

# Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen



**Jacques G. Fuchs, FiBL**

in Zusammenarbeit mit:

Hansueli Dierauer (FiBL), Matthias Klaiss (FiBL), Mathias Ludwig (FiBL),  
Britta Hölzel (ZHAW), Urs Baier (ZHAW), Lutz Collet  
(Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg)

7. März 2017



Kompostieranlage Seeland AG  
Installation de Compostage Seeland SA



Kanton Zürich  
Baudirektion



EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich  
FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria  
FiBL est basé en Suisse, Allemagne et Autriche

**FiBL Schweiz / Suisse**  
Ackerstrasse, CH-5070 Frick  
Tel. +41 (0)62 865 72 72  
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

# Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen

## Zusammenfassung

In dieser Studie wurde das Risiko, dass sich das Erdmandelgras und Japanknöterich mittels ausgebrachtem Kompost oder Gärgut ausbreiten und weitere Parzellen befallen können, evaluiert. Dazu wurden verschiedene Kompostierungs- und Vergärungsversuche unter Praxis und Laborbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Sowohl die Rhizome des Japanknöterichs als auch die Mandeln des Erdmandelgrases werden durch fachgerechte Kompostierung bzw. Vergärung inaktiviert.
- Bei der Kompostierung können am äussersten Rand des Fusses der Kompostmiete Rhizome des Japanknöterichs bzw. Mandeln des Erdmandelgrases überleben. Die regelmässige Umsetzung der Miete stellt jedoch sicher, dass sämtliches organisches Material einmal im inneren der Miete zu liegen kommt. So wird eine vollständige Abtötung der Rhizomstücke und Mandeln gesichert.
- Da es bei der Feldrandkompostierung keine feste Abtrennung zwischen der Miete und dem Feldboden gibt, kann eine Bodenkontamination mit Erdmandel oder Japanknöterich am Fuss der Miete nicht vollständig ausgeschlossen werden. Deshalb sollten bei der Feldrandkompostierung zwei Vorsichtmassnahmen getroffen werden:
  - Material, welches bekanntermassen mit Erdmandel oder Japanknöterich verseucht ist, sollte nicht am Feldrand kompostiert werden.
  - Die Standorte der Feldrandmieten sollten regelmässig kontrolliert werden, um das eventuelle Wachstum von Erdmandel oder Japanknöterich sofort zu erkennen und diese zu eliminieren.
- Bei der thermophilen Vergärung wurden alle Rhizomstücke und Mandeln innerhalb einer Woche inaktiviert.
- Bei der mesophilen Vergärung waren ebenfalls alle Rhizomstücke nach einer Woche abgetötet; einige Mandeln konnten eine Woche Verweilzeit überleben, nach einer Prozessdauer von drei Wochen waren jedoch keine mehr keimfähig.
- In den Anlagen ist auf die Ordnung und die Organisation zu achten, damit kein Kurzschluss zwischen frischem Grüngut und Fertigprodukten entstehen kann (auch beim Materialtransport).
- Bei fachgerechter Kompostierung und Vergärung findet keine Verbreitung von Erdmandelgras oder Japanknöterich durch Kompost oder Gärgut statt.

# Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen

## 1. Einführung

### 1.1. Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*)

Das Erdmandelgras ist ein einkeimblättriges, mehrjähriges Unkraut, das in der Schweizer Landwirtschaft zunehmend Probleme verursacht und für Landwirte grosse Ertrags- bzw. Umsatzeinbussen bedeuten kann. Es vermehrt sich mittels unterirdischen Mandeln (Rhizomknöllchen) und hat sich in der Schweiz in den letzten 20 Jahren weit verbreitet. Erdmandelgras ist eine invasive Pflanze, die in landwirtschaftlichen Kulturen verheerende Schäden anrichtet. Einmal eingeschleppt, vermehrt sie sich im Winter dank den unterirdischen Mandeln rapide, es ist praktisch unmöglich, die Ausbreitung dieser Pflanze einzudämmen. Die Mandeln sind relativ klein (zwischen 0.5 und 15 mm) und können mit verunreinigten landwirtschaftlichen Maschinen sehr einfach auf andere Parzellen verschleppt werden.

### 1.2. Japanknöterich (*Reynoutria japonica*)

Japanknöterich ist eine mehrjährige Krautpflanze mit einem dichten, mehrere Meter tiefen Netz von unterirdischen Rhizomen. Sie kann drei Meter hoch werden und unter guten Bedingungen bis zu 30 cm pro Tag wachsen. Oft findet man sie an Flussufern, aber auch in zahlreichen anderen anthropogenen Lebensräumen mit reichen Böden.

Sie kann dichte Gebüsche (Monokulturen) bilden, die sich rasch ausbreiten und einheimische Pflanzen komplett verdrängen. Die Pflanze verbreitet sich vegetativ durch ihre Rhizome, die ein dichtes, meterlanges unterirdisches Netzwerk bilden, das sich ständig ausdehnt. Die Vermehrung durch Samen ist unbedeutend. Die Ausbreitung ist sehr effizient, selbst aus kleinsten Fragmenten (1-2 cm) der Rhizome oder des Sprosses können neue Pflanzen entstehen.

Die Verbreitung über weite Strecken kann auch durch erodierte Erde in Fließgewässern oder durch Abfuhr von kontaminiertem Erdaushub erfolgen. Sogar eine Infektion von Parzellen mit Verunreinigungen im Erntegut oder mit Kompost oder Biogassubstraten ist durchaus denkbar und bisher nicht untersucht.

### 1.3. Ziel des vorliegenden Projektes

Die Frage des Risikos einer Verbreitung dieser Pflanzen mit Substraten aus Biogasanlagen und Kompost ist äusserst aktuell.

Ein Parameter zur Inaktivierung von Pathogenen und Unkraut während der Kompostierung und der Biogaserzeugung ist sicherlich die Prozesstemperatur. Die Wirkung der chemischen Substanzen, die während der ersten Phase des entsprechenden Prozesses entstehen (wie bestimmte organische Säuren) und die Aktivität von nützlichen Mikroorganismen spielen auch eine wichtige Rolle. Bisherigen Forschungsergebnissen zufolge überleben Samen von Unkräutern eine fachgerechte Kompostierung<sup>1</sup> oder anaerobe Vergärung<sup>2</sup> in aller Regel nicht. Allerdings gibt es keine Untersuchungen dazu, wie gross das Risiko tatsächlich ist, dass die Wurzelorgane des Erdmandelgrases genau diese Prozesse überleben und daher ein Infektionsrisiko darstellen. Es existieren ebenfalls kaum Erkenntnisse darüber, ob Rhizome oder Sprosstteile vom Japanknöterich mit den üblichen Kompostier- oder Vergärungsprozessen tatsächlich wirksam abgetötet werden. Das Ziel dieser Studie ist somit einzuschätzen, wie gross das Risiko ist, dass das Erdmandelgras oder der Japanknöterich durch das Ausbringen von Kompost oder Gärgut verbreitet werden und damit neue Parzellen befallen können. Die untersuchten Einflussfaktoren umfassen dabei den Effekt der Sauerstoffverfügbarkeit (aerob / anaerob), Temperatur (mesophil / thermophil) sowie des Effekts der wässrigen (= biologisch aktiven) Umgebung (wasserdichte Exposition / wässrige Exposition).

## 2. Material und Methoden

Geerntete Mandeln von Erdmandelgras sowie Rhizome und Sprosstteile vom Japanknöterich wurden unter verschiedensten Bedingungen kompostiert bzw. anaerob vergärt. Neben der Prozessverfahren sind die Hauptparameter, die dabei untersucht wurden, die Prozesstemperatur und Expositionsdauer des Pflanzenmaterials. Ihre Keimfähigkeit wurde nach diesen Behandlungen untersucht.

### 2.1. Pflanzenmaterial

#### 2.1.1. Japanknöterich

Pflanzenmaterial (Rhizome und Stengel) wurde an zwei Orten gesammelt: Für den Kompostierungsversuch „Leibstadt 1“ stammte das Pflanzenmaterial aus einem Hausgarten in Weiach (ZH). Für die übrigen Kompostierungsversuche stammte das Pflanzenmaterial aus einem Bachufer in Hornussen (AG).

Bis zum Versuchsanfang wurde das Probematerial kühl aufbewahrt. Vor der Versuchsdurchführung wurden die Rhizome in Stücke von ca. 4 cm Länge geschnitten, die Stengel in Stücke von ca. 10 cm, mit mindestens einem Internodium pro Stück.

---

<sup>1</sup> Dorahy CG, Pirie AD, McMaster I, Muirhead L, Pengelly P, Chan KY, Jackson M, Barchia IM. 2009. Environmental Risk Assessment of Compost Prepared from *Salvinia*, *Egeria densa*, and Alligator Weed. *Journal of Environmental Quality* 38: 1483-1492.

<sup>2</sup> Westerman PR, Gerowitz B. 2013. Weed seed survival during anaerobic digestion in biogas plants. *The Botanical Review* 79: 281-316.



### 2.1.2. Erdmandelgras

Die Mandeln von Erdmandelgras haben zwei Ursprünge: selbstproduzierte Mandeln und im Feld gesammelte Mandeln.

Die selbst produzierten Mandeln wurden in „Einheitserde® Typ 0“ (Einheitserde Werkverband, D-36391 Sinntal-Jossa) mit einer Grunddüngung von 0,56 g Thomasmehl, 1,33 g Kalimagnesia und 2,3 g Hornmehl pro Liter Substrat produziert. Pro Topf (Ø 14 cm) wurde Mitte Juli eine Erdmandel, gesammelt in einem Feld in Ins (BE), gepflanzt. Nach fünf Monaten wurden die Pflanzenwurzeln ausgewaschen und die Mandeln gesammelt.

Die von Max Baladou im Feld gesammelten Mandeln stammen aus der Gemeinde Noville (VD). Die Erde des befallenen Feldes wurde im Dezember 2016 ausgesiebt und die Mandeln heraussortiert.

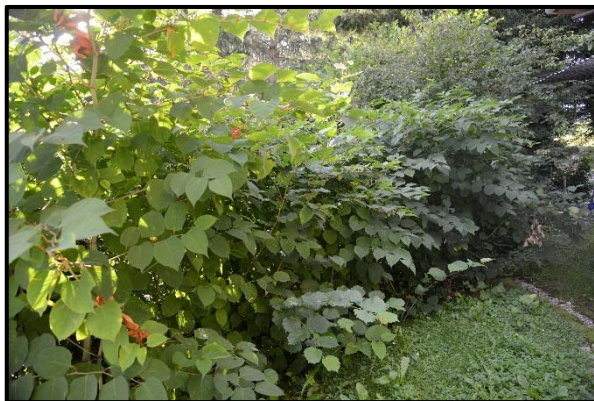


Abb. 1. Japanknöterichbestand in Weiach (ZH) (links) und in Hornussen (AG) (rechts)



Abb. 2. Mandelproduktion von Erdmandelgras (links) und Sammlung von Mandeln aus Felderde (rechts)

## 2.2. Durchführung der Kompostierungs- und Vergärungstests

Ein Teil der Pflanzenstücke wurden in kleine, wasser- und luftdurchlässige Säcke aus Nylonnetz eingepackt, damit sie chemischen Stoffen, Mikroorganismen und Temperatur ausgesetzt sind. Ein anderer Teil wurden in hermetisch abgeschlossene Plastikbeutel eingepackt, damit sie nur der Temperatur ausgesetzt sind. Pro Versuch und Variante wurden drei Wiederholungen mit je 50 Mandeln, 40 Rhizomen oder 10 Sprosstielen

eingesetzt. Pro Versuch wurden dazu drei Säcke und drei Beutel als Kontrolle bei Raumtemperatur gelagert.

### 2.2.1. Kompostierungsversuche

Auf professionellen Kompostieranlagen wurden die Pflanzenproben zu Beginn des Kompostierungsprozesses in verschiedenen Tiefen in den Mieten eingegraben (Abb. 3). Die Temperatur, der die jeweiligen Varianten ausgesetzt sind, wurde mit Temperatur Logger iButton DS1921G-F5# (Moritz Fuchs Elektronik, D-Weingarten) während des ganzen Versuchsverlaufs überwacht.

Nach einer bzw. nach drei Wochen wurden die Proben ausgegraben. Der Anteil der noch keimfähigen Pflanzenteile wurde unter kontrollierten Bedingungen bestimmt und mit den Pflanzenteilen verglichen, die bei Zimmertemperatur gelagert wurden (siehe 2.2.3).

Zwei Versuche wurden auf einer Tafelmiete-Kompostierungsanlage in Leibstadt (AG) durchgeführt. Zwei Versuche wurden auf einer Feldrandmiete-Kompostierungsanlage in Stein (AG) durchgeführt.

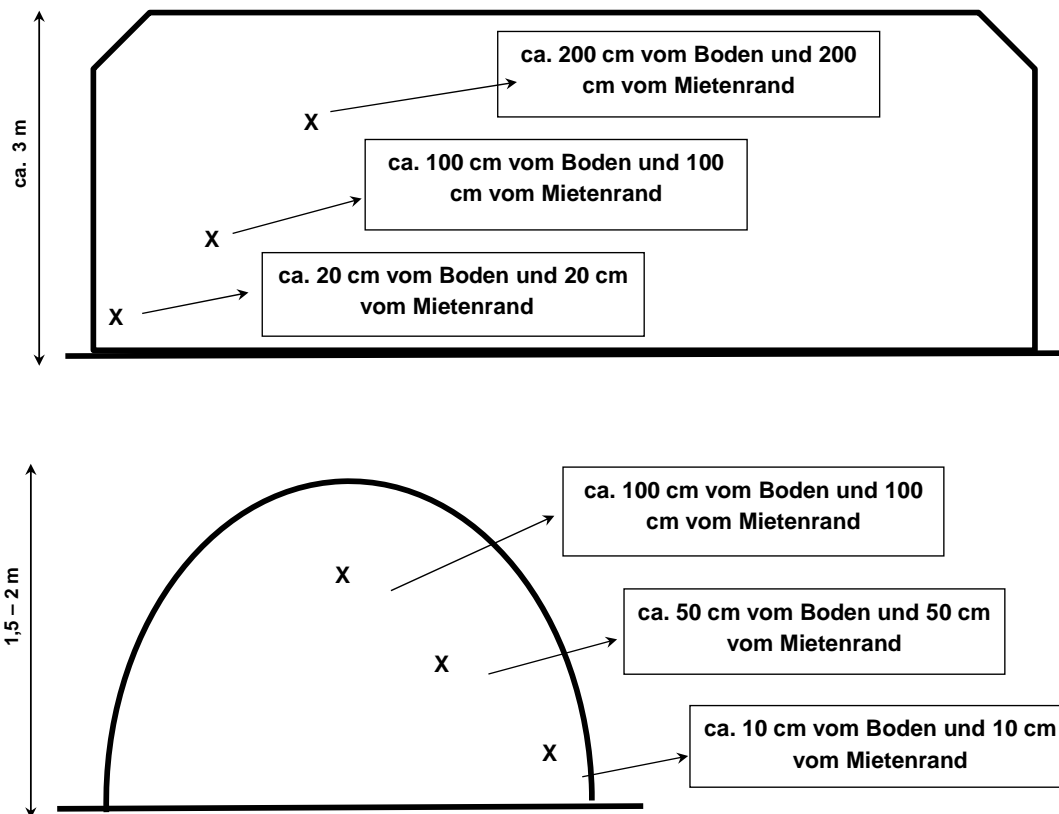


Abb. 3. Platzierung der Proben in den Mieten  
Oben: Tafelmiete  
Unten: Feldrandmiete

### 2.2.2. Vergärungsversuche

Diese Versuche wurden in Kunststoffgefäßen mit einem Volumen von 5.5l in den Labors der Fachstelle Umweltbiotechnologie der ZHAW in Wädenswil realisiert. Die Pflanzenteile in den obengenannten Nylonnetzen / Kunststoffbeuteln wurden 7 und 21 Tage bei 37°C (mesophile Vergärung) sowie 7 und 14 Tage bei 55°C (thermophile Vergärung) behandelt.



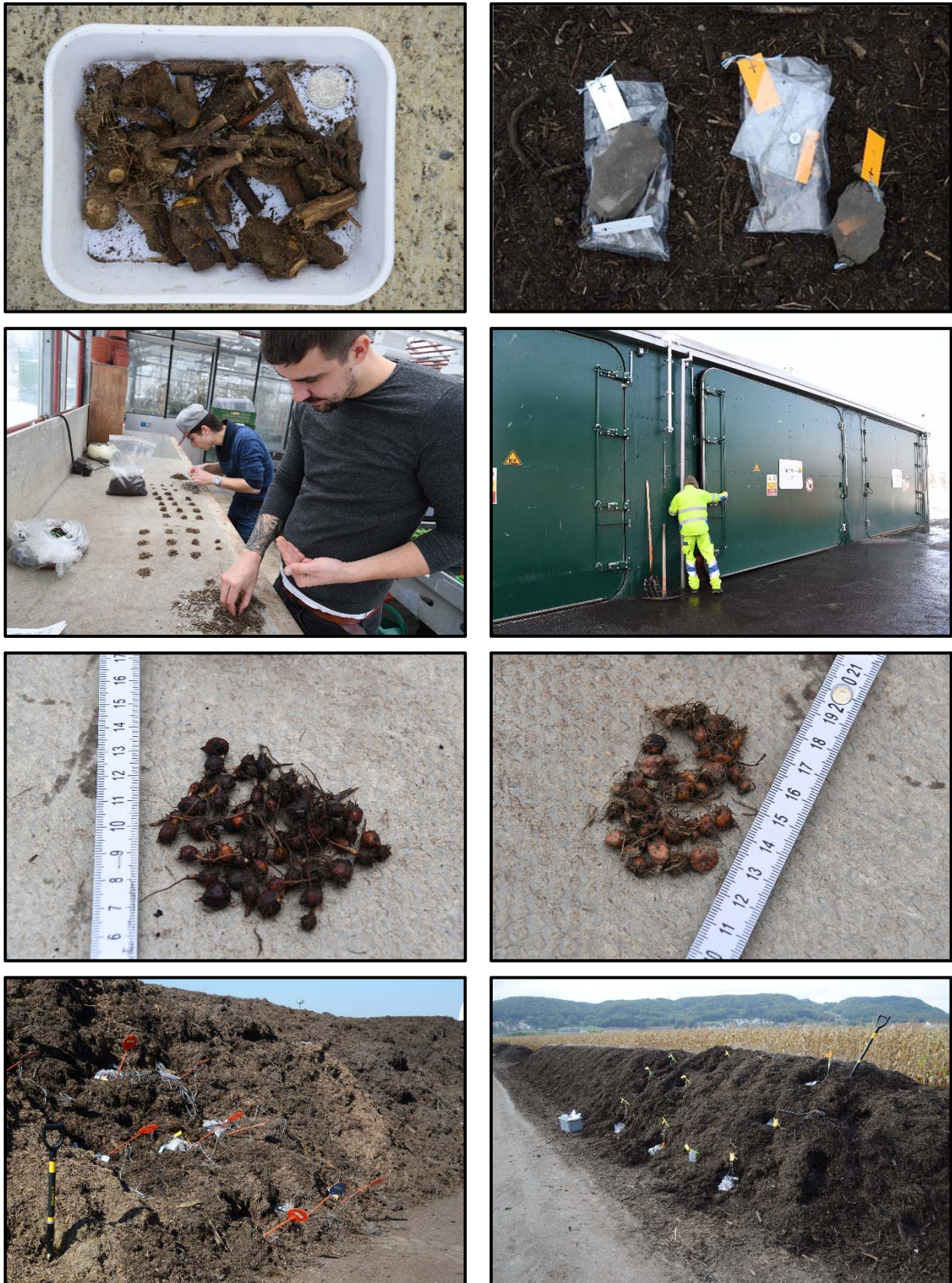


Abb. 4. Durchführung der Kompostierungsversuche

Ganz oben: links: Rhizomstücke von Japanknöterich vor der Kompostierung; rechts: Proben von Japanknöterich in Nylonsäcke und Plastikbeutel, und iButton-Logger

2. Reihe von oben: links: Vorbereitung der Erdmandelproben; rechts: Kompoferm-System.

2. Reihe von unten: links: Erdmandel aus FiBL-Zucht; rechts: Erdmandel aus Noville (VD)

Ganz unten: Platzierung der Proben in der Tafelmiete in Leibstadt-AG (links) und in der Feldrandmiete in Stein-AG (rechts)



Das Presswasser für die Behandlung stammte aus der Axpo Kompogas AG in Samstagern. Der pH-Wert dieses Presswassers lag um pH 8, die Trockensubstanz zwischen 12.5 % und 14.5 % und der Ammoniumgehalt betrug etwa 2g NH<sub>4</sub>-N/l. Der pH-Wert sank während der Versuchsdauer leicht, blieb aber in allen Fällen über 7.5. Die Parameter TS und NH<sub>4</sub>-N blieben über die Versuchsdauer konstant. Pro Woche Expositionszeit und pro Temperatur wurde ein Ansatz mit ca. 3l Presswasser angesetzt. Die Gefäße standen in temperierten Schüttlern der Firma Infors, welche mit 80 rpm rührten. Zwischen Abbruch des Gärversuches und dem Keimtest wurden die Proben 1 bis 2 Wochen im Kühlschrank bei 4 °C gelagert.

Der Anteil der noch keimfähigen Pflanzenteile wurde unter kontrollierten Bedingungen bestimmt und mit den Pflanzenteilen verglichen, die bei Zimmertemperatur gelagert wurden. Pro Pflanzenart wurde ein Versuch durchgeführt.



Abb. 5. Expositionstest unter anaeroben Laborbedingungen  
 Oben links: Presswasservorlage  
 Oben rechts: geschlossene Kunststoffgefäße mit Entgasung im Schüttler  
 Unten links: Presswasservorlagen  
 Unten rechts: Probenbeutel nach der Exposition



Als Ergänzung der Vergärungsversuche im Laborreaktor der ZHAW wurde die Überlebung von Erdmandelgras in der industriellen Vergärungsanlage Kompoferm-System (thermophile Boxen-Vergärung) in Sugiez (Kompostieranlage Seeland AG) getestet.

### 2.3. Test des Überlebens von Pflanzenmaterial

Fünf Liter „Einheitserde® Typ 0“ (Einheitserde Werkverband, D-36391 Sinntal-Jossa) wurden auf den Boden von Transportkisten Multiflor TK 3040 (Grösse 39 x 29 x 7 cm) (gvz-rossat AG, CH-Otelfingen) gegeben. Die Pflanzenteile (Stengel oder Rhizome von Japanknöterich, resp. Erdmandeln) wurden auf der Erde platziert und mit einer weiteren Schicht Einheitserde abgedeckt. Die Kisten wurden dann 3 bis 4 Wochen im Gewächshaus bei 20°C - 24°C feucht gehalten. Dann wurde die Anzahl gekeimte Pflanzen ausgezählt.



Abb. 6. Keimungstest von Knöterichproben nach der Kompostierung  
Oben links: Rhizomstücke von Japanknöterich auf Einheitserde  
Oben rechts: Rhizomstücke von Japanknöterich, mit Einheitserde abgedeckt  
Unten links: Keimungstest nach dem Auskeimen (unbehandelte Kontrollen)  
Unten rechts: Ansicht einer Pflanzschale bei der Versuchsauswertung

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Japanknöterich, Sprosse

Bei Versuchsende waren sowohl die behandelten als auch die unbehandelten Sprossteile nicht mehr keimfähig. Die unbehandelten Sprossteile waren vertrocknet. Ob die behandelten Sprossteile vertrocknet oder sonstwie inaktiviert wurden, lässt sich aus dem Versuch nicht schliessen. Für die Praxis sieht es so aus, dass Sprossteile kein Risiko darstellen, da die ihre Keimfähigkeit schnell verlieren, wenn sie einmal austrocknen.

### 3.2. Japanknöterich, Rhizome

#### 3.2.1. Kompostierungsversuche

Um auf der sicheren Seite zu sein, wurden die Proben bewusst nicht in der Mitte der Kompostmieten abgelegt, sondern näher beim Rand. Die Temperaturen wurden ebenfalls dort erhoben. Die hier gemessenen Temperaturen liegen deshalb tiefer, als wenn in der Mitte der Miete gemessen worden wäre, wie es den Rotteprotokollen entspricht. Alle Mieten haben diesbezüglich die gesetzlichen Vorgaben erfüllt (mindestens 3 Wochen mit Temperaturen höher als 55°C oder eine Woche mit Temperaturen höher als 65°C, mit mehrere Umsetzungen der Miete während dieser Periode).

#### Tafelmiete-Versuche in Leibstadt (AG)

Am Fuss der Miete betrug die Temperatur des organischen Materials während den ersten 7 bis 10 Tagen des Versuches zwischen 20 und 40°C (Abb. 6). Dann stieg die Temperatur bei alle Proben über 40°C und erreichte bei zwei Proben des ersten Versuches sogar Temperaturen deutlich über 60°C (Abb. 6).

Beim ersten Tafelmiete-Versuch war die Trockensubstanz im Rottematerial zwischen 45 und 55%, was einen guten Feuchtigkeitszustand bedeutet (Abb. 7. links). Am Anfang des zweiten Versuches war die Trockensubstanz des Materials sehr hoch (gegen 70%); nach Bewässerung der Miete bei ihrer Umsetzung konnte der Feuchtigkeitsgehalt der Miete erhöht werden, sodass das organische Material am Ende des Versuches eher feucht war (Abb. 7 rechts).

Alle Rhizom-Stücke, die in Plastiksäcken luftdicht eingepackt waren, waren in beiden Versuche nach schon einer Woche nicht mehr keimfähig. Dies unabhängig von ihrer Platzierung in der Miete (Abb. 8). Bei den Rhizom-Stücken, die in Nylonsäcken verpackt waren, konnten lediglich in einer Probe des zweiten Versuches (W2) einige Exemplare nach einer Woche noch keimen (Abb. 8 rechts). Die Temperatur am Ort dieser Probe betrug während der ersten 7 Tage zwischen 20 und 25°C (Abb. 6 oben rechts) und die Feuchtigkeit an diesem Ort innerhalb der Miete war deutlich tiefer (unter 30%, Abb. 7 rechts). Dies könnte der Grund sein, warum dort einige Rhizom-Stücke überlebten. Nach drei Wochen waren keine Rhizom-Stücke mehr keimfähig.

#### Feldrandmieten-Versuche in Stein (AG)

Die Temperatur am Fuss der Miete stieg bei beiden Versuchen kurz auf 40°C, und fiel dann auf 20-25°C (Abb. 9 oben). Die Temperatur in der Mitte der Miete und im oberen Teil stieg zuerst bis über 60°C, und sank dann kontinuierlich bis auf ca. 30°C am 7. Tag (Abb 9).

Nach der Umsetzung stieg die Temperatur wieder auf 60°C und mehr.

Bei beiden Versuchen war die Feuchtigkeit des Materials gut bis feucht (TS-Gehalte zwischen 40 und 50%, Abb. 10).

Bei diesen Versuchen wurden die Rhizomstücke frisch nach der Sammlung in den Plastiktüten luftdicht verschweisst. Darin begannen sie zu gären, sodass auch die Kontrollverfahren ihre Keimfähigkeit verloren. Eine Interpretation der Ergebnisse für dieses Verfahren ist somit nicht möglich.

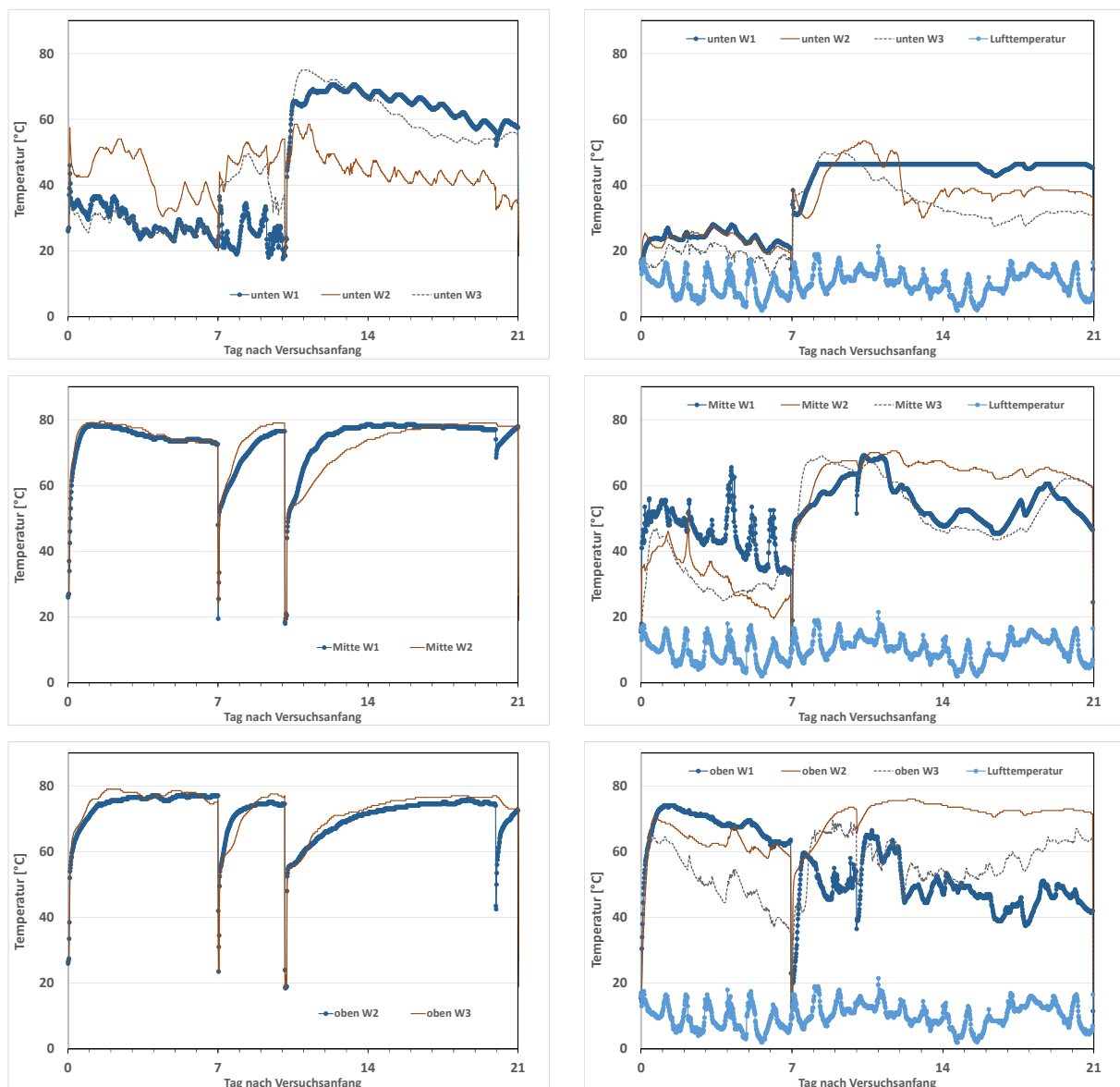


Abb. 6. Entwicklung der Temperaturen in der Tafelmiete (Leibstadt-AG) bei den Japanknöterich-Kompostierversuchen  
 Links: erster Versuch. Rechts: zweiter Versuch. Oben: Temperatur am Fuss der Miete, 20 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete. Unten: Probe ca. in einer Höhe von 200 cm und 200 cm im inneren der Miete



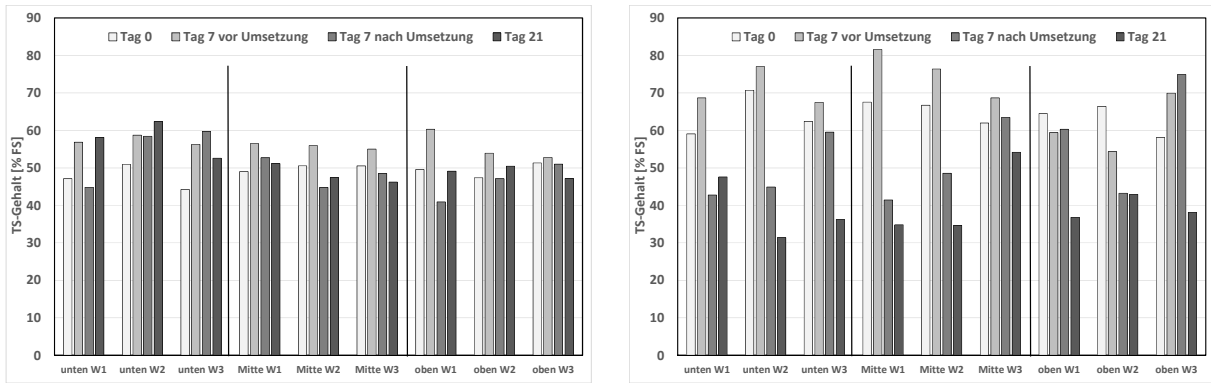


Abb. 7. Entwicklung der Feuchtigkeit des Rottegutes in den Tafelmieten (Leibstadt-AG) bei den Japanknöterich-Kompostierungsversuchen  
Links: 1. Versuch. Rechts: 2. Versuch.

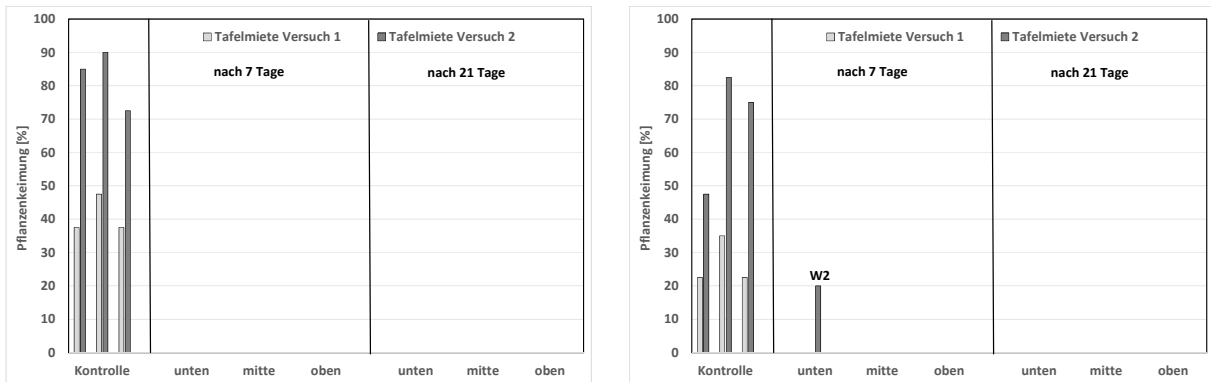


Abb. 8. Überlebensgrad von Japanknöterich-Rhizomen nach ihrer Kompostierung in einer Tafelmiete in Leibstadt (AG).  
Links: Rhizome in luftdichten Plastiksäcken. Rechts: Rhizome in luftdurchlässigen Nylonsäcken. Jede Kolonne entspricht einer Wiederholung (W).  
Unten: am Fuss der Miete, 20 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete. Oben: Probe in einer Höhe von ca. 200 cm und 200 cm im inneren der Miete.

Bei den Rhizomen-Stücken, die in Nylonsäcke eingepackt waren, wurde im ersten Versuch kein einziges keimfähiges Rhizomen-Stück gefunden, unabhängig vom Platzierungsort (Abb. 11).

Beim zweiten Versuch wurde bei den Verfahren am unteren Rand der Miete in allen drei Wiederholungen nach einer Woche keimfähige Rhizome gefunden, und in zwei von drei Proben noch nach drei Wochen (Abb. 11). Die Proben in der Mitte der Miete und im oberen Teil enthielten hingegen schon nach einer Woche Kompostierung kein einziges keimfähiges Rhizomstück mehr (Abb. 11).

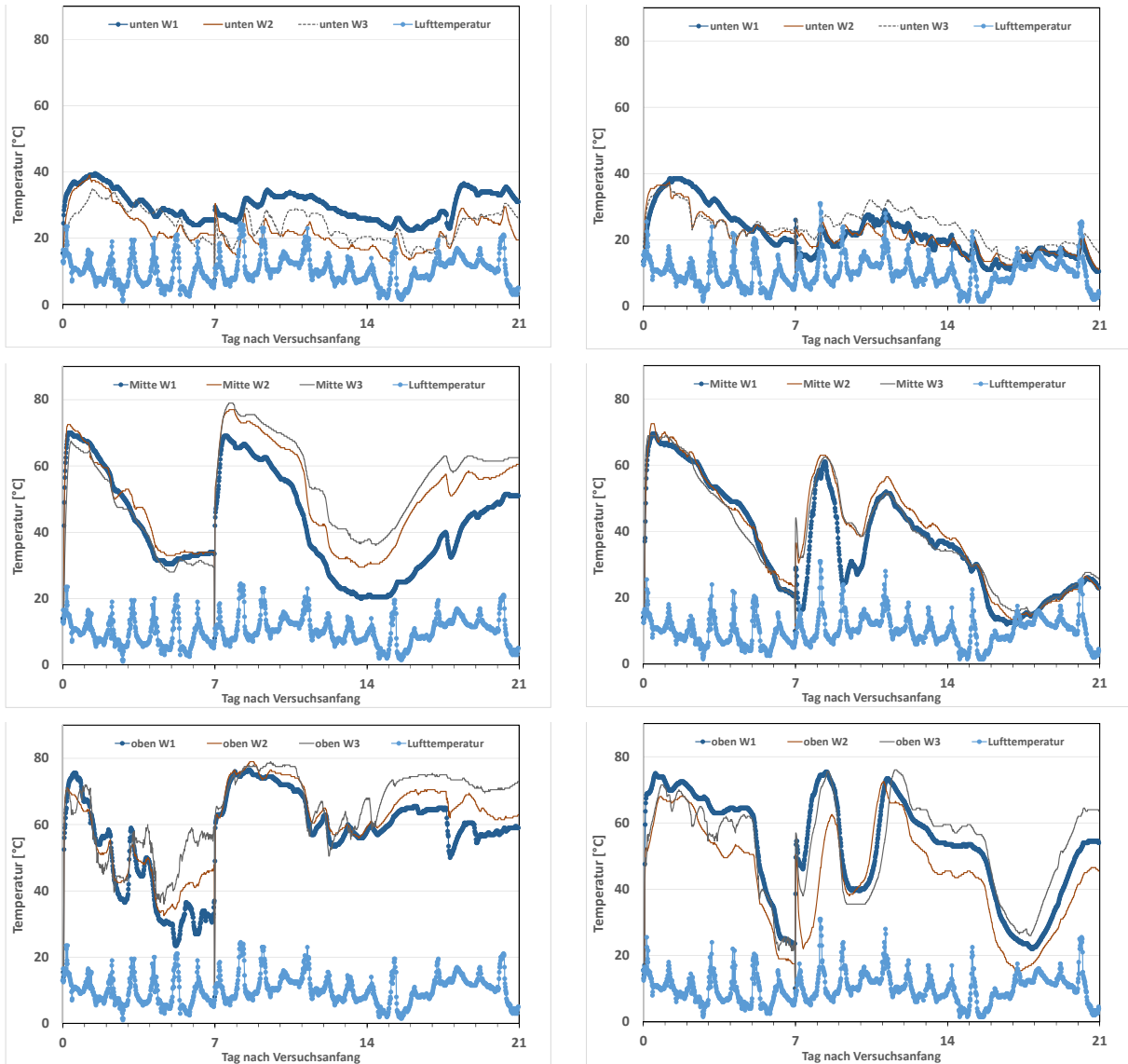


Abb. 9. Entwicklung der Temperaturen in der Feldrandmiete (Stein-AG) bei den Japanknöterich-Kompostierversuchen  
 Links: erster Versuch. Rechts: zweiter Versuch.  
 Oben: am Fuss der Miete, 10 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 50 cm und 50 cm im inneren der Miete. Unten : Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete.

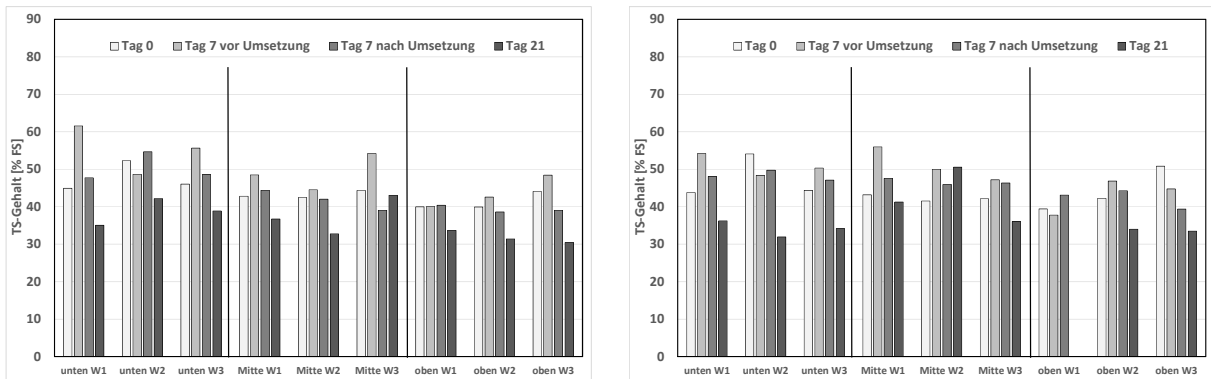


Abb. 10. Entwicklung der Feuchtigkeit des Rottegutes in den Feldrandmieten (Stein-AG) bei der Japanknöterich-Kompostierversuchen  
 Links: 1. Versuch. Rechts: 2. Versuch.

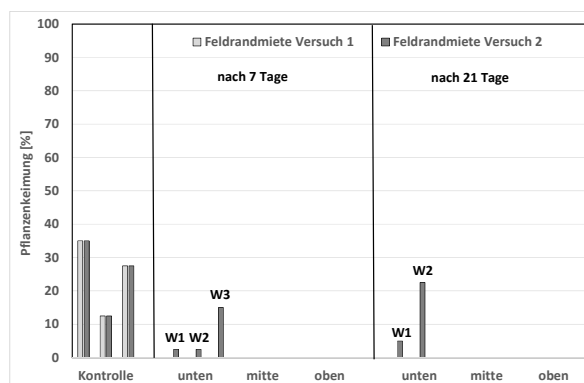


Abb. 11. Überlebensgrad von Japanknöterich-Rhizomen nach ihrer Kompostierung in einer Feldrandmiete in Stein (AG).

Rhizome in luftdurchlässigen Nylonsäcken.

Jede Säule entspricht einer Wiederholung (W).

Unten: am Fuss der Miete, 10 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 50 cm und 50 cm im inneren der Miete. Oben: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete.

### 3.2.2. Vergärungsversuche

#### Laborreaktor ZHAW, Wädenswil (ZH)

Die Rhizomstücke von Japanknöterich in den luftdicht verpackten Kontrollproben verloren aufgrund der anaeroben Bedingungen und der stattfindenden Eigengärung ihre Keimfähigkeit vollständig. Eine belastbare Aussage der Inaktivierung von Knöterich ist daher für luftdicht verpackte Rhizome nicht möglich, wobei sowohl bei 37 °C als auch bei 55 °C nach 7, 14 oder 21 Tagen bei allen Proben ein vollständiger Verlust der Keimfähigkeit festzustellen war (Daten nicht gezeigt).

Luftdurchlässig verpackte Rhizome von Japanknöterich verloren sowohl bei 37 °C als auch bei 55 °C innerhalb von 7 Tagen ihre Keimfähigkeit vollständig.

## 3.3. Erdmandelgras

### 3.3.1. Kompostierungsversuche

Die Kompostierungsversuche mit Erdmandelgras wurden im Januar 2017 durchgeführt. Die Aussenlufttemperatur während dieser Periode war sehr tief (zwischen -10°C und +10°C).

Es war kein Unterschied zwischen den Mandeln vom Feld und den Mandeln aus eigener Zucht erkennbar, sodass hier bei den Ergebnissen keine Differenzierung gemacht wurde.

#### Tafelmiete-Versuche in Leibstadt (AG)

Beim ersten Versuch lag die Temperatur bei zwei der drei Proben, die am Fuss der Miete plaziert waren, praktisch während der ganzen Versuchsdauer unter 15 °C (Abb. 12). Bei der dritten Probe betrug die Temperatur in der ersten Versuchswoche 30°C, danach wieder 15°C. Beim zweiten Versuch lag die Temperatur am Fuss der Miete zwischen 30°C und 50°C (Abb. 12), und in der Mitte und der oberen Hälfte über 50°C (Abb. 12).

Das organische Material der Miete war bei beiden Versuchen stets relativ feucht bis optimal befeuchtet (TS-Gehalte zwischen 35 und 50%, Abb. 13).



Ein grosser Teil der Erdmandeln, die am Fuss der Miete platziert waren, überlebten beim ersten Versuch den ganzen Kompostierungsprozess (Abb. 14). Beim zweiten Versuch waren hingegen nach 3 Wochen praktisch keine überlebenden Mandeln zu beobachten (Abb. 14). Dies hängt sicher damit zusammen, dass beim zweiten Versuch die Temperatur in der Miete deutlich höher war (Abb. 12). Die Mandeln in Nylonsäcken überlebten tendenziell etwas weniger als die in Plastiksäcken, aber es gab keinen statistischen Unterschied.

Keine einzige Mandel, die in der Mitte oder in der oberen Hälfte der Miete platziert war, überlebte den Kompostierungsprozess (Abb. 14).

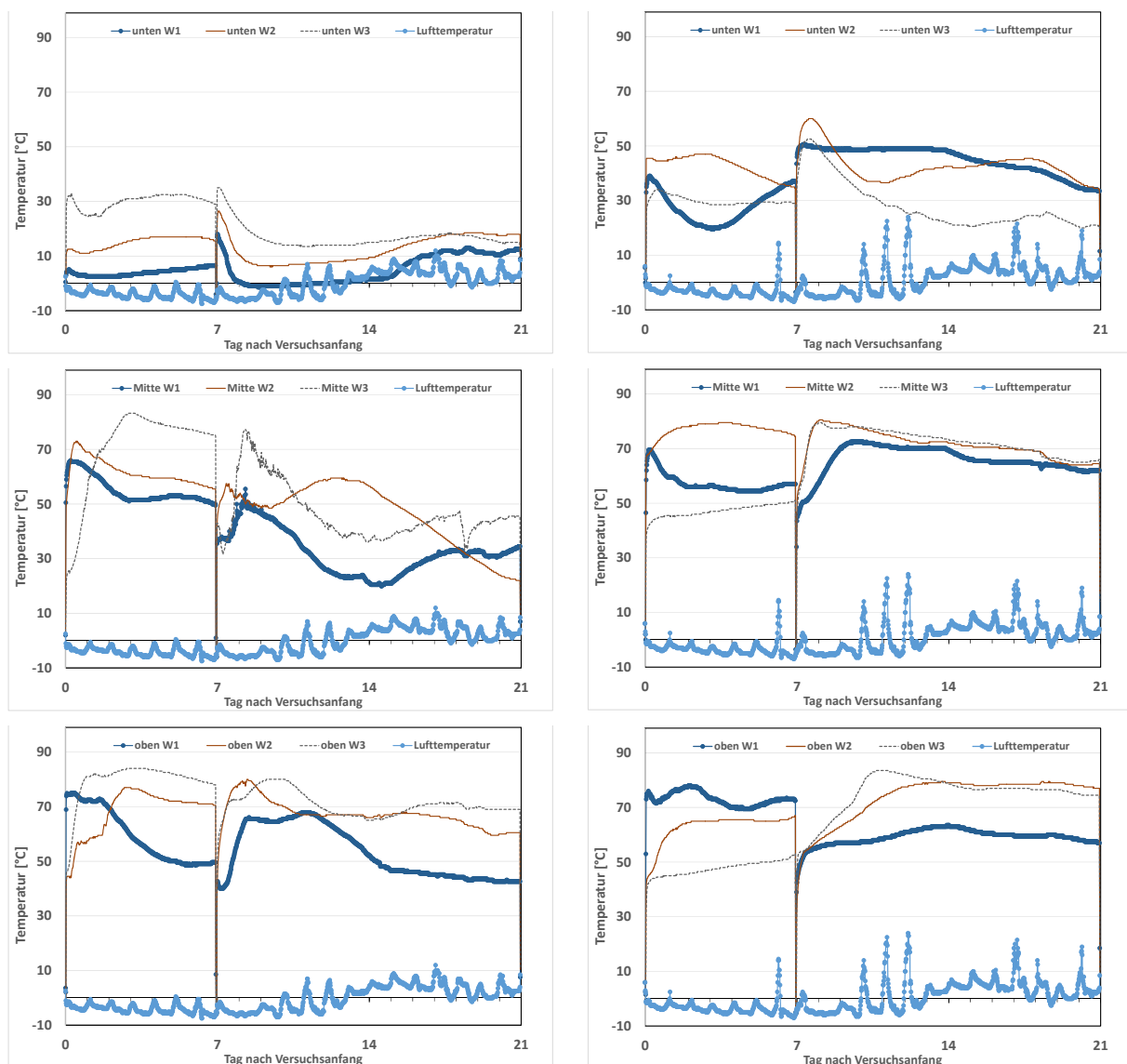


Abb. 12. Entwicklung der Temperaturen in der Tafelmiete (Leibstadt-AG) bei den Erdmandelgras-Kompostierversuchen  
 Links: erster Versuch. Rechts: zweiter Versuch. Oben: am Fuss der Miete, 20 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete. Unten: Probe ca. in einer Höhe von 200 cm und 200 cm im inneren der Miete

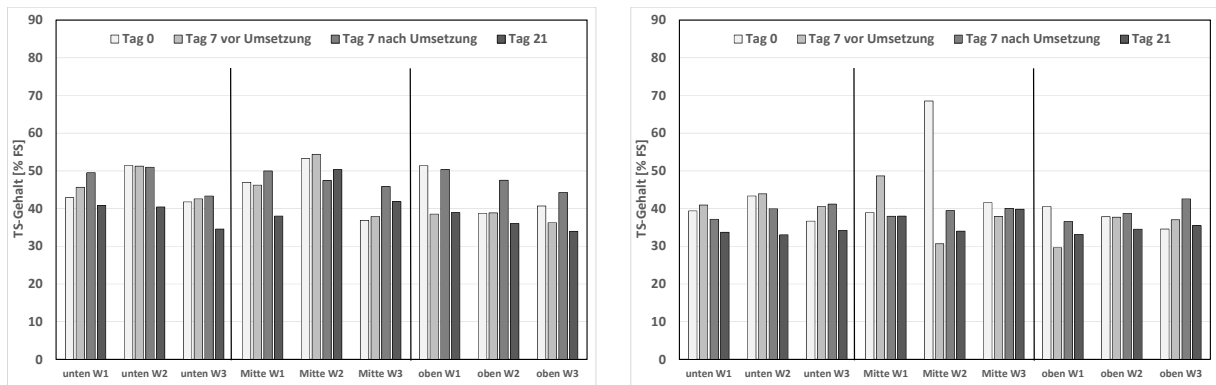


Abb. 13. Entwicklung der Feuchtigkeit des Rottegutes in den Tafelmieten (Leibstadt-AG) bei der Erdmandelgras-Kompostierversuchen  
Links: 1. Versuch. Rechts: 2. Versuch.

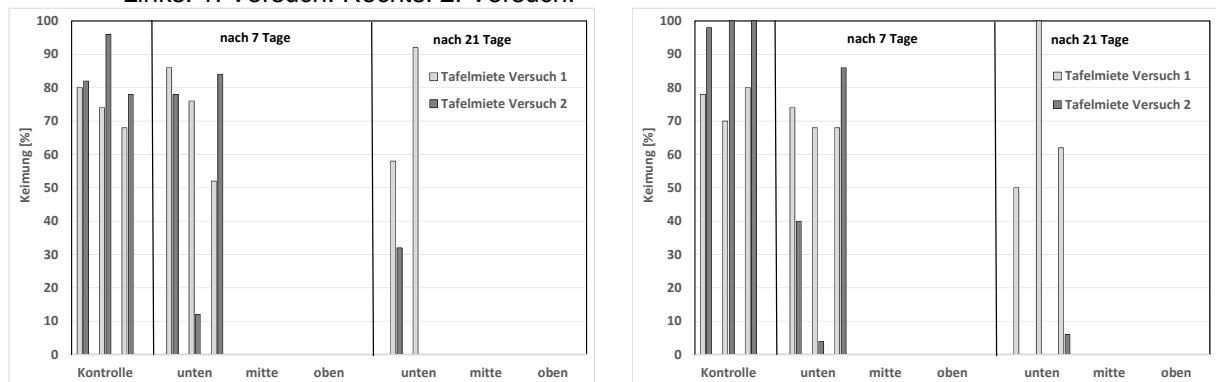


Abb. 14. Überlebensgrad von Erdmandelgras-Mandeln nach ihrer Kompostierung in einer Tafelmiete in Leibstadt (AG).  
Links: Mandeln in luftdichten Plastiksäcken. Rechts: Mandeln in luftdurchlässigen Nylonsäcken. Jede Säule entspricht eine Wiederholung (W).  
Unten: am Fuss der Miete, 20 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete. Oben: Probe ca. in einer Höhe von 200 cm und 200 cm im inneren der Miete.

### Feldrandmieten-Versuche in Stein (AG)

Die Temperaturen am Fuss der Feldrandmiete (praktisch stets unter 15°C) waren deutlich tiefer als diejenigen am Fuss der Tafelmiete (Abb. 16). Die Temperaturen in der Mitte der Miete und im ihrer oberen Teil betragen bei allen Proben mindestens eine Woche lang 60°C oder höher (Abb. 16).

Wie bei den Tafelmiete-Versuchen war das Rottematerial relativ feucht bis optimal (TS-Gehalte zwischen 35 und 50%, Abb. 17).

Die grosse Mehrheit der Mandeln, die am Fuss der Mieten plaziert waren, überlebte den Kompostierungsprozess. Bemerkenswert ist, dass die Mandeln in Nylonsäcken etwas schlechter überlebten als in Plastiksäcken (Abb. 18). Alle Mandeln in der Mitte oder in der oberen Hälfte der Miete waren schon nach einer Woche vollständig inaktiviert (Abb. 18).

Abb. 15. Überleben von Erdmandelgras-Mandeln nach drei Wochen Kompostierung in einer Feldrandmiete in Stein (AG).

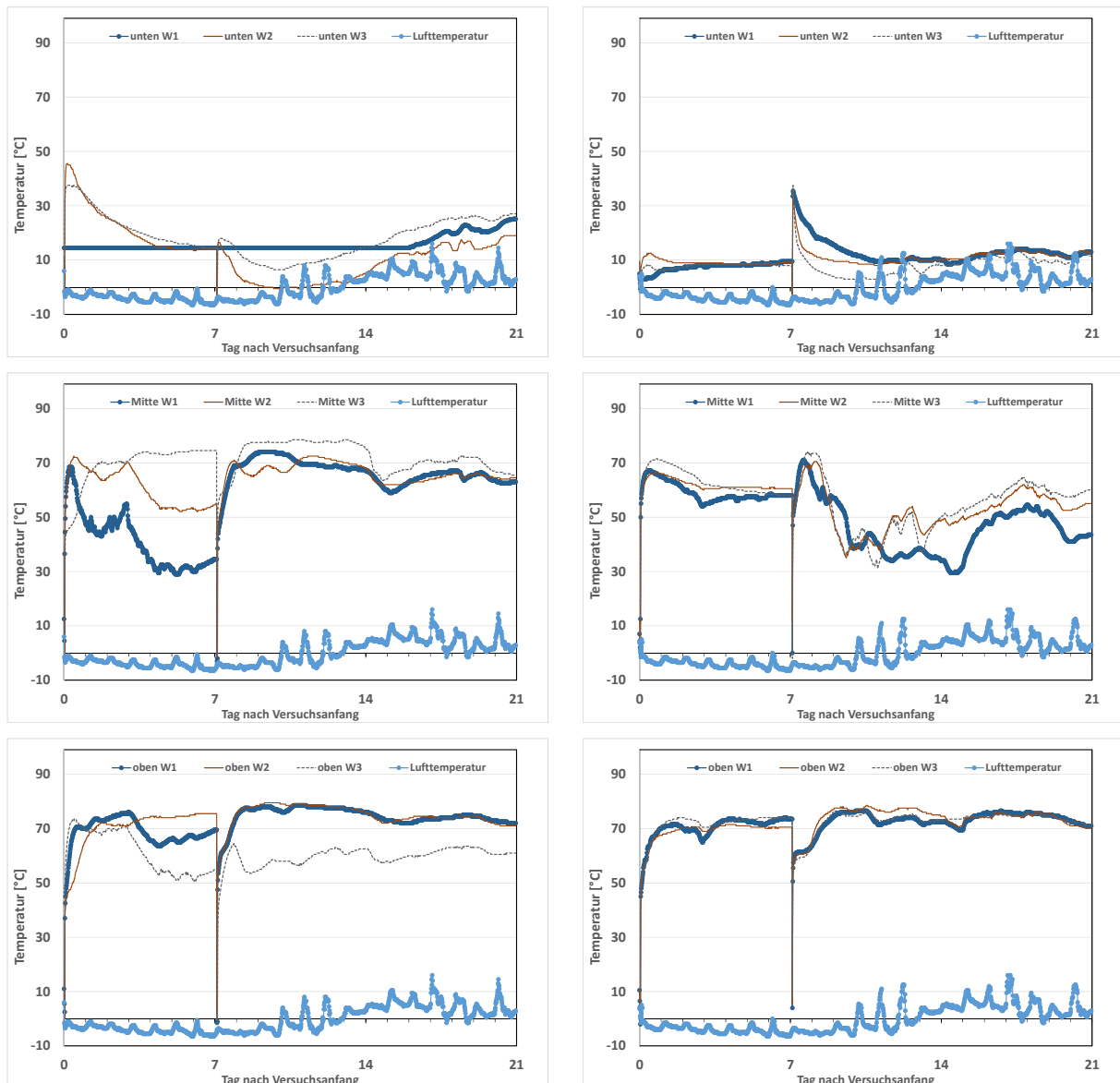


Abb. 16. Entwicklung der Temperaturen in der Feldrandmiete (Stein-AG) bei den Erdmandelgras-Kompostierversuchen  
 Links: erster Versuch. Rechts: zweiter Versuch.  
 Oben: am Fuss der Miete, 10 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 50 cm und 50 cm im inneren der Miete. Unten: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete.



### 3.3.2. Vergärungsversuche

#### Laborreaktor ZHAW, Wädenswil (ZH)

Die Keimfähigkeit der Kontrollproben, welche in luftdichten Beuteln aufbewahrt wurden, bewegte sich bei lediglich 70 - 80%. In luftdurchlässigen Nylonsäcken wurde bei den Kontrollproben eine annähernd 100%ige Keimfähigkeit festgestellt.

Die Mandeln aus der Zucht, die in luftdurchlässige Nylonsäcke eingepackt waren, waren nach 7 Tagen bei 37°C noch zu 80 – 100% keimfähig (Abb. 19). Nach einer Expositionszeit von 21 Tagen im mesophilen Temperaturbereich konnte ein 100%iger Verlust der Keimfähigkeit festgestellt werden (Abb. 19 links). Bereits nach 7 Tagen war bei mesophiler Temperatur bei den luftdicht exponierten Mandeln keine Keimfähigkeit mehr zu beobachten.

Thermophil exponierte Mandeln verloren bei 55 °C sowohl luftdicht als auch luftdurchlässig verpackt bereits nach 7 Tagen ihre Keimfähigkeit vollständig. Es konnte bei dieser Temperatur kein Überleben festgestellt werden (Abb. 19 rechts).

#### Komposterm-System, Sugiez (FR)

Die Temperatur im Komposterm-System lagen sowohl bei der Tür wie bei der Wand während dem ganzen Prozess um 50°C (Abb. 20). Nach der Prozessdauer von drei Wochen waren alle Mandeln inaktiviert, unabhängig von ihrem Standort in der Box (Abb. 21).

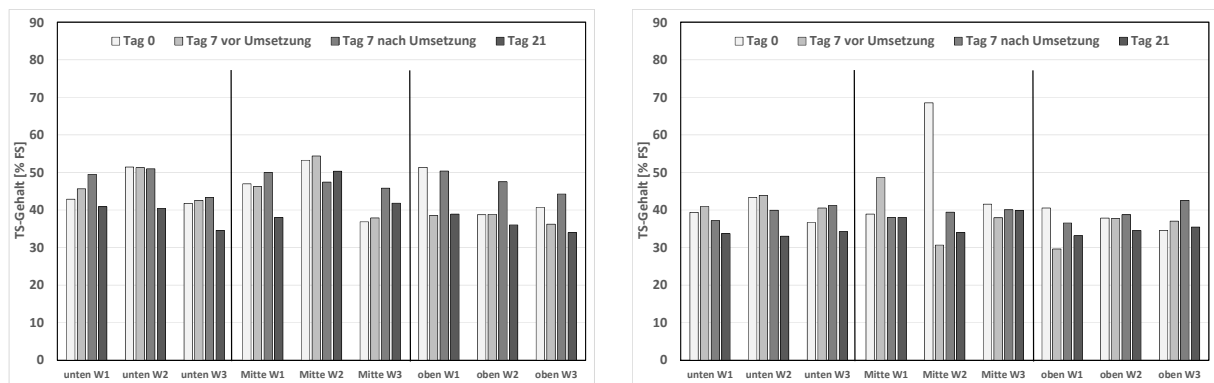


Abb. 17. Entwicklung der Feuchtigkeit des Rottegutes in den Feldrandmieten (Stein-AG) bei der Erdmandelgras-Kompostierversuchen  
Links: 1. Versuch. Rechts: 2. Versuch.

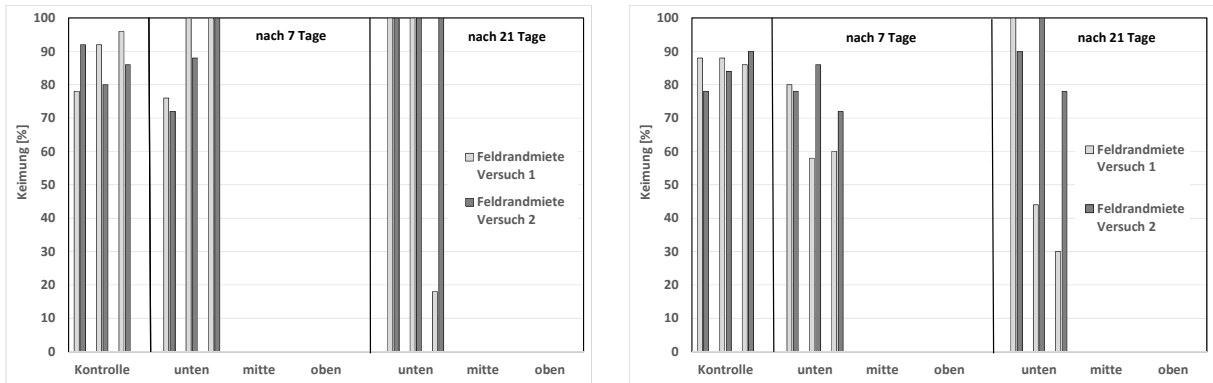


Abb. 18. Überlebensgrad von Erdmandelgras-Mandeln nach ihrer Kompostierung in einer Feldrandmiete in Stein (AG).  
 Links: Mandeln in luftdichten Plastiksäcken. Rechts: Mandeln in luftdurchlässigen Nylonsäcken. Jede Säule entspricht eine Wiederholung (W).  
 Unten: am Fuss der Miete, 20 cm vom Rand. Mitte: Probe ca. in einer Höhe von 100 cm und 100 cm im inneren der Miete. Oben: Probe ca. in einer Höhe von 200 cm und 200 cm im inneren der Miete.

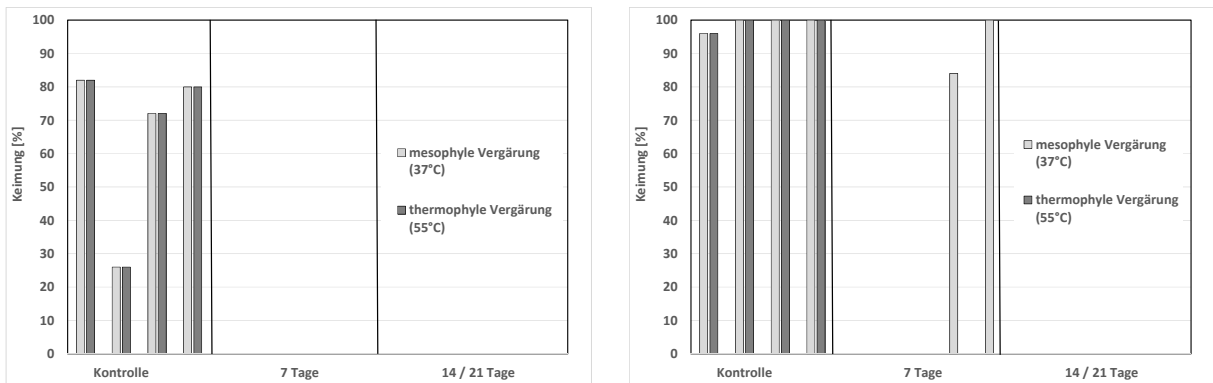


Abb. 19. Überlebensrate von Erdmandelgras-Mandeln nach der Vergärung in einem Laborreaktor der ZHAW.  
 Links: Mandeln in luftdichten Plastiksäcken. Rechts: Mandeln in luftdurchlässigen Nylonsäcken. Jede Säule entspricht eine Wiederholung (W).

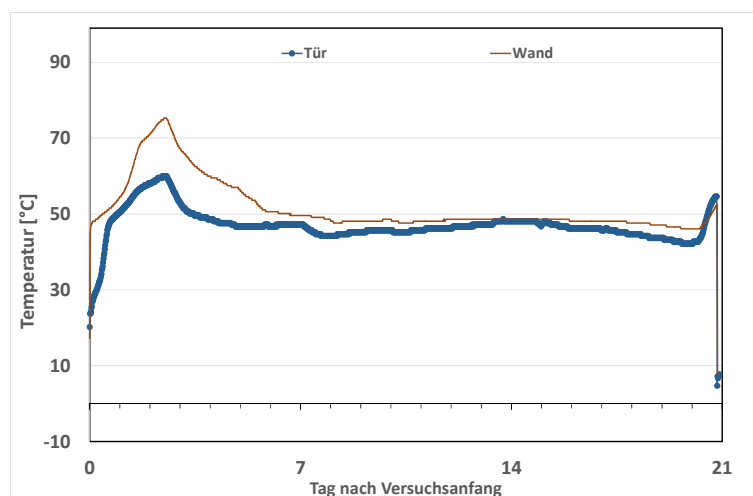


Abb. 20. Entwicklung der Temperaturen in der Vergärungsanlage Komposterm-System in Sugiez (FR) beim Erdmandelgras-Versuch.

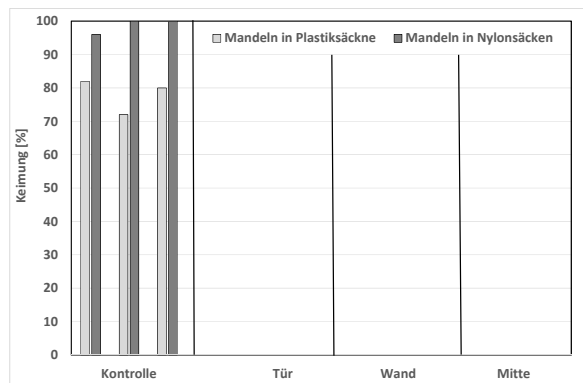


Abb. 21. Überlebensrate von Erdmandelgras-Mandeln nach 21 Tagen Vergärung in der Vergärungsanlage Kompoterm-System in Sugiez (FR).  
 Tür: Mandeln unmittelbar bei der Tür der Box platziert. Wand: Mandeln gegen die Wand der Box platziert. Mitte: Mandeln in der Mitte des Rottegutes platziert. Jede Säule entspricht eine Wiederholung (W).

## 4. Schlussfolgerungen

Sowohl Rhizome von Japanknöterich wie auch Mandeln von Erdmandelgras werden durch fachgerechte Kompostierung bzw. Vergärung inaktiviert.

Der Schwachpunkt bei der Kompostierung ist der Rand vom Fuss der Miete. Vor allem bei der Feldrandmiete herrschen dort zu niedrige Temperaturen, um das Abtöten der Rhizome von Japanknöterich bzw. der Mandeln von Erdmandelgras zu sichern. Beim Umsetzen der Miete wird jedoch das Material so gemischt, dass sämtliches organisches Material einmal im inneren der Miete zu liegen kommt, wo Rhizome und Erdmandeln schnell inaktiviert werden.

Bei der Feldrandkompostierung gibt es keine feste Abtrennung zwischen der Miete und dem Feldeboden. Dadurch besteht die Gefahr, dass einzelne Rhizomstücke oder Mandeln in den Boden gelangen, und nach der Entfernung der Miete keimen. Bei üblichem Grüngut, welches kaum Mandeln oder Rhizome enthält, ist aber die Gefahr einer Bodenkontamination mit Erdmandeln oder Japanknöterich extrem gering. Bei der Feldrandkompostierung sollten somit zwei Vorsichtmassnahmen getroffen werden:

- Material, welches bekanntermassen mit Erdmandel oder Japanknöterich verseucht ist, sollte nicht am Feldrand kompostiert werden.
- Die Standorte der Feldrandmieten sollten regelmässig kontrolliert werden, um das eventuelle Wachstum einem Problemunkraut sofort zu erkennen und zu eliminieren.

Bei der thermophilen Vergärung wurden alle Rhizomstücke und Mandeln innerhalb einer Woche inaktiviert. Bei der mesophilen Vergärung waren ebenfalls alle Rhizomstücke nach einer Woche abgetötet; einige Mandeln konnten eine Woche Verweilzeit überleben, nach einer Prozessdauer von drei Wochen war jedoch keine mehr keimfähig. Mit der üblichen Verweilzeiten in der Praxis ist somit die Vergärung von Erdmandelgras und von Japanknöterich unproblematisch.

Die Resultate des durchgeführten Projekts zeigen deutlich, dass eine Verbreitung von Erdmandelgras sowie von Japanknöterich durch Gärgut aus Vergärungsanlagen oder durch Kompost aus Kompostierungen bei fachgerechter Betriebsführung sicher unterbunden werden kann. Beide Pflanzen werden sowohl bei mesophilem (37 °C) als auch bei thermophilem (55 °C) Betrieb innert Wochenfrist vollständig inaktiviert. Diese Betriebsbedingungen werden sowohl in landwirtschaftlichen und industriellen Vergärungen als auch in Werkskompostierungen erreicht. Wichtig zur betrieblichen Kontrolle der Unterbrechung der Infektionskette ist bei allen Anlagentypen die Rückverfolgbarkeit, d.h. die regelmässige und lückenlose Dokumentation von Temperatur sowie Materialein- und Austrag. Landwirtschaftliche Feldrandkompostierungen sind in dieser Hinsicht als kritisch zu bezeichnen. Hier sind Bereiche zu erwarten, in welchen die erforderlichen Temperaturen und Verweilzeiten nicht sicher gewährleistet werden (wegen fehlender Abtrennung zwischen der Miete und dem Feldboden). Zudem ist gerade im Falle der Verwertung von mit Neophyten belastetem Material auf eine konsequente Vermeidung von Kurzschlüssen zwischen frischem Eingangsmaterial (Grüngut) und den produzierten Endprodukten (Gärgut, Kompost) zu achten. Dies gilt sowohl für die vor- und nachgelagerten Lager und Transportprozesse als auch für die hydraulischen Kurzschlüsse in mesophilen Vergärungsanlagen.

Jacques G. Fuchs  
Projektleiter, FiBL

im März 2017

## Danksagung

Die Autoren dieser Studie danken folgenden Institutionen für die Finanzierung dieses Projektes:

- Kantone Bern, Freiburg, Waadt und Zürich
- Gemüseproduzenten der Kantone Bern und Freiburg (GVBF)
- Bio Suisse
- Kompostierungsanlagen Seeland AG und Leureko AG

Ebenfalls möchten die Autoren folgenden Personen und Institutionen für ihre Mitarbeit bei den Versuchen danken:

- Kompostierungsanlage Leibstadt (Leureko AG)
- Feldrandkompostierungsanlage Käser Beat und Rolf in Stein
- Kompostierungs- und Vergärungsanlage Sugiez (Seeland AG)
- Max Baladou (office technique maraîcher VD) und Lutz Collet (landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg) für die Organisation von Mandeln von Erdmandelgras.