

Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen durch eine optimierte Faulraumdurchmischung

OPTIFAU-Leitfaden

Wien, 2022

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren:

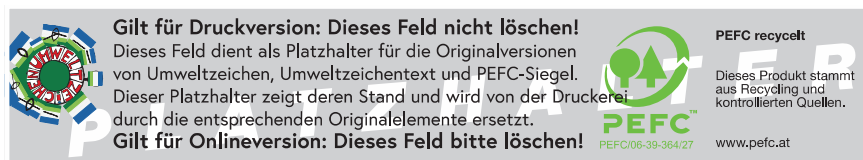
Universität Innsbruck (Arbeitsbereich Umwelttechnik):

Rauch Wolfgang; Draxl-Weiskopf Simon; Ebner Christian; Sappl Johannes; Kumar Prashant;
Dabiri Soroush

MCI | Die Unternehmerische Hochschule®:

Meister Michael; Neuner Thomas; Koch Marc; Pillei Martin

Gesamtumsetzung: Rauch Wolfgang



Wien, 2022. Stand: 21. November 2022

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

1 Einleitung und Zielsetzung	4
1.1 Grundlagen	4
1.2 Zielsetzung	5
2 Handlungsempfehlungen.....	6
2.1 Faulturmgeometrie und Reaktoranzahl	6
2.2 Betriebliche Optionen und Mischeinrichtung	6
2.2.1 Externe Umwälzung	7
2.2.2 Mechanische Durchmischung.....	8
2.2.3 Gaseinpressung bzw. gasinduzierter Druckausgleich.....	8
2.2.4 Serieller Betrieb	9
2.3 Ablaufschema der betrieblichen Optimierung.....	9
Abbildungsverzeichnis.....	11

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Grundlagen

Ein wesentlicher Aspekt für die Energieeffizienz von Kläranlagen ist die Erzeugung und nachfolgende Verwertung von Biogas für die Wärmeerzeugung und die Generierung von Strom. Biogas entsteht durch anaerobe Vergärung von biologisch abbaubaren Substanzen in Faulbehältern. Im gegenständlichen Fall wird der Abbau und die Umwandlung von (vorwiegend) kommunalen Klärschlämmen in Faultürmen von Kläranlagen behandelt. Ein wesentlicher Faktor für die Produktion von Biogas ist die kontinuierliche Durchmischung des Faulschlammes im Faulturm. Da für die Durchmischung – unabhängig vom Verfahren – immer Energie benötigt wird, nimmt die Faulraumdurchmischung in mehrfacher Weise Einfluss auf die Energieeffizienz von Kläranlagen:

- Der Mischungsvorgang verbraucht (direkt) Energie
- Mangelnde Durchmischung führt zu einer geringeren Verwertung des organischen Materials (geringerer anaerober Abbau) und damit zu einer geringeren Produktion von Biogas – bzw. zu einem erhöhten Restgaspotential im Gärrest
- Mangelnde Durchmischung führt zu Ablagerungen im Faulturm und damit langfristig zu einem verringerten aktiv nutzbaren Volumen (Reduktion der Biogasproduktion) und zu kostenintensiven Räumungen.

Die Durchmischung des Faulschlammes in Faultürmen wird sowohl von der Geometrie und Beschickung der Behälter als auch von der Art und Methode der Durchmischung beeinflusst. Über die Jahre haben sich verschiedene Methoden und Faulturmgeometrien etabliert:

- Zu den gängigsten Konstruktionen zählen zylindrische und eiförmige Faultürme. Auch Mischformen, zum Beispiel eine Kombination aus zylindrischen Querschnitten mit kegelförmigen Abschlüssen, werden häufig eingesetzt.
- Prinzipiell wird der Inhalt (Faulschlamm) des Faulbehälters immer mit einer externen Umwälzung rezirkuliert. Die externe Umwälzung dient hauptsächlich dazu die Temperatur im Faulbehälter zu regulieren, aber auch um eine kontrollierte

Beschickung zu gewährleisten. Für manche Faulbehälter wird die Durchmischung durch die externe Umwälzung bereits als ausreichend angesehen. Als zusätzliche Mischeinrichtungen werden mechanische Rührwerke (z.B. Propeller) eingesetzt. Alternativ kommen auch Impeller in einem Saugrohr zum Einsatz. Eine andere Art der Durchmischung ist die Einpressung von Biogas oder die Erzeugung von Druckunterschieden im Behälter durch das kontinuierlich produzierte Biogas, welche dann in weiterer Folge hydraulisch ausgeglichen werden und dadurch zu einer Durchmischung führen.

Trotz der Relevanz des Themas werden Faultürme üblicherweise einzelfallbezogen konzipiert und es gibt auch keine einheitliche Vorgangsweise für die optimale Auslegung der Mischungseinrichtung. Die Ausgestaltung von Falltürmen basiert meist auf der Erfahrung der Projektanten und auf der empirischen Evidenz von einigen wenigen Bestandsanlagen.

1.2 Zielsetzung

Dieser Leitfaden baut auf den Ergebnissen der Studie „OPTIFAU – Steigerung der Energieeffizienz durch eine optimierte Faulraumdurchmischung“ auf. Ziel ist es Handlungsempfehlungen für Bau und Betrieb von Faulbehältern zu präsentieren, um die Energieeffizienz der Faulraumdurchmischung zu verbessern.

Wie allerdings in der oben angeführten Studie gezeigt wird, gibt es – zumindest für die untersuchten Anlagen und Durchmischungsmethoden – keinen klaren Ursache-Wirkungsmechanismus zwischen Energieeinsatz und Erfolg der Methode (Biogaserzeugung bzw. organischer Abbaugrad). Insofern sind auch die nachfolgenden Hinweise als allgemeine Handlungsempfehlungen zu sehen und nicht als definitive Richtlinien der Gestaltung.

2 Handlungsempfehlungen

2.1 Faulturmgeometrie und Reaktoranzahl

Die Möglichkeit der Konzeption der Faulturmgeometrie ergibt sich nur im Rahmen des Neubaus des Behälters und ist demgemäß eine seltene Option. In diesem Fall sind zwei grundsätzliche Fragestellungen zu erörtern, das ist erstens die Faulturmgeometrie und zweitens die Anzahl der Behälter:

- Auf Basis der Literaturodaten und den gewonnenen Erkenntnissen im Rahmen der Untersuchungen des OptiFaul-Projektes wird für den Neubau eines Faulturms eine einfache, zylindrische Bauform mit konischem Abschluss (unten) empfohlen. Dies ist sowohl konstruktiv als auch im Bauablauf einfacher als eiförmige Konstruktionen. Zudem sind die Kosten für den Bau eines zylindrischen Faulturms niedriger. Der konische Abschluss bei zylindrischen Faultürmen ist wichtig, da ein flacher Abschluss die Bildung von Ablagerungen durch sedimentierende Feststoffe begünstigt. Ein konischer Abschluss ermöglicht es einen Grundablass durchzuführen, um sedimentiertes Material gezielt aus dem System zu entfernen. Ein signifikanter betrieblicher Vorteil der eiförmigen Konstruktion ist nicht ersichtlich.
- Für größere Anlagen (d.h. für größere erforderliche Volumina des Faulbehälters) empfiehlt sich die Errichtung von zwei separaten Faultürmen. Dies ist nicht nur für die betriebliche Sicherheit zu empfehlen, sondern eröffnet auch alternative Optionen für den Betrieb und die effiziente Durchmischung. Weiteres vor allem durch die optionale Umstellung auf den seriellen Betrieb der beiden Behälter.

2.2 Betriebliche Optionen und Mischeinrichtung

Im Zuge der OptiFaul Studie wurde im Labormaßstab gezeigt, dass eine zu hohe Durchmischung zu keiner gesteigerten Biogasproduktion bzw. Biogasqualität führt, jedoch zu höheren Betriebskosten. Literaturdaten bestätigen diese Ergebnisse. Die Praxisuntersuchungen im Rahmen des OptiFaul-Projektes haben gezeigt, dass die meisten Faultürme stärker durchmischt werden als es biologisch und zur Verhinderung von Ablagerungen notwendig wäre. Das führt zu einem erhöhten Bedarf an elektrischer Energie. Im Bereich zwischen ca.

2 bis 10 W/m³ an eingebrachter elektrischer Leistung (Summe aus Wirkleistung der Umwälzpumpe und Wirkleistung der internen Durchmischung) konnte kein Zusammenhang mit dem organischen Abbaugrad und der Biogasproduktion der untersuchten Anlagen festgestellt werden.

Generell ist daher für die Planung von Mischungseinrichtungen auf Faultürmen nicht auf eine maximale Durchmischung abzielen, sondern auf die energieeffiziente Optimierung der Biogasproduktion (geringes Restgaspotential) bei zeitgleicher Vermeidung von Ablagerungen im Behälter.

2.2.1 Externe Umwälzung

Unabhängig von der Notwendigkeit weiterer Mischungseinrichtungen ist die externe Umwälzung für die Beheizung der Faultürme immer notwendig. Zudem wird die Beschickung der Faultürme über die externe Umwälzung geführt.

Die Frage, ob in allen Fällen zusätzlich eine interne Durchmischung notwendig ist, konnte im Rahmen der Studie OPTIFAUl noch nicht vollständig beantwortet werden. Praxiserfahrungen an Anlagen, welche ausschließlich mittels externer Umwälzung durchmischen, zeigten bis jetzt noch keine nachteiligen Effekte. Für die Planung von Faultürmen ist jedoch zumindest optional immer eine interne Durchmischung vorzusehen z.B. ein nachträglicher Rührwerkseinbau.

Da die externe Umwälzung zu einer vertikalen Durchmischung des Schlamms führt, spielt diese im Vergleich zur internen Durchmischung (z.B. mechanisch oder Gaseinpressung) bei üblicher Auslegung des Reaktors und der Mischsysteme wahrscheinlich eine übergeordnete Rolle bei der Verhinderung von Ablagerungen. Daher wird den Anlagenbetreibern empfohlen, den Faulturbetrieb mit ausschließlich externer Umwälzung probeweise umzusetzen. Als Vorgabe hierfür gilt, dass die Pumpleistung der Umwälzpumpe ausreichen muss, um das Faulturmvolume mindestens einmal pro Tag umzuwälzen. Ist die Durchmischung ausreichend, um den gleichen organischen Abbaugrad wie im Betrieb mit zusätzlicher interner Durchmischung zu erreichen – und sind auch langfristig keine vermehrten Ablagerungen feststellbar (dies muss durch entsprechende Messungen überprüft werden) – kann auf eine zusätzliche interne Mischung verzichtet werden.

Im Rahmen der oben genannten OptiFaul Studie wurde auch gezeigt, dass eine eingetauchte Zuleitung der externen Umwälzung im Vergleich zu einem frei fallenden Zulauf zu

einer zusätzlichen Erhöhung der Mischungseffizienz (Verringerung von Totzonen und Ablagerungen) führt. Ein derartiger Umbau ist üblicherweise simpel und sollte als Option jedenfalls geprüft werden.

2.2.2 Mechanische Durchmischung

Ist für die Durchmischung von Faultürmen eine Kombination aus externer Umwälzung und interner Durchmischung notwendig, empfiehlt sich eine mechanische Durchmischung des Reaktorinhalts mittels eines langsam rotierenden Rührwerks.

Rührblätter mit großem Durchmesser ermöglichen eine reduzierte Drehzahl und schonen durch reduzierte Geschwindigkeiten und Gradienten die Mikroorganismen. Beim Bau neuer Anlagen mit Rührwerken sollten Motoren eingesetzt werden, deren Drehzahl abhängig von den Trockenrückstandswerten des Faulschlammes angepasst werden kann. Auch ein intermittierender Betrieb sollte als Option geprüft werden, da damit die Energieeffizienz weiter gesteigert werden kann.

Die langfristigen empirischen Erfahrungen mit Saugrohr und innenliegendem Impeller waren im Vergleich zu oben genannten langsam rotierenden Rührwerken weniger überzeugend.

2.2.3 Gaseinpressung bzw. gasinduzierter Druckausgleich

Unter den untersuchten Anlagen findet sich eine hohe Zahl von Faultürmen, die mittels Gaseinpressung durchmischt werden. Obwohl die Leistungsdaten schwanken, kann festgehalten werden, dass die Gaseinpressung generell den höchsten Energiebedarf der untersuchten Mischungsmethoden aufweist. Aus energetischer Sicht empfehlen sich alternative Optionen. Probeweise kann mit einem geringeren Energieeintrag durchmischt werden, indem die Gaseinpressung nur intermittierend eingesetzt wird und die Pausenzeiten schrittweise erhöht werden.

Biogas kann auch dazu genutzt werden, um einen gasinduzierten Druck herzustellen, welcher durch den hydraulischen Ausgleich zu einem Durchmischungseffekt führt. Derartige Verfahren (z.B. BIMA-Verfahren der Kläranlage Innichen) können sehr energieeffizient und wartungsarm sein, bedingen aber höhere Baukosten.

2.2.4 Serieller Betrieb

An Anlagen mit mehr als einem Faulturm sollten diese bei Neu- oder Umbauten so ausgelegt werden, dass diese sowohl parallel als auch seriell betrieben werden können. Dadurch kann der Betriebsmodus flexibel an unterschiedliche Gegebenheiten angepasst werden, wobei nach Möglichkeit bevorzugt der serielle Betrieb umgesetzt werden soll. Es ist zu erwarten, dass im seriellen Betrieb trotz gleicher Aufenthaltsdauer wie im parallelen Betrieb weniger nicht abgebautes, frisches Substrat im ausgefaulten Schlamm enthalten ist. Dadurch wird die energetische Nutzung des Substrats erhöht, der organische Abbaugrad gesteigert und die klimaschädlichen Methanemissionen aus dem ausgefaulten Schlamm reduziert. Als Voraussetzung für den seriellen Betrieb gilt, dass die Heizung des vorgeschalteten Faulturms ausreichen muss, um den gesamten Schlamm auf die Betriebstemperatur zu erwärmen.

2.3 Ablaufschema der betrieblichen Optimierung

Die unter Kapitel 2.2 dargestellten Handlungsempfehlungen werden in Abbildung 1 und Abbildung 2 nochmals grafisch dargestellt. Für alle Optimierungsschritte müssen folgende begleitende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Monitoring der Schlammparameter im frischen und ausgefaulten Schlamm
- Vergleich der Abbauleistungen
- Prüfung der Ablagerungen z.B. durch Tracermessungen

Sinnvoll ist jedenfalls eine wissenschaftliche Begleitung zur Dokumentation der erzielten Energieeinsparung, sowie zur Überwachung der laufenden Faulraumdurchmischung – z.B. durch Tracer-Messungen und CFD-Simulationen. Für größere Umbauten oder Änderungen des Betriebsmodus, wie z.B. die Entfernung von Mischungseinrichtungen oder die eingetauchte Einleitung der externen Umwälzung, sollte eine detaillierte Voruntersuchung unter Berücksichtigung aller technischen und betriebswirtschaftlichen Vor- und Nachteile durchgeführt werden.

Abbildung 1: Optimierung der internen Durchmischungseinrichtungen hinsichtlich Energieeffizienz für einen singulären Faulturm

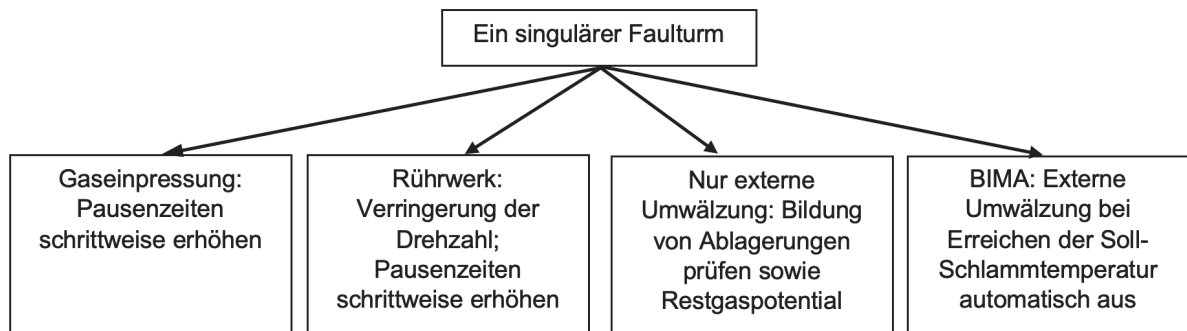
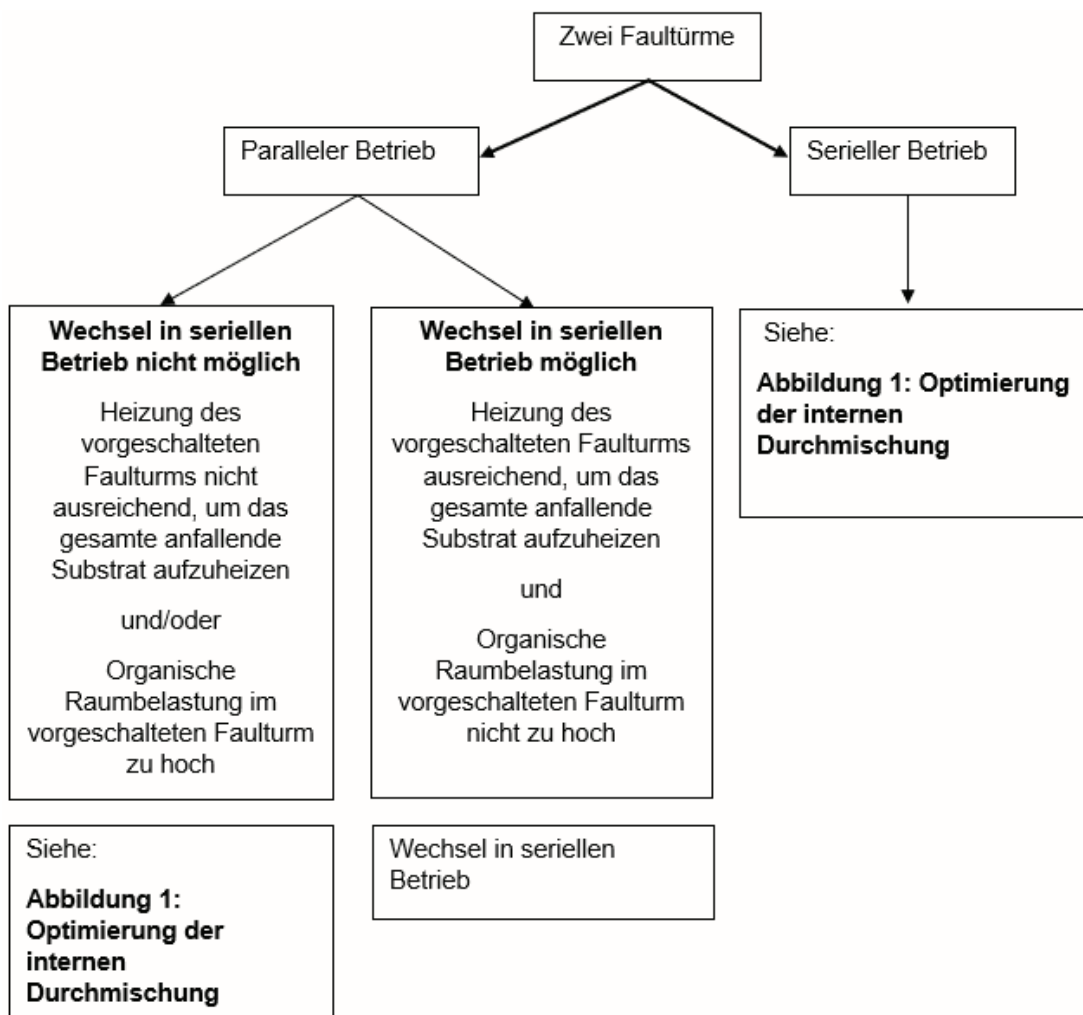


Abbildung 2: Optimierter Betrieb von zwei Faultürmen



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Optimierung der internen Durchmischungseinrichtungen hinsichtlich Energieeffizienz für einen singulären Faulturm	10
Abbildung 2: Optimierter Betrieb von zwei Faultürmen.....	10

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien
bml.gv.at