



## Phytohygienische Aspekte in der Biogasprozesskette

Pflanzliche Biomasse, die in die Biogasprozesskette gelangt, kann Pathogene und Unkrautsamen enthalten. Was aber passiert mit diesen im Biogasprozess? Wie aktiv sind sie noch im Gärprodukt und wie groß ist somit die Gefahr der Verschleppung bei Ausbringung von Gärprodukten als Düngemittel?

### 1 Einleitung

Mittlerweile gibt es über 7 000 Biogasanlagen, in denen meist nachwachsende Rohstoffe (NawaRos) und Wirtschaftsdünger mit häufig hohen Verarbeitungskapazitäten vergärt werden. Da in der Praxis das Spektrum anbauwürdiger energiereicher Kulturpflanzenarten begrenzt ist, kann dies zu engen Fruchtfolgen und somit dem Auftreten kulturartenspezifisch relevanter Krankheitserreger sowie begleitender Unkrautpopulationen führen – zumal NawaRo-Kulturen teilweise mit reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz angebaut werden. Werden Substrate und Gärprodukte darüber hinaus überregional gehandelt, so steigt die Wahrscheinlichkeit der Ein- und Verschleppung von Krankheitserregern und Unkrautsamen, die vorher nicht vorkamen. Dabei ist das grundsätzliche Gefährdungspotenzial besonders hoch bei bodenbürtigen Krankheitserregern, die langlebige Dauerorgane ausprägen und in der Lage sind Mykotoxine zu bilden, bei Krankheitserregern mit einer hohen Stabilität sowie bei der Verwertung von Befallspartien (KTBL 2012).

Der überwiegende Teil der in Deutschland vorhandenen Biogasanlagen wird mesophil in einem Temperaturbereich von 35 bis 45 °C betrieben; in diesem Temperaturbereich kann nicht generell eine ausreichende Hygienisierung der Gärsubstrate vorausgesetzt werden. Sofern Schaderreger und Unkrautsamen im Vergärungsprozess infektiös oder keimfähig bleiben, kann eine Verbreitung über die Gärprodukte auf landwirtschaftlich genutzte Flächen erfolgen. Da über das Verbreitungsrisiko von Pflanzenkrankheiten und Unkrautdiasporen über die Ausbringung von Gärprodukten aus Biogasanlagen bisher nur wenige Angaben bekannt sind, wurde in einem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projekt das Hygienisierungspotenzial des Biogasprozesses auf Phytopathogene und Unkrautsamen untersucht.

### 2 Methodische Herangehensweise, Substrate und Erregerauswahl

Zur Untersuchung des Einflusses des Biogasprozesses auf die Überlebensfähigkeit von Organismen wurden infiziertes Pflanzenmaterial und Unkrautsamen in Laborfermenter und Praxisbiogasanlagen eingebracht. Die ausgewählten Erreger umfassten solche virale, bakterielle und pilzliche Pflanzenschädlinge, die die Biogaseinsatzstoffe Mais, Weizen, Roggen, Hirse und Zuckerrüben vornehmlich befallen. Die Kartoffel, Hauptanbauggebiete ausgenommen, spielt für die Biogasgewinnung zwar eine eher untergeordnete Rolle. Da sie aber gegen eine Vielzahl von Pathogen anfällig ist, wurde sie in die Untersuchungen einbezogen.

Die Prüfung wurde zunächst in vollständig durchmischten Rührkesselreaktoren und nachfolgend zur Validierung der Ergebnisse in zwei Praxisbiogasanlagen vorgenommen (BANDTE et al. 2012). Infiziertes Pflanzenmaterial wurde dazu mithilfe von speziell für dieses Projekt entwickelten Techniken und Probenträgern in den Prozess der anaeroben Vergärung eingebracht (HEIERMANN et al. 2012). Die zylindrischen Träger aus Polypropylen haben zwei Öffnungen, die mit einer Membran verschlossen werden. Die Porengröße der Membran orientiert sich dabei an der Größe der jeweiligen Phytopathogene. Es wird



sichergestellt, dass die Membran undurchlässig für die untersuchten Pathogene ist und weder mechanisch noch biochemisch durch den Prozess beschädigt und damit für die Pathogene durchlässig wird. Der Nachweis der Erreger im Gärprodukt erfolgte jeweils mithilfe von biologischen, mikrobiologischen, serologischen und/oder molekularbiologischen Arbeitstechniken.

Bei einer Einschätzung des Verbreitungsrisikos der jeweiligen Pathogene mit den Gärprodukten nach einer mesophilen anaeroben Vergärung sind sowohl die zur Inaktivierung erforderliche Verweilzeit als auch die technischen Eigenschaften der jeweiligen Biogasanlagen zu berücksichtigen. Am weitesten verbreitet sind derzeit kontinuierlich betriebene Biogasanlagen mit einstufigen und zweistufigen Prozessstufen. Die bei der kontinuierlichen Zuführung und Entnahme von Substrat nicht auszuschließenden Kurzschlussströmungen bedingen für ein Teil des Substrates eine Verkürzung der Verweilzeit im Fermenter. Damit wird nicht nur der Biogasertrag vermindert, sondern auch die Effizienz der Hygienisierung verringert.

### 3 Pathogene

#### 3.1 Einfluss der Verweilzeit und der Erregerart auf die Inaktivierung

Der überwiegende Teil der getesteten Pathogene wurde im Laborfermenter bereits während einer Expositionszeit von sechs Stunden inaktiviert, jedoch waren *Fusarium proliferatum* und *F. verticillioides* an frischer Hirse erst nach 138 Stunden nicht mehr lebensfähig (Tab. 1). Auch wenn alle Individuen nach 138 Stunden inaktiviert werden konnten, zeigten diese beiden Species auch innerartlich eine erhebliche Variabilität in der erforderlichen Expositionszeit in den verschiedenen Untersuchungsdurchgängen (BANDTE et al. 2013).

Unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Erregerarten resultieren dagegen vermutlich zum Teil auf der Besiedlung verschiedener Pflanzengewebe; während *Sclerotinia sclerotiorum* die Pflanzenoberfläche besiedelt, „leben“ *Fusarium proliferatum* und *F. verticillioides* im Innern der Pflanzen und sind somit schwerer im Biogasprozess angreifbar (BANDTE et al. 2013). Zudem wurde ermittelt, dass *Fusarium ssp.* in infiziertem Pflanzengewebe schwieriger zu inaktivieren ist als in Maiskörnern (RODEMANN et al. 2012).

Untersuchungen in Praxisbiogasanlagen zeigen, dass *Fusarium avenaceum*, *Fusarium culmorum*, *F. verticillioides*, *Rhizoctonia solani*, *Tilletia caries* und *Claviceps purpurea* nach einer anaeroben Vergärung im mesophilen Temperaturbereich nach 24 Stunden Verweildauer nicht mehr aktiv waren.

Auch die Struktur bzw. Partikelgröße des Gärsubstrates kann die Inaktivierung des Schaderregers entscheidend beeinflussen; *Fusarium culmorum* konnte schneller inaktiviert werden, wenn die Getreidekörner vorher zerkleinert wurden.

Versuche zur Inaktivierung von *Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus* (Cms, Quarantäneschaderreger) zeigen, dass eine Expositionszeit von sechs Stunden nicht ausreichend ist, um den Erreger zu inaktivieren. Dagegen ist nach einer Exposition von 24 und 138 Stunden der Erreger nicht mehr nachweisbar (LIEBE et al. 2012). Der Quarantäneerreger *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs) kann innerhalb der geprüften Verweildauer überhaupt nicht inaktiviert werden. Daraus kann geschlossen werden, dass eine zuverlässige Inaktivierung von Quarantäneschaderregern in mesophil betriebenen Biogasanlagen nicht möglich ist. Generell gilt, dass mit Quarantäneschaderregern befallene Partien nicht in Biogasanlagen verwertet, sondern vernichtet werden müssen.



### 3.2 Silierung und Lagerung von Gärprodukten unterstützen die Inaktivierung

*Alternaria alternata* an Roggen wird bereits während des Silierprozesses inaktiviert, ebenso die mit Maissilage getesteten Erreger (Tab. 1). Das Silieren der Hirse verkürzt bei den Erregern *F. proliferatum* und *F. verticillioides* wesentlich die zur Inaktivierung nötige Zeit. Somit unterschied sich die für eine vollständige Inaktivierung notwendige Verweilzeit nicht nur hinsichtlich der betrachteten Phytopathogene, sondern auch hinsichtlich der Vorbehandlung des Gärsubstrates. Da fast 90 % des im Biogasprozess eingesetzten Pflanzensubstrats im silierten Zustand in die Biogasanlage gelangt, ist diese Vorbehandlung von großer Relevanz für den Hygienisierungsprozess (BANDTE et al. 2013).

Werden Gärprodukte nach dem Biogasprozess gelagert, reichen für eine vollständige Inaktivierung der Pathogene kürzere Verweilzeiten aus. So werden bei der Fermentation von frischer Hirse für die Inaktivierung der Erreger *F. proliferatum* und *F. verticillioides* mit vierwöchiger Lagerung nur bis zu 24 Stunden Verweilzeiten benötigt, statt bis zu 138 Stunden ohne Lagerung.

Tab. 1: Erforderliche Verweilzeit zur vollständigen Inaktivierung von ausgewählten Krankheitserregern während einer anaeroben mesophilen Vergärung in vollständig durchmischten Rührkesselreaktoren unter Berücksichtigung des Substrates, des Krankheitserregers und der Lagerung der Gärprodukte (SCHLEUSNER et al. 2011)

| Substrat          | Pathogen                                     | Lagerung Gärprodukt                 |          |                   |
|-------------------|--|-------------------------------------|----------|-------------------|
|                   |  | keine                               | 4 Wochen | 6 Monate          |
| Getreide, frisch  | <i>Fusarium avenaceum</i>                    | 6–24 h                              | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | 6–24 h                              | 6–24 h   | 6–24 h            |
| Getreide, siliert | <i>Fusarium avenaceum</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | 6–24 h                              | 6–24 h   | 6–24 h            |
| Hirse, frisch     | <i>Fusarium proliferatum</i>                 | 24–138 h                            | 6–24 h   | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | 24–138 h                            | 6–24 h   | < 6 h             |
| Hirse, siliert    | <i>Fusarium proliferatum</i>                 | 6–24 h                              | 6–24 h   | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
| Kartoffeln        | <i>Potato Virus Y</i>                        | < 6 h                               | < 6 h    | nicht ausgewertet |
|                   | <i>Rhizoctonia solani</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | nicht ausgewertet |
|                   | <i>Clavibacter michiganensis sepedonicus</i> | 6–24 h                              | 6–24 h   | 6–24 h            |
|                   | <i>Synchytrium endobioticum</i>              | voraussichtlich keine Inaktivierung |          |                   |
| Mais, frisch      | <i>Fusarium avenaceum</i>                    | 6–24 h                              | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium culmorum</i>                     | 6–24 h                              | 6–24 h   | 6–24 h            |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | 6–24 h                              | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Rhizoctonia solani</i>                    | 6–24 h                              | < 6 h    | < 6 h             |
| Mais, siliert     | <i>Fusarium avenaceum</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium culmorum</i>                     | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium verticillioides</i>              | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Rhizoctonia solani</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
| Roggen, frisch    | <i>Alternaria alternata</i>                  | < 6 h                               | < 6 h    | nicht ausgewertet |
| Roggen, siliert   | <i>Alternaria alternata</i>                  | Inaktivierung durch Silierung       |          |                   |
| Weizenkorn        | <i>Alternaria alternata</i>                  | < 6 h                               | < 6 h    | nicht ausgewertet |
|                   | <i>Claviceps purpurea</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Tilletia caries</i>                       | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium avenaceum</i>                    | < 6 h                               | < 6 h    | < 6 h             |
|                   | <i>Fusarium culmorum</i>                     | 24–138 h                            | < 6 h    | < 6 h             |
| Zuckerrüben       | <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>              | < 6 h                               | < 6 h    | nicht ausgewertet |



## 4 Unkrautsamen

### 4.1 Vorkommen in Biogassubstraten und Untersuchungsmethodik

Pflanzliche Biomasse, die in die Biogasprozesskette gelangt, kann auch immer Samen von Pflanzen enthalten. Sowohl bei der innerbetrieblichen Verwertung, insbesondere aber bei der überbetrieblichen Nutzung, sollten die Gärprodukte frei von lebensfähigen Unkrautsamen sein. Falls dies nicht gewährleistet werden kann, besteht die Gefahr der Verschleppung von Unkräutern zwischen Flächen und Betrieben. Allein die Kulturart Mais, das mit Abstand wichtigste Substrat für Biogasanlagen, kann etwa 180 verschiedene Unkrautarten beherbergen (MEHRTENS et al. 2005). Insbesondere bei den Arten *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) und *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse) wurden erhebliche Samenmengen gefunden, die in das Maishäckselgut gelangten (WESTERMAN und GEROWITT 2012). In den Untersuchungen in Laborfermentern und Praxisbiogasanlagen wurden vor allem solche Unkrautarten geprüft, die aufgrund von Hartschaligkeit oder anderen Eigenschaften eine höhere Beständigkeit gegenüber den anaeroben Prozessen erwarten lassen und daher als „riskante“ Arten eingestuft wurden. Den Untersuchungen im Biogasprozess wurde zum Teil eine in der Praxis übliche Silierung vorgeschaltet.

### 4.2 Einfluss der Silierung und des Gärprozesses auf die Keimfähigkeit

Die untersuchten Arten zeigten unterschiedliches Vermögen, die Silierung und anschließende Vergärung zu überleben. Bei den meisten Arten überlebten die Samen den Silierungsprozess nicht (WESTERMAN et al. 2012a). Der Silierprozess kann somit offensichtlich einen großen Beitrag bei der Abtötung von Unkrautsamen leisten. Biomasse, die ohne Zwischenlagerung in Form von Silage in Biogasanlagen eingespeist wird, benötigt deshalb besondere Aufmerksamkeit. Unter den Arten, die den Silierprozess und/oder den Gärprozess überlebten, dominierten die hartschaligen Arten (WESTERMAN et al. 2012a). Offenbar ermöglicht die Hartschaligkeit aufgrund der wasserundurchlässigen Schicht in der Samenschale eine erhöhte Hitzeresistenz der Samen. Darunter waren die Arten *Abutilon theophrasti* (Samtpappel), *Malva neglecta* (Weg-Malve) und insbesondere *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß). Bemerkenswert war die zum Teil sehr große innerartliche Variabilität der Samen, den Gärprozess zu überleben (Tab. 2). Möglicherweise prägen neben genetischen Faktoren Umweltbedingungen bereits während der Samenfüllungsphase und Abreife auf der Mutterpflanze die spätere Empfindlichkeit des Samens gegenüber anaeroben Prozessen.

Die Kombination von hoher Samenproduktion und Überlebenswahrscheinlichkeit in Biogasanlagen zeigt, dass insbesondere Samen von *Chenopodium album* die gesamte Biogaskette überleben können und somit eine gewisse Verbreitungswahrscheinlichkeit durch die Ausbringung von Gärprodukten bestehen kann (WESTERMAN et al. 2012b). Diese Möglichkeit ist bei der ohnehin weit verbreiteten Art *Chenopodium album* nicht weiter bedenklich, kann jedoch im Falle von neuen, invasiven Arten, wie beispielsweise *Abutilon theophrasti*, eine Gefahr darstellen.



Tab. 2: Überlebensfähigkeit von Unkrautsamen in Laborfermentern und Praxisbiogasanlagen (WESTERMAN et al. 2012b)

| Samenart   | Behandlung<br>Laborfermenter, Temperatur<br>37 °C, 30 Tage | Überlebensrate<br>% | Reduktionszeit <sup>1)</sup><br>D |
|--|--|---------------------|-----------------------------------|
| <i>Abutilon theophrasti</i>  |  | 36,5                |                                   |
| <i>Datura stramonium</i>   |  | 6,7                 |                                   |
| <i>Erodium cicutarium</i>  |  | 21,1                |                                   |
| <i>Malva neglecta</i>  |  | 30,4                |                                   |
| <i>Lycopersicon esculentum</i>   |  | 2,8                 |                                   |
| <i>Vicia tetrasperma</i>   |  | 12,6                |                                   |
| Anchusa arvensis, Chenopodium album, Fallopia convolvulus, Tripleurospermum maritimum  |  | < 1                 |                                   |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> , <i>Bromus secalinus</i> , <i>Capsella bursa-pastoris</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Galium aparine</i> , <i>Geranium pusillum</i> , <i>Lithospermum arvense</i> , <i>Rumex obtusifolius</i> , <i>Solanum nigrum</i> , <i>Stachus arvensis</i> , <i>Stellaria media</i> |  | 0                   |                                   |
|  | <b>Praxisbiogasanlage,<br/>Temperatur 41 °C</b>            |                     |                                   |
| <i>Abutilon theophrasti</i>  |  |                     | 1,5–2,0                           |
| <i>Chenopodium album</i>   |  |                     | 4,7–19,7                          |
| <i>Fallopia convolvulus</i>  |  |                     | 1,2–9,1                           |
| <i>Malva neglecta</i>  |  |                     | 17,0–23,6                         |
| <i>Lycopersicon esculentum</i>   |  |                     | 0,8–8,1                           |

<sup>1)</sup> Dezimale Reduktionszeit (Zeit, in der 90 % der Samen inaktiviert wurden).

## 5 Schlussfolgerungen aus den vorgestellten Untersuchungen

Um das Risiko einer Belastung von Gärprodukten mit Schaderregern zu minimieren, ist generell ein direkter Eintrag von Erregern bzw. stark mit Pathogenen und Unkrautsamen belasteten Substratpartien zu vermeiden.

Es zeigte sich, dass bereits eine unter optimalen Bedingungen durchgeführte Silierung bei vielen Erregern für eine Inaktivierung ausreichend ist. Ferner ist eine Zerkleinerung des Substrates für einen besseren enzymatischen Abbau förderlich, insbesondere bei einer stärkeren Hemicellulose- und Lignin-einlagerung ins Pflanzengewebe.

Die meisten der betrachteten Pathogene waren unter Laborbedingungen innerhalb einer Expositionszeit von 138 Stunden (unter 6 Tagen) inaktiviert. Die Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen konnten in der Regel in den Praxisbiogasanlagen bestätigt werden, jedoch sind zum Teil längere Expositionszeiten für die Inaktivierung nötig. Dies gilt insbesondere für pilzliche Schaderreger, die in Dauerorganen überleben können und zur Inaktivierung dieser Dauerorgane sind längere Expositionszeiten und höhere Temperaturen erforderlich. Die hydraulischen Verweilzeiten in Praxisbiogasanlagen sind in der Regel deutlich länger als die erforderliche Inaktivierungszeit. Die meisten Biogasanlagen arbeiten jedoch mit voll durchmischten Fermentern, in denen die Durchflusszeit für jedes einzelne Volumenelement nicht garantiert werden kann und sogenannte Kurzschlussströmungen auftreten können. Werden voll durchmischte Fermenter in Reihe betrieben, lässt sich diese Gefahr reduzieren. Keine Kurzschlussströmungen und definierte Verweilzeiten werden in der Regel bei Pfropfenstromfermentern erreicht. Das EEG schreibt nach seiner 3. Novellierung (2012) für neu errichtete Biogasanlagen zur Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen eine Mindestverweilzeit von 150 Tagen im gasdichten System vor. Hierdurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Inaktivierung der im Substrat befindlichen Schaderreger und Unkrautsamen, wenn Kurzschlussströmungen vermieden werden.

Es stellt sich die Frage, ob mit einem Selektionsprozess der Pathogene und Unkräuter hin zu Populationen mit höherer Überlebensfähigkeit im Biogasprozess gerechnet werden muss. Hierzu wurde ange-



merkt, dass dies bei optimal gestalteter Fruchtfolge und, sofern erforderlich, dem gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht zu erwarten ist. Vermutlich haben die verschiedenen Bearbeitungsgänge im Kulturpflanzenanbau einen größeren Einfluss auf eine mögliche Selektion als der Biogasprozess selbst.

Insgesamt wird das Gefährdungspotenzial von mit Schaderregern und Unkrautsamen belasteten Gärprodukten bei der Praxisbiogaserzeugung als gering angesehen. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass es besonders bei Gärprodukten, die in Verkehr gebracht werden, eventuell notwendig ist, Mindestanforderungen hinsichtlich der Kennzeichnung gemäß Düngemittelverordnung (2012) zu formulieren.

## 6 Empfehlungen zum Anbau und zur Vergärung von NawaRo unter phytohygienischen Aspekten

Aus den im Rahmen des FNR-Projektes gewonnenen Untersuchungsergebnissen lassen sich in Verbindung mit Ergebnissen anderer Untersuchungen folgende Empfehlungen ableiten (SCHULTHEISS et al. 2012):

- Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Verwertung sollte nach guter fachlicher Praxis erfolgen. Dabei ist auf die Einhaltung von Fruchtfolgen zu achten und, sofern erforderlich, sind Pflanzenschutzmaßnahmen durchzuführen.
- Stark mit Schaderregern befallene Partien (z. B. Getreidepartien mit hohem Pilzbesatz) sollten nicht in eine mesophil betriebene Biogasanlage eingebracht werden.
- Eine Zerkleinerung und zusätzliche Silierung der Substrate ermöglicht eine raschere Inaktivierung von Schaderregern und Unkrautsamen.
- Eine optimale Durchmischung des Fermenterinhalt, das Verhindern von Kurzschlussströmungen und die Gewährleistung von Mindestverweilzeiten führen zu einer hohen Inaktivierung von Schaderregern und Unkrautsamen.
- Eine sich an den Gärprozess anschließende Lagerung der Gärprodukte (mindestens vier Wochen) führt zu einer weiteren Reduktion von eventuell noch vorhandenen Schaderregern und Unkrautsamen.

Bevor weitergehende Forderungen hinsichtlich einer Änderung der Anlagentechnik bzw. der Mindestverweilzeit im Fermenter formuliert werden, sollte an Praxisbiogasanlagen durch Analyse der Substrate und Gärprodukte die mögliche Belastung mit Schaderregern und Unkrautsamen umfassender untersucht werden.

### Literatur

- Bandte, M.; Pietsch, M.; Schultheiß, U.; Hofmann, M.; Büttner, C. (2012): Ein Verbundprojekt zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, Berlin, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 438, S. 59
- Bandte, M.; Schleusner, Y.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Büttner, C. (2013): Viability of plant-pathogenic fungi reduced by anaerobic digestion. *Bioenerg. Res.* 6, pp. 966–973
- Heiermann, M.; Plöchl, M.; Plogsties, V. (2012): Probeneinschleusung in Labor- und Praxis-Biogasanlagen bei Untersuchungen zum phytosanitären Risiko. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, Berlin, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 438, S. 60
- KTBL (Hrsg.) (2012): Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. Sonderveröffentlichung
- Liebe, S.; Müller, P.; Bandte, M.; Heiermann; Büttner, C. (2012): Überlebensfähigkeit von *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* in der anaeroben Vergärung. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, Berlin, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 438, S. 62



- Mehrtens, J.; Schulte, M.; Hurle, K. (2005): Unkrautflora in Mais, Ergebnisse eines Monitorings in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* 57, S. 206–218
- Rodemann, B.; Pottberg, U.; Pietsch, M. (2012): Inaktivierung von Getreide- und Maispathogenen in Biogasanlagen. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, Berlin, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 438, S. 61
- Schleusner, Y.; Büttner, C.; Pottberg, U.; Rodemann, B. (2011): Gärreste ohne Risiko? *DLG-Mitteilungen* 3, S. 66–69
- Schultheiß, U.; Döhler, H.; Hofmann, M.; Wulf, S. (2012): Phytohygienische Aspekte bei der anaeroben Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen – Zusammenfassende Betrachtung. In: KTBL (Hrsg.), *Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen*. Sonderveröffentlichung, S. 80–85
- Westerman, P.R.; Gerowitt, B. (2012): The probability of maize biomass contamination with weed seeds. *Journal of Plant Diseases and Protection* 119, pp. 68–73
- Westerman, P.R.; Hildebrandt, F.; Gerowitt, B. (2012a): Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors. *Weed Research* 52, pp. 286–295
- Westerman, P.R.; Heiermann, M.; Pottberg, U., Rodemann, B.; Gerowitt, B. (2012b): Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants. *Weed Research* 52, pp. 307–316

## Autoren

Dr. Martina Hofmann, Dr. Ute Schultheiß, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt

## Projektpartner im Verbundvorhaben

- Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Phytomedizin (Prof. Dr. C. Büttner; Dr. M. Bandte)
- Julius Kühn-Institut, Institut für nationale/internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Braunschweig und Kleinmachnow (Dr. M. Pietsch; Dr. P. Müller), Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig (Dr. B. Rodemann)
- Universität Rostock, Institut für Landnutzung – Phytomedizin (Prof. Dr. B. Gerowitt; Dr. P. Westerman)
- ATB Potsdam, Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe (Dr. M. Heiermann)
- BioenergieBeratungBornim GmbH, Potsdam (Dr. M. Plöchl)
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, (Dr. U. Schultheiß, Dr. M. Hofmann, H. Döhler, Dr. S. Wulf)

## Danksagung

Gefördert wurde dieses Verbundvorhaben vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über dessen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR); hierfür herzlichen Dank.

### Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon: +49 6151 7001-0 | Fax: +49 6151 7001-123  
E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de) | [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Eingetragen im Vereinsregister beim Amtsgericht Darmstadt,  
AktENZEICHEN 8 VR 1351

Vereinspräsident: Prof. Dr. Thomas Jungbluth  
Geschäftsführer: Dr. Heinrich de Baey-Ernsten  
Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Dr. Heinrich de Baey-Ernsten

Diese Information wurde vom KTBL und den Autoren nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Das KTBL und die Autoren übernehmen keine Gewähr für Aktualität, Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der bereitgestellten Inhalte. Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

© 2013 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Nachdruck nur mit Quellenangabe.