktor behandelte Klärschlamm, der zum einen die Klärschlammasche und den darin enthaltenen Phosphor, zum anderen Kohlenstoffverbindungen enthält. Er wird auch als Düngesubstrat, Biokohle oder Karbonisat bezeichnet.

3.1 Zulassung als Düngemittel

Voraussetzung für die Verwendung von Kohle-Phosphor-Düngern in der Landwirtschaft ist eine Zulassung als Düngemittel nach der nationalen oder der EU-Düngemittelverordnung. Kohlenstoffhaltige Rückstände aus der Pyrolyse oder Vergasung von Klärschlamm sind in Anlage 2 der gültigen Düngemittelverordnung (DüMV) nicht als Düngemittel oder Ausgangsstoff für Düngemittel gelistet. Hier sind explizit nur Aschen aus der Verbrennung von Klärschlamm genannt. Auch die EU-Düngemittelverordnung lässt aus Klärschlamm erzeugte Kohlen nicht als Düngemittel zu. Eine Verwendung in der Landwirtschaft ist daher derzeit nicht zulässig. Auch sind Pyrolyse-Kohlen nach aktueller Rechtslage keine zulässigen Ausgangsstoffe zur Herstellung von Phosphor-Düngemitteln [1, p. 5].

3.2 Pflanzenverfügbarkeit

Aus Sicht der Landesregierung Baden-Württemberg [1, p. 5] sollen unabhängig von einer düngerechtlichen Zulassung weder Aschen aus der Klärschlammverbrennung noch kohlenstoffhaltige Rückstände aus der Pyrolyse oder Vergasung direkt bodenbezogen verwertet werden, sondern müssen einem geeigneten Aufbereitungsverfahren zugeführt werden. Denn im Vergleich zu Phosphor-Recyklaten wie Struviten weisen diese meist deutlich geringere Pflanzenverfügbarkeiten für Phosphor sowie höhere Schadstoffgehalte auf. Ausnahme hiervon könnten Verfahren darstellen, die der gleichzeitigen thermischen Behandlung der Klärschlämme und der Gewinnung von Phosphor dienen (z. B. MePhrec- und EuPhoRe-Verfahren) [1, p. 5]. Das Pyreg-Verfahren ist hier nicht angeführt.

Für die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in Pyrolyse-Kohlen aus dem PYREG-Verfahren gibt es derzeit noch keine Nachweise, eine hohe Pflanzenverfügbarkeit wird bei den gewählten Prozesstemperaturen jedoch als fraglich angesehen [1, p. 5]. Information über Versuche zur Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit liegen nicht vor.

3.3 Schwermetalle und sonstige Schadstoffe

Leichtflüchtige Schwermetalle wie Quecksilber und Cadmium werden im Pyrolyse-Reaktor in die Gasphase überführt und in der Abgasreinigung (Wäscher und Aktivkohlefilter) entfernt. Nichtflüchtige Schwermetalle wie Kupfer, Blei und Zink bleiben hingegen in der Pyrolyse-Kohle zurück, da sie bei Temperaturen um 650 °C nicht verdampfen. Diese würden bei der Anwendung als Düngemittel auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgetragen, so dass es bei einer flächendeckenden Nutzung des PYREG-Verfahrens zu einer Anreicherung dieser Schwermetalle kommen könnte. Eine Schadstoffsенке ist hier nicht erkennbar.

Die Anreicherung von Schwermetallen in der Pyrolyse-Kohle führt dazu, dass Klärschlämme mit hohen Schwermetallkonzentrationen nicht in dem PYREG-Verfahren verwertet werden können. Nach Angabe von PYREG [4] entstehen aus einer Tonne getrocknetem Klärschlamm etwa 550 kg Pyrolyse-Kohle, so dass sich eine Anreicherung der Konzentrationen nichtflüchtiger Schwermetalle um ca. den Faktor 1,8 ergibt.

Unklar ist weiterhin die Belastung der Pyrolyse-Kohle mit krebserregenden, erbgutverändernden und fortpflanzungsgefährdenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Diese entstehen zwangsläufig bei der Pyrolyse, und sofern sie über den Gasweg in die Brennkammer gelangen, werden sie dort durch die hohe Temperatur zerstört. Es liegen aber keine Informationen über die PAK-Konzentrationen in der Pyrolyse-Kohle aus der Klärschlammverwertung vor.

3.4 Vergleich mit Klärschlammverbrennung

Bei der Verbrennung von Klärschlamm in der Wirbelschichtfeuerung wird Phosphor vollständig in der Asche gebunden, und aus der Asche kann z.B. durch das TetraPhos-Verfahren von Remondis oder ein vergleichbares Verfahren der Fa. Ecophos zu Phosphorsäure aufbereitet werden. Damit ist ein nahezu vollständiges P-Recycling möglich.

Schwermetalle werden aus dem Prozess ausgeschleust. PAK entstehen bei der Wirbelschichtfeuerung und Temperaturen von mehr als 850 °C nicht.

3.5 Zusammenfassung

Die Nutzung der im PYREG-Verfahren erzeugten Kohle als Dünger ist in Deutschland nicht zulässig. Sie kann auf der Basis der aktuell vorliegenden Informationen auch nicht befürwortet werden. Nach einer Einschätzung des BUND sollte von der Verwertung von

Klärschlamm in einem Pyrolyseverfahren aufgrund der Schadstoffbelastung generell abgesehen werden [3, p. 8].

4 Energie

Eine zentrale KVA mit Wirbelschichterfeuerung ermöglicht es, mechanisch entwässerten Klärschlamm mit einem TR-Gehalt von 25 % ohne Zusatzenergie zu verwerten. Der Klärschlamm wird auf einen TR-Gehalt von ca. 40% getrocknet, die zum Trocknen hierfür benötigte Energie wird in dem Kessel nach der Feuerung erzeugt, und die Kondensationswärme des bei der Trocknung entstehenden Dampfes kann zur Fernwärmeerzeugung genutzt werden. Der Kessel erzeugt Hochdruckdampf, der eine Turbine antreibt, so dass die thermische Klärschlammverwertung netto sowohl Wärme als auch Strom erzeugt.

Beim PYREG-Prozess hingegen wird Klärschlamm mit einem TR-Gehalt von ca. 90 % als Brennstoff benötigt. Für eine Beispielsanlage mit einer thermischen Leistung von 1.500 kW – dies entspricht einem Jahresdurchsatz von ca. 4.000 Tonnen TR/a – können nach Angaben von Pyreg [4] „bis zu 750 kW“ für die Trocknung des Klärschlammes ausgekoppelt werden. Diese Leistung reicht nicht aus, um den Klärschlamm zu trocknen, dies würde etwa 1.200 kW erforderlich machen. Es muss also eine andere Energiequelle eingesetzt werden. Strom wird nicht erzeugt, sondern verbraucht. Da die Energiebilanz negativ ist, kann unter Berücksichtigung des Energiebedarfs der Trocknung auch keine Fernwärme erzeugt werden. Sofern die Trocknung an einem anderen Standort erfolgt und die hierfür benötigte Energie außer acht gelassen wird, wäre eine Fernwärmeerzeugung – die letztlich nur einen Teil der für die Trocknung benötigten Energie wieder bereitstellt – denkbar, aber an dezentralen Standorten ist die Möglichkeit einer Fernwärmeerzeugung in der Regel auch nicht gegeben.

Die Energiebilanz des PYREG-Verfahrens ist daher deutlich schlechter als die einer modernen Klärschlammverbrennungsanlage, insbesondere wenn wie am Standort Böblingen die Möglichkeit der Fernwärmeauskopplung gegeben ist.

5 Emissionen

5.1 Luft

Die PYREG-Anlage muss wie eine Klärschlammverbrennungsanlage auf der Basis der 17. BImSchV genehmigt werden. Für Klärschlammverbrennungsanlagen mit einem Durchsatz von mehr als 3 t/h sind außerdem die BVT-Schlussfolgerungen der EU-Kommission vom November 2019 [6] zu berücksichtigen, der teilweise weiter gehende Forderungen als die 17. BImSchV

aufstellen. Die BVT-Schlussfolgerungen gelten für die PYREG-Anlage aufgrund der Pyrolyse-Technik und des niedrigen Durchsatzes nicht.

Am Standort des RMHKW Böblingen gelten Emissionsgrenzwerte, die teilweise bereits unterhalb der BVT-Grenzwerte liegen und auch für eine neue KVA einzuhalten wären. Wesentliche Grenzwerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt und mit den Werten der 17. BImSchV verglichen:

Tabelle 5-1: Vergleich ausgewählte Emissionsgrenzwerte RMHKW Böblingen – 17. BImSchV, Tagesmittelwerte

Schadstoff	Einheit	Grenzwert Böblingen	Grenzwert 17. BImSchV
Stickstoffdioxid	mg/m ³ (i.N.tr.)	70	200
Chlorwasserstoff	mg/m ³ (i.N.tr.)	5	10
Quecksilber	mg/m ³ (i.N.tr.)	0,02	0,03
Schwefeldioxid	mg/m ³ (i.N.tr.)	25	50
Gesamtstaub	mg/m ³ (i.N.tr.)	5	10
Ammoniak	mg/m ³ (i.N.tr.)	5	10 (*)

(*): kein Grenzwert gültig, sofern keine Entstickungsanlage installiert ist

Tabelle 5-1 zeigt, dass die für den Standort Böblingen geltenden Emissionsgrenzwerte teilweise um den Faktor 2 bis 3 unter denen liegen, die für eine neue PYREG-Anlage gelten würden. Eine solche Anlage wäre daher nach den aktuell geltenden Bestimmungen auf dem Werksge-lände des Restmüllheizkraftwerks in Böblingen nicht genehmigungsfähig.

5.2 Wasser

Die Abgasreinigungsanlage von PYREG arbeitet nicht abwasserfrei. Das Abwasser aus dem Wäscher wird in eine Kläranlage geleitet, eine Abwasseraufbereitungsanlage ist nach den vor-liegenden Informationen nicht vorgesehen. Im Wäscher wird hauptsächlich Schwefeldioxid aus dem Abgas durch Zugabe von Natronlauge absorbiert, und es entsteht Natriumsulfat.

Im Vergleich zu der Abgasreinigung einer Klärschlammverwertungsanlage mit Wirbelschichtfeu-erung ist folgendes anzumerken:

- Es ist zu erwarten, dass im Wäscher auch leichtflüchtige Schwermetalle wie Quecksilber abgeschieden werden, die bei Fehlen einer Abwasseraufbereitung ins Klärwerk geleitet

werden. Die Abgasreinigung einer Klärschlammverwertungsanlage kann dagegen abwasserfrei konzipiert werden.

- Natronlauge ist ein vergleichsweise teures Absorptionsmittel für die hohen Schwefeldioxidfrachten, der Preis reflektiert den Energiebedarf für die Herstellung. Für die Abgasreinigung einer Klärschlammverwertungsanlage kann stattdessen Kalk eingesetzt werden, der wesentlich günstiger ist.

Die Einleitung von nicht aufbereitetem Abwasser aus der Abgasreinigung wäre nach den BVT-Schlussfolgerungen nicht zulässig (s. BVT 33). Als beste verfügbare Technik wird die abwasserfreie Abgasreinigung benannt.

6 Betriebserfahrungen/Entsorgungssicherheit

Eine direkte Prüfung der Betriebserfahrungen der beiden deutschen PYREG - Referenzanlagen konnte aufgrund der Kürze des Bearbeitungszeitraums nicht erfolgen. Wesentlich erscheint hier folgendes Zitat aus [1, p. 3]:

„Recherchen des Umweltministeriums haben ergeben, dass ein stabiler automatischer Dauerbetrieb ohne intensive Betreuung – häufig durch den Anlagenhersteller – auch nach mehreren Jahren nicht erreicht werden konnte.“

Langzeiterfahrungen mit der PYREG-Anlage, insbesondere Aussagen zu den Standzeiten der thermisch und korrosiv stark beanspruchten Anlagenteile, liegen noch nicht vor. Es wird aufgrund der Erfahrungen mit vergleichbaren Prozessen insbesondere als anspruchsvoll angesehen, bei wechselnden Klärschlammbeschaffenheiten einen kontinuierlichen, gleichbleibende Produktqualitäten garantierenden Pyrolyseprozess zu realisieren.

PYREG spezifiziert bis zu 7.500 h Betriebsstunden pro Jahr. Auch wenn diese Angabe als realistisch angesehen wird, muss daher für einen Zeitraum von knapp zwei Monaten pro Jahr eine andere Klärschlammverwertung oder ein Zwischenlager vorgesehen werden muss. Bei einer KVA mit Wirbelschichtfeuerung sind hingegen mindestens 8.000 Betriebsstunden pro Jahr möglich, und Stillstands- und Revisionszeiten können durch einen entsprechend dimensionierten Klärschlamm-Bunker gut überbrückt werden. Die Zwischenlagerung von hochgetrocknetem Klärschlamm ist hingegen technisch anspruchsvoller, er ist hinsichtlich seiner Eigenschaften mit Braunkohlenstaub vergleichbar und bedarf entsprechender Maßnahmen zur Brandfrüherkennung und -bekämpfung [5].

Im Vergleich zu Wirbelschichtfeuerungen für Klärschlamm, die seit den 1970-er Jahren im stabilen Dauerbetrieb und mit hoher Verfügbarkeit laufen, wird erwartet, dass PYREG-Anlagen noch einen erheblichen Zeitraum benötigen, um eine vergleichbare Zuverlässigkeit zu erreichen. Es kann aus heutiger Sicht auch nicht vorausgesetzt werden, dass dieses Ziel überhaupt erreicht werden kann.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Kurzstudie wurden auf der Basis allgemein verfügbarer Informationen eine erste Einschätzung zum PYREG-Verfahren und ein Vergleich mit einer modernen Klärschlammverwertungsanlage mit Wirbelschichtfeuerung am Standort Böblingen erstellt. Der Vergleich wurde für folgende Kriterien erstellt:

- Nutzung des Produkts
- Energie
- Emissionen
- Betriebserfahrungen / Entsorgungssicherheit

Für alle Kriterien zeigt sich, dass nach dem aktuellen Kenntnisstand eine moderne Klärschlammverwertungsanlage mit Wirbelschichtfeuerung deutliche Vorteile gegenüber dem PYREG-Verfahren aufweist. Wesentlich ist, dass das Produkt des PYREG-Verfahrens in Deutschland derzeit nicht als Dünger eingesetzt werden darf, und dass Fragen zur Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors und der Schadstoffbelastung nicht als hinreichend geklärt angesehen werden können. Über die Anforderungen der Klärschlammverordnung hinaus ist festzuhalten, dass das PYREG-Verfahren in Verbindung mit einer Volltrocknung des Klärschlammes zusätzlicher Energie bedarf und eine Auskopplung von Fernwärme bei diesem Konzept nicht gut darstellbar ist. Die eingangs genannten Projektziele können daher mit einer PYREG-Anlage nicht erreicht werden.

wandschneider + gutjahr
ingenieurgesellschaft mbh

Hamburg, Juni 2020/M. Gutjahr, M. Harathi

Literatur

- [1] Landtag von Baden-Württemberg, *Drucksache 16/7820: Kleine Anfrage des Abg. Paul Nemeth CDU und Antwort des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft zum Recycling von Klärschlamm in Pyrolyse-Reaktoren*, 03.03.2020.
- [2] CUTEC-Institut, „Technologiebewertung thermochemischer Konversionsverfahren von Klärschlamm als Alternative zur Verbrennung unter besonderer Berücksichtigung der Potentiale zu Nährstoffrückgewinnung,“ Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Clausthal-Zellerfeld, 2017.
- [3] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND), „Terra Preta / Pyrolysekohle,“ Berlin, 2015.
- [4] PYREG-homepage, www.pyreg.de/sludge
- [5] VGB Richtlinie 116 M, "Brand- und Explosionsschutz beim Trocknen und Verbrennen von Klärschlamm"
- [6] Durchführungsbeschluss (EU) 2019/2010 der Kommission vom 12. November 2019 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments in Bezug auf die Abfallverbrennung

Abkürzungsverzeichnis

BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BVT	Beste verfügbare Technik
KVA	Klärschlammverbrennungsanlage
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
TR	Trockenrückstand