

## Temperatur-induzierte Inaktivierung von Samen aus der Familie der Süßgräser (Poaceae)

*Temperature-induced inactivation of seeds of the Poaceae family*

Friederike de Mol\*, Julia Schulz, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock  
\*Korrespondierende Autorin, friederike.de-mol@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.015



### Zusammenfassung

Hinsichtlich der Unkrautsamen-Hygiene von Gärresten aus Biogasfermentern gibt es noch ungelöste Fragen. Die Fähigkeit von Samen, feucht-warme Bedingungen zu überleben, ist artspezifisch, und Prognosen für nicht getestete Arten abzugeben ist schwierig. In dieser Arbeit wird untersucht, ob die Herkunft der Art Rückschlüsse auf die Temperaturtoleranz ihrer Samen gibt. Hier wurden Samen von sechs Arten der Familie der Süßgräser getestet: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* und *Vulpia myuros*. Die Samen wurden bei 42°C in Wasserbädern bis zu 12 Tagen inkubiert. In regelmäßigen Zeitabständen wurden Samen entnommen und ihre Keim- und Lebensfähigkeit geprüft. Es wurden 4-parametrische Zeit-Wirkungskurven modelliert. Ein Vergleich der Arten und Biotypen anhand der mittleren Inaktivierungszeit (ET<sub>50</sub>-Werte) zeigte, dass Samen von C<sub>4</sub>-Gräsern, die aus wärmeren Florenzen stammen, länger überlebten und besser keimten als Samen der C<sub>3</sub>-Grasarten. Bei Gräsern, die auch in tropischen Regionen vorkommen, lag der ET<sub>50</sub>-Wert bei über fünf Tagen. Die Studie zeigt, dass die evolutionären Bedingungen, die zur heutigen weltweiten Verbreitung der Gräser führten, für eine Abschätzung der Überlebensfähigkeit ihrer Samen genutzt werden können. Betreiber von Biogasanlagen sollten sich des Risikos bewusst sein, mit dem Gärrest Grassamen, insbesondere von Hirsen, zu verbreiten.

**Stichwörter:** Biogasreaktor, Keimung, Lebensfähigkeit, Samenüberleben, Temperaturtoleranz

### Abstract

There are still unanswered questions regarding the weed seed hygiene of residues from biogas fermenters. The ability of seeds to survive in humid-warm conditions is species-specific. Predicting the behavior of untested species is difficult. This paper examines whether the origin of the species gives an indication of the temperature tolerance of its seeds. Seeds of six species of the *Poaceae* family were tested: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* and *Vulpia myuros*. Seeds were incubated at 42°C in water baths for up to 12 days. Seeds were taken from the water bath at regular intervals and their germination and viability were tested. 4-parametric time-response curves were modeled. A comparison of species based on mean inactivation time (ET<sub>50</sub> values) showed that seeds of C<sub>4</sub> grasses originating from warm floral zones survived longer and germinated better than seeds of C<sub>3</sub> grasses. For species that also occur in tropical regions, the ET<sub>50</sub> value exceeded five days. The study shows that the evolutionary conditions that led to their today's worldwide distribution can be used to estimate the survivability of their seeds. Farmers should be aware of the risk of spreading grass seeds, especially of C<sub>4</sub> grasses, with the fermentation residues.

**Keywords:** Biogas plant, germination, seed survival, temperature tolerance, viability

### Einleitung

Im Jahr 2018 produzierten in Deutschland 9444 Biogasreaktoren Gas, Strom und Wärme. Die Anbaufläche für die Biomasseproduktion betrug knapp 1,5 Mio. ha, davon 88 % Ackerland, wovon wiederum 80 % mit Mais bebaut wurde (FACHVERBAND BIOGAS, 2019). Somit stellt Mais das häufigste Gärsubstrat dar. Mit den Biomassen gelangen auch Unkrautsamen in den Reaktor. Das birgt aus Sicht der Feldhygiene ein Risiko, falls die Samen in der Lage sind die Gärverhältnisse zu überleben und mit den Gärresten wieder auf den Acker zu gelangen.

In Biogasanlagen mit Betriebstemperaturen über 45°C (thermophile Vergärung), sind Samen üblicherweise nicht überlebensfähig. Die meisten Biogasreaktoren in Deutschland sind mesophile Anlagen, die bei 20°C - 42°C vergären (HAHN et al., 2018). Im mesophilen Bereich liegt die Temperatur für die Samen vieler Arten wahrscheinlich am Kippunkt (WESTERMAN et al., 2012c). Weiterhin ist die Dauer der Exposition für das Überleben der Samen entscheidend (WESTERMAN und GEROWITT, 2013; HAHN et al., 2016, 2018). Zudem gibt es artspezifische Unterschiede im Vermögen,

warm-feuchte Bedingungen zu überleben (ENGELI et al., 1993; KATOVICH et al., 2004; LEONHARDT et al., 2010; STRAUß et al., 2012; WESTERMAN et al., 2012b, 2012c; WESTERMAN und GEROWITT, 2013; HAHN et al., 2016, 2018).

Die ökophysiologischen Mechanismen, die zum Überleben von Samen in Biogasreaktoren führen, sind noch nicht umfänglich bekannt. Bei physikalisch dormanten Samen verhindert eine wasserundurchlässige Schicht in der Samenhülle („Hartschaligkeit“) das Eindringen von Wasser, was zu einem gewissen Schutz vor thermischer Schädigung führt (WESTERMAN et al., 2012c). Auch Samen, die an Endozoochorie angepasst sind, überleben den Biogasprozess mit größerer Wahrscheinlichkeit (WESTERMAN et al., 2012c).

Man kann annehmen, dass sich bei Arten, die sich unter evolutionären Bedingungen mit warmem und feuchtem Klima verbreitet haben, ein Schutz der Samen vor eben diesen Bedingungen entwickelt hat. Deshalb kann die Hypothese aufgestellt werden, dass aus der Herkunft der Arten auf die Überlebensfähigkeit ihrer Samen geschlossen werden kann. In dieser Arbeit wird dieser Vermutung mit Wasserbad-Versuchen an sechs Arten der Familie *Poaceae* (Süßgräser) nachgegangen. Das Überleben von Samen in warmen Wasserbädern gilt als Proxy für das Überleben in Biogasfermentern. Dabei wird die Beeinträchtigung der Samen bei Abwesenheit von Mikroorganismen, organischen Säuren und Enzymen eher konservativ geschätzt (HAHN et al., 2016).

Unter den getesteten Arten sind vier Pflanzen mit  $C_4$ -Photosynthesestoffwechsel. Die Samen dieser Arten sind besonders bedeutsam für die Kontamination von Mais-Gärsubstrat, da sie auf Maisäckern stark vertreten sind. Auf der Hälfte der Maisäcker kommt *Echinochloa crus-galli*, die Hühnerhirse, vor. WESTERMAN und GEROWITT (2012a) zeigten, dass in Maissubstrat *E. crus-galli* den höchsten Grassameneintrag in Biogasanlagen lieferte. Auch *Setaria*-Arten, hier untersucht die Grüne Borstenhirse *Setaria viridis*, begleiten den Maisanbau in ganz Deutschland (DE MOL et al., 2015, VON REDWITZ und GEROWITT, 2018). *Panicum dichotomiflorum*, die Gabelästige Hirse, kommt in Deutschland im klimatisch eher warmen Rheintalgebiet und in Niedersachsen in einem der Haupt-Maisanbauggebiete vor (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2013). *Cynodon dactylon*, das Hundszahngras, wächst in Deutschland vor allem im Rheingebiet (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2013). Es ist ein  $C_4$ -Gras, jedoch keine Hirse. In Deutschland ist es wahrscheinlich mit dem Weinbau eingewandert und bildet durch oberirdische Ausläufer und unterirdische Rhizome Rasen. Aus Vorversuchen (LÜCK, 2012) und der Literatur (HAHN et al., 2018) war bekannt, dass *C. dactylon*-Samen relativ unempfindlich auf Wasserbad-Inkubation reagieren. Hirsen sind in Deutschland sommerannuelle Pflanzen, die erst im Frühsommer keimen, wenn sich der Boden ausreichend erwärmt hat. Der  $C_4$ -Metabolismus ist eine Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen unter ariden Verhältnissen. In mehreren Regionen der Erde wurden in der Evolution Pflanzen mit  $C_4$ -Metabolismus selektiert (SAGE, 2004).  $C_4$ -Pflanzen dominieren die Ökosysteme der Grassavannen der Tropen, Subtropen und meridionalen Klimazonen (EDWARDS und SMITH, 2010). Jedoch sind auch die in temperaten Klimazonen überwiegenden Acker-Ungräser mit  $C_3$ -Metabolismus in der Lage, in Maisäckern zu wachsen und zur Samenreife zu gelangen. Hier wurden Samen von *Alopecurus myosuroides*, dem Ackerfuchsschwanz, untersucht, der in ganz Deutschland besonders auf schwereren Böden zu finden ist. Falls seine Samen mit dem Gärsubstrat in den Fermenter gelangen, steht weniger die Anzahl eingeschleuster Samen im Vordergrund als die Befürchtung, dass mit unzureichend fermentierten Samen bestehende Herbizidresistenzen weiterverbreitet werden könnten. Das zweite untersuchte  $C_3$ -Gras, *Vulpia myuros* (Mäuseschwanz-Federschwingel) ist im mediterranen-submediterranen Raum beheimatet und bis heute nur selten auf deutschen Maisschlägen zu finden.

Ausgehend von der Herkunft und Verbreitung der Arten stellen wir folgende Hypothesen auf:

Samen von Gräsern mit einem  $C_4$ -Stoffwechsel werden durch die Wärme in Biogasanlagen weniger beeinträchtigt als Samen von Grasarten mit einem  $C_3$ -Stoffwechsel. Das macht sich in höherer Lebensfähigkeit und Keimfähigkeit nach einer Inkubation in warmem Wasser bemerkbar.

Innerhalb der Gruppen der  $C_3$ - und  $C_4$ -Grasarten werden die Gräser, die in Deutschland flächendeckend wachsen, die Inkubation in warmem Wasser schlechter überstehen als Arten, die

Deutschland von Süden her zu besiedeln beginnen und vornehmlich im Rheintalgebiet verbreitet sind.

### Material und Methoden

Untersucht wurden die Samen von sechs Grasarten: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* und *Vulpia myuros*. Die meisten Samen wurden 2016 in Norddeutschland geerntet, *Vulpia*-Samen stammten aus der Ernte 2017 und *Panicum*-Samen aus 2018. Für *Echinochloa* und *Vulpia* standen je zwei Biotypen zur Verfügung. Nach der Ernte wurden die Samen bei Zimmertemperatur getrocknet und bis zum Versuchsbeginn im November 2018 bei Zimmertemperatur trocken und dunkel gelagert. Es gab zwei Versuchsdurchläufe mit demselben Versuchsaufbau, die aber jeweils nur einen Teil der Arten untersuchten.

Die Fähigkeit der Samen feucht-warme Bedingungen, vergleichbar denen in Biogasanlagen, zu überleben wurde in Wasserbädern bei 42 °C (±0,1 °C) getestet (WB-6, witeg Labortechnik GmbH, Wertheim, Deutschland). Vierundzwanzig Stunden vor Beginn des Experiments wurden die Samen in Behältern wassergesättigter Luft ausgesetzt, um den Stoffwechsel der Samen anzuregen. Unter sterilen Bedingungen wurden die Samen anschließend mit 1 %-iger NaClO-Lösung zwei Minuten oberflächensterilisiert und dreimal mit destilliertem Wasser gespült. Je 50 Samen wurden in Tuben gezählt. Diese wurden mit 7 ml 0,5 M HEPES Puffer (pH 7) aufgefüllt. Die Samen wurden im Wasserbad 0, 1, 3, 6, 9 und 12 Tage (12 Tage nur im 2. Versuchsdurchlauf) inkubiert. Pro Versuchsreihe, Biotyp und Expositionszeit gab es drei Wiederholungen. Nach der Inkubation wurden die Samen erneut oberflächensterilisiert und gespült.

Die Keimfähigkeit der Samen wurde anschließend in Petrischalen auf Diasporen-Agar, dem Ampicillin und Streptomycin (Antibiotika), Benzimidazol (Fungizid) und Gibberellinsäure zugesetzt war, getestet. Bei einem Temperaturregime von 20 °C/15 °C (Tag/Nacht) wurde die Keimung über drei Wochen verfolgt. Gekeimte Samen wurden gezählt und entnommen. Samen, die innerhalb der drei Wochen nicht gekeimt waren, wurden anschließend mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) Test auf Lebensfähigkeit getestet. Die Samen wurden angeritzt und mit 1 %-iger TTC-Lösung bei 35 °C für 24 h inkubiert. Danach wurden die Samen angeschnitten und die Farbe der Embryonen begutachtet. Rot gefärbte Embryonen wurden als lebensfähig bewertet.

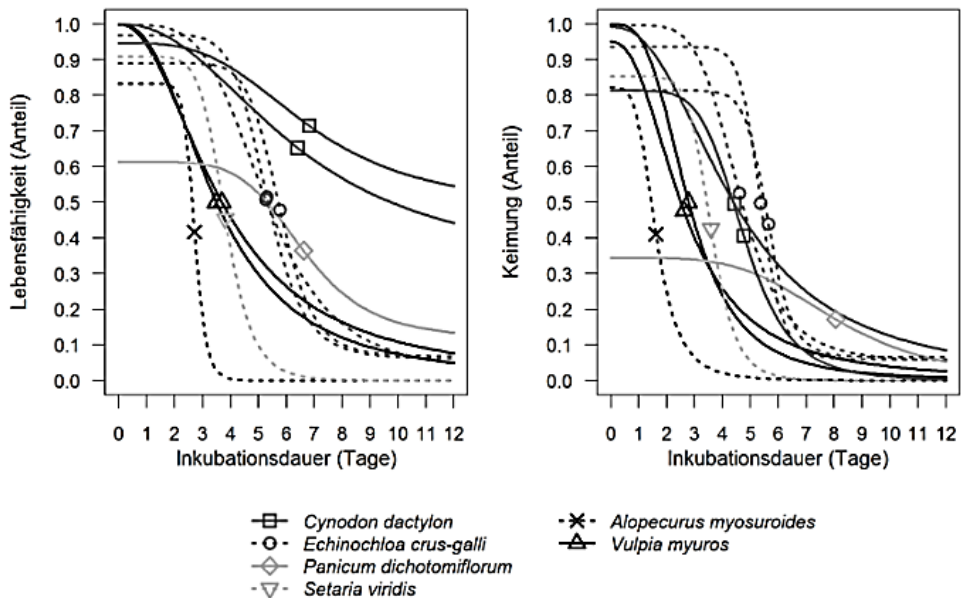
Aus den Anteilen gekeimter und lebensfähiger Samen wurden, in Abhängigkeit von der Expositionszeit, Wirkungskurven erstellt. Dazu wurde das Programmpaket „drc“, Version 3.0-1 (RITZ et al., 2015) genutzt, das in der Statistiksoftware R bereitgestellt wird. Die Kurven wurden mit Hilfe des 4-parametrischen log-logistischen Modells für jede Versuchsreihe und Biotyp angepasst.

$$\text{Anteil keim – bzw. lebensfähiger Samen} = c + \frac{d - c}{(1 + \exp(b(\log(\text{Zeit}) - \log(e))))}$$

Dabei ist  $b$  ein Steigungsparameter,  $c$  und  $d$  sind die untere und die obere Asymptoten, und  $e$  ist der Wendepunkt der Kurve. Der Parameter  $e$  kann als  $ET_{50}$ -Wert interpretiert werden, d.h. diejenige Inkubationszeit, nach der die Hälfte vormals keimfähiger bzw. lebensfähiger Samen nicht mehr keimt bzw. nicht mehr lebt. Die Biotypen wurden anhand der  $ET_{50}$ -Werte auf einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  miteinander verglichen. Dazu wurden 95 %-Konfidenzintervalle mit der delta-Methode errechnet.

### Ergebnisse

Innerhalb der neun bzw. zwölf Tage der Inkubationszeit kam es bei allen untersuchten Arten zu einem deutlichen Rückgang der Keim- und Lebensfähigkeit (Abb. 1). Allerdings starben nur von *A. myosuroides* und *S. viridis* alle Samen innerhalb der Versuchsperiode ab. Am 12. Tag waren noch 13 *E. crus-galli* und 15 *V. myuros*-Samen von jeweils 300 getesteten lebensfähig, und von 150 bis zum 12. Tag getesteten Samen von *C. dactylon* überlebten 69 (46 %) die Inkubation im Wasserbad.



**Abb. 1** Lebensfähigkeit (links) und Keimung (rechts) von Grassamen in Abhängigkeit von der Inkubationsdauer in einem Wasserbad bei 42 °C. Zeit-Wirkungskurven mit  $ET_{50}$ -Wert (Zeit, nach der 50 % der unbehandelten Samen einen Effekt zeigen) wurden mit dem vier-parametrischen log-logistischen Modell angepasst.

**Fig. 1** Viability (left) and germination (right) of grass seeds depending on the incubation period in a water bath at 42 °C. Time-response-curves and the  $ET_{50}$ -value (period after which 50% of untreated seeds are affected) were modeled by a four parameter log-logistic function.

Die Wirkungskurven für die Lebensfähigkeit und die Keimung ähneln sich innerhalb der Arten, unabhängig von Biotyp und Versuchsreihe (Abb. 1). Sowohl hinsichtlich der Lebensfähigkeit als auch der Keimung wurde *A. myosuroides* am schnellsten beeinträchtigt (die Zeit-Wirkungskurve liegt am weitesten links), gefolgt von *V. myuros* und *S. viridis*. Während die Lebensfähigkeit von *C. dactylon* langsamer abfiel als von *E. crus-galli*, sank die Keimfähigkeit von *C. dactylon* geringfügig schneller. Die Wirkungskurven von *P. dichotomiflorum* unterscheiden sich insofern von denen der anderen Arten, als Keim- und Lebensfähigkeit der unbehandelten Kontrolle bereits gering waren (Abb. 1).

Die  $ET_{50}$ -Werte zur Charakterisierung der Biotypen für die Lebensfähigkeit waren für *A. myosuroides* mit 2,7 Tagen am niedrigsten und für *C. dactylon* mit 6,8 Tagen am höchsten (Tab. 1). Die  $ET_{50}$ -Werte lagen für die Keimung zwischen 1,6 Tagen (*A. myosuroides*) und 8,1 Tagen (*P. dichotomiflorum*). Innerhalb einer Art unterschieden sich  $ET_{50}$ -Werte nicht signifikant voneinander. Zwischen den Arten konnten homogene Untergruppen unterschieden werden. Insbesondere hatte *E. crus-galli* signifikant höhere  $ET_{50}$ -Werte für Keim- und Lebensfähigkeit als *A. myosuroides*, *V. myuros* und auch als *S. viridis*.

**Tab. 1** Keimfähigkeit und Lebensfähigkeit. Zeit, ab der die Hälfte von Samen verschiedener Poaceen-Arten nach Inkubation in einem Wasserbad bei 42 °C nicht mehr keimte oder nicht mehr lebensfähig war (ET<sub>50</sub>-Werte und Konfidenzintervalle). Buchstaben zeigen statistisch homogene Untergruppen ( $p \leq 0,05$ ).

**Tab. 1** Germination and viability. Period, after which 50% of incubated seeds (water bath, 42°C) of different Poaceae species did not germinate and were not viable any more (ET<sub>50</sub> values and confidence intervals). Letters indicate statistically homogeneous subgroups ( $p \leq 0.05$ ).

Art und Biotyp	Versuchsreihe	Lebensfähigkeit		Keimfähigkeit			
		ET <sub>50</sub> (Tage)	95%-Konfidenzintervall (Tage)		ET <sub>50</sub> (Tage)	95%-Konfidenzintervall (Tage)	
			unteres	oberes		unteres	oberes
<i>Alopecurus myosuroides</i> 1	2	2,7 a	1,6	3,8	1,6 a	1,3	1,9
<i>Vulpia myuros</i> 1	2	3,5 ab	2,9	4,1	2,6 b	2,1	3,1
<i>Vulpia myuros</i> 2	2	3,7 ab	3,0	4,3	2,8 bc	2,4	3,2
<i>Setaria viridis</i> 1	1	3,8 ab	3,5	4,1	3,6 d	3,3	3,9
<i>Echinochloa crus-galli</i> 1	1	5,3 c	4,9	5,7	5,4 ef	4,0	6,7
<i>Echinochloa crus-galli</i> 1	2	5,3 c	4,8	5,7	4,6 e	4,3	4,9
<i>Echinochloa crus-galli</i> 2	2	5,8 c	5,5	6,1	5,6 f	4,9	6,4
<i>Panicum dichotomiflorum</i> 1	1	6,6 bc	3,9	9,4	(8,1*)	*)	*)
<i>Cynodon dactylon</i> 1	1	6,4 bc	3,5	9,3	4,4 cdef	3,8	5,1
<i>Cynodon dactylon</i> 1	2	6,8 bc	2,1	11,5	4,8 f	2,8	6,7

\*) Für die Keimung von *P. dichotomiflorum* konnten mit dem log-logistischen Modell Konfidenzintervalle wegen großer Streuung nicht beschrieben werden.

## Diskussion

Die Ergebnisse der Wirkungskurven und ET<sub>50</sub>-Werte von Lebens- und Keimfähigkeit bestätigen die Hypothese, dass Samen von Grasarten mit einem C<sub>3</sub>-Metabolismus an mesophile Bedingungen schlechter angepasst sind als Samen der C<sub>4</sub>-Gräser. Dabei können die Überlebensfähigkeit der Samen und der C<sub>4</sub>-Stoffwechsel völlig unabhängig voneinander Anpassungen an ein heißes Klima sein. Denn ein zugrunde liegender Mechanismus, der zu erhöhter Überlebensfähigkeit von C<sub>4</sub>-Samen führt, ist uns nicht bekannt.

Zwischen den C<sub>3</sub>-Gräsern entspricht die schnellere Deaktivierung des in Deutschland weit verbreiteten *A. myosuroides* im Vergleich zu *V. myuros* der aufgestellten Hypothese. Innerhalb der C<sub>4</sub>-Grasarten ist das relativ schnelle Sinken der Lebensfähigkeit von *S. viridis* im Vergleich zu *E. crus-galli* überraschend. Zur Keimung hat *S. viridis* höhere Temperatursprüche, so dass es im Maisanbau in Deutschland im Gegensatz zu *E. crus-galli* oft erst nach der ersten Herbizidmaßnahme aufläuft. Dieser Wärmebedarf ist offenbar nicht mit einer Wärmeverträglichkeit unter feuchten Bedingungen korreliert. Das zeigen weltweite Verbreitungskarten (CABI, 2019; POWO, 2019): in tropischen und subtropischen Regionen kommen *E. crus-galli* und auch *C. dactylon* häufig vor, während *S. viridis* erst außerhalb der tropischen und subtropischen Florenzonen zu finden ist (KLOTZ et al., 2002). *Cynodon dactylon*, dessen Samen das Wasserbad am längsten überlebten, toleriert wochenlange tiefe Überflutung (CABI, 2019), ist also nicht nur an warme, sondern auch an nasse Bedingungen bestens angepasst. Hinzu kommt, dass *C. dactylon* auch als Weidegras genutzt wird, d.h. die Art kann auch eine Selektion erfahren haben, den Verdauungstrakt von Warmblütern zu überstehen. Für *C. dactylon* fällt in den vorliegenden Versuchen die Diskrepanz zwischen der Abnahme der Lebensfähigkeit und der Keimung auf. Offenbar reichten zweijährige Lagerung, Wärmebehandlung im Wasser und Gibberellinsäure nicht aus, die Keimung zu stimulieren.

Die Ergebnisse sind für den Umgang mit Gärresten aus Biogasanlagen relevant. Dabei ist für das Risiko der Samenkontamination von Gärresten die Lebensfähigkeit der Samen wichtiger als die aktuelle Keimfähigkeit. Nach dem TTC-Test als lebensfähig eingestufte Samen könnten zu einem späteren Zeitpunkt keimen, z. B. wenn Dormanz gebrochen wurde. Der ET<sub>50</sub>-Wert aller hier getesteten Gräser Samen lag niedriger als der von *Chenopodium album* (10,8 °C, HAHN et al., 2018),

dessen Samen am häufigsten in Biogassubstrat gelangen (WESTERMAN und GEROWITT, 2012a). Er übertraf jedoch die mittlere Samen-Überlebenszeit von Malven, die deswegen als problematisch in Wildpflanzenmischungen für die Biogasproduktion gesehen werden (HAHN et al., 2018). Die meisten Biogasfermenter zählen zu den Durchflussanlagen, in denen die durchschnittliche Verweildauer des Substrats zwischen 20 und 40 Tagen liegt (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Ein Prozent des Substrats verlässt den Fermenter jedoch schon wieder nach einem Tag (BAIER et al., 2010), wenn ein Großteil der Gräser Samen noch lebensfähig ist. Das sollte bei der Ausbringung von Gärresten bedacht werden. Das Risiko der Unkrautverbreitung durch Gärreste wird relativiert, wenn die gesamte Biogasprozesskette mit vorhergehender Silierung betrachtet wird: abhängig von der Unkrautart, Silagedauer und Silageart, ist die Silierung für die meisten Grassamen tödlich (LÜCK, 2012; WESTERMAN et al., 2012c; SIMARD und LAMBERT-BEAUDET, 2016; PILTZ et al., 2017). Jedoch lebten bei Versuchen mit Luzernesilage nach einem Monat noch die Hälfte der eingebrachten *E. crus-galli*-Samen (SIMARD und LAMBERT-BEAUDET, 2016), und auch WESTERMAN et al. (2012c) zählten *E. crus-galli* zu den Arten mit relativ silier-resistenten Samen.

Während Arten spezifisch auf die Inkubation reagierten, wobei die Herkunft Hinweise auf die Überlebensfähigkeit der Samen gab, war innerartlich die Varianz zwischen verschiedenen Biotypen in unseren Versuchen gering. Die je zwei untersuchten Biotypen von *V. myuros* und *E. crus-galli* reagierten sehr ähnlich. Um zu erkennen, ob es innerhalb einer Art Adaptation an die Umgebung gibt, wäre es interessant, Samen von Biotypen einer Art zu untersuchen, die aus unterschiedlichen Florenzonen stammen.

Diese Studie liefert mit ihren Daten Bausteine dafür, die Verbreitung der Toleranz von Samen gegenüber feucht-warmen Bedingungen zu erfassen. Dabei ist die Herkunft und Verbreitung der Arten offenbar ein wichtiger Schlüssel. Um weitere allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten zu können, ist es in einem nächsten Schritt wichtig, sich mit den Mechanismen der Temperaturtoleranz zu befassen.

## Literatur

- BAIER, U., R. WARTHMAN, K. SCHLEISS, 2010: Fermentation and composting plants as hygiene barriers (in German). Report. Zürich. [https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse\\_temp/data/Das\\_bieten\\_wir/FE\\_Bericht\\_Hygienebarrieren\\_end3.pdf](https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse_temp/data/Das_bieten_wir/FE_Bericht_Hygienebarrieren_end3.pdf). Zugriff am 13.05.2019.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN), 2013: Verbreitung der Farn- und Blütenpflanzen in Deutschland. Datenbank FlorKart (BfN) aus Deutschlandflora 1.0 (NetPhyD). <http://www.floraweb.de>. Zugriff am 15.10.2019.
- CABI, 2019: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. [www.cabi.org/isc](http://www.cabi.org/isc). Zugriff am 14.10.2019.
- EDWARDS, E.J., S.A. SMITH, 2010: Phylogenetic analyses reveal the shady history of C4 grasses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**, 2532–2537.
- ENGELI, H., W. EDELMANN, J. FUCHS, K. ROTTERMANN, 1993: Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion. *Water Science and Technology* **27**, 69–76.
- FACHVERBAND BIOGAS, 2019: Branchenzahlen 2018 und Prognose der Branchenentwicklung 2019, [https://www.biogas.org/edcom/webfbv.nsf/id/de\\_branchenzahlen](https://www.biogas.org/edcom/webfbv.nsf/id/de_branchenzahlen), Zugriff am 5.10.2019.
- HAHN, J., D. PARZYCH, P.R. WESTERMAN, M. HEIERMANN, B. GEROWITT, 2016: The importance of temperature in the inactivation of seeds in biogas reactors (in German). *Julius Kühn Archiv* **452**, 123–129.
- HAHN, J., D. PARZYCH, J. SCHULZ, P.R. WESTERMAN, B. GEROWITT, 2018: Wildflower seeds in the biogas reactor: screening the risk of survival of different species. *Julius Kühn Archiv* **458**, 41–46.
- KLOTZ, S., I. KÜHN, W. DURKA, [Hrsg.], 2002: BIOLFLOR - Eine Datenbank zu biologisch-ökologischen Merkmalen der Gefäßpflanzen in Deutschland. - Schriftenreihe für Vegetationskunde **38**. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- KATOVICH, E.J., R.L. BECKER, J. DOLL, 2004: Weed seed survival in anaerobic digesters. The Minnesota Project, St. Paul, US.
- LEONHARDT, C., M. WEINHAPPEL, M. GANSBERGER, A. BRANDSTETTER, H. SCHALLY, E. PFUNDTNER, 2010: Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2. [https://www.ages.at/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/100296\\_Endbericht\\_biogas\\_dafne\\_letztfassung.pdf](https://www.ages.at/fileadmin/_migrated/content_uploads/100296_Endbericht_biogas_dafne_letztfassung.pdf). Zugriff am 10.01.2019.
- LÜCK, C., 2012: Überlebensfähigkeit von Gräser Samen in der Biogasprozesskette. Masterthesis. Universität Rostock, Deutschland.
- PILTZ, J.W., R.A. STANTON, H. WU, 2017: Effect of ensiling and in sacco digestion on the viability of seeds of selected weed species. *Weed Research* **57**, 382–389.
- POWO, 2019: Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org>. Zugriff am 15.10.2019.

29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3. – 5. März 2020 in Braunschweig

RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG, D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R. *PLoS ONE* **10** (12) e0146021.

SAAGE, R.W., 2004: The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist* **161**, 341–370.

SIMARD, M.-J., C. LAMBERT-BEAUDET, 2016: Weed seed survival in experimental mini-silos of corn and alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science* **96**, 448–454.

WESTERMAN, P.R., B. GEROWITT, 2012a: The probability of maize biomass contamination with weed seeds. *Journal of Plant Diseases and Protection* **119**, 68–73.

WESTERMAN, P.R., M. HEIERMANN, U. POTTBERG, B. RODEMANN, B. GEROWITT, 2012b: Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants. *Weed Research* **52**, 307–316

WESTERMAN, P.R., F. HILDEBRANDT, B. GEROWITT, 2012c: Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors. *Weed Research* **52**, 286–295.

WESTERMAN, P.R., B. GEROWITT, 2013: Weed seed survival during anaerobic digestion in biogas plant. *The Botanical Review* **79**, 281–316.