



Schlussbericht 2017

Qualitätssteigerung Gärgut flüssig

Presswasser





Datum: 20.11.2017

Ort: Aadorf

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

BAFU, Abt. Abfall und Rohstoffe, 3003 Bern

50% Finanzhilfen Bundesämter

50% Mitglieder von Biomasse Suisse

Auftragnehmer/in:

Biomasse Suisse
Alte Bahnhofstrasse 5
3110 Münsingen
www.biomassesuisse.ch

Autoren:

Arthur Wellinger, Biomasse Suisse; arthur.wellinger@biomassesuisse.ch
Michael Oertig und Andreas Hurter, Axpo Kompogas
Helmut Vetter, Biogas Zürich
Urs Baier, ZHAW
Jacques Fuchs, FIBL
Adrian Schatz, HZI

BFE-Bereichsleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501227-01

BAFU-Vertragsnummer: UTF504.07.15/ IDM 2006.2423.489

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Projektziele

Das flüssige Gärgut (Presswasser) aus der Vergärung organischer Abfälle kann ökologisch und ökonomisch sinnvoll so aufbereitet werden, dass es zur Düngung in Bereichen eingesetzt werden kann, in denen der Einsatz zeitlich weniger beschränkt ist als in der Landwirtschaft (z.B. Park- und Sportrasen, Gärtnereien etc.). Dank der Aufbereitung soll zudem Prozess intern Frischwasser eingespart werden können.

Zusammenfassung

Technische Aufbereitung von flüssigem Gärgut

Die grosse Herausforderung dieses Projektes war die technische Aufbereitung. Über Plan konnten vier Verfahren getestet werden: Wendelfilter, Kantenspaltfilter, Separator und Schwingsieb. Der vom Design her vielversprechendste Ansatz mit dem Wendelfilter brachte zwar gute Resultate bezüglich der Trennung, aber das Sieb war innert kürzester Zeit abgetragen und barst. Optimierte Wendel brachten keine Verbesserung. Der Kantenspaltfilter war mit dem Presswasser in Kürze irreversibel verstopft und der Separator zeigte nicht die nötige Qualität des Filtrats. Das Vibrationssieb (Vibrationssieb) brachte letztlich den gewünschten Erfolg.

Potenzialabschätzung und Marktbedürfnisse

In einer Projektarbeit an der ETH Zürich wurde das **Anwendungspotenzial** von abgesiebttem Presswasser auf Sport- und Parkrasen evaluiert. Aufgrund von Arealstatistiken des Bundes wurden die Flächen erhoben. Neben der Flächenerfassung ist der Düngemittelbedarf pro m² Rasenfläche die ausschlaggebende Grösse. In einer Bachelorarbeit an der ZHAW wurden die **Marktbedürfnisse** untersucht. Ziel der Marktevaluation war die Erfassung der potentiellen Anwendungsmengen des flüssigen Gärgutes anhand von Literaturrecherche und Expertenbefragung. Zusammen mit den Topf-Versuchsergebnissen konnte ein hohes Anwendungspotential in den Branchen Garten-, Landschafts- und Beerenbau, Gemüse- und Zierpflanzenproduktion sowie im Obstbau erhoben werden.

Pflanzenwirksamkeit und Anwendungsempfehlungen

Die Topfversuche mit Raygras und Rollrasen zeigten insgesamt gute Pflanzenwirksamkeit des Presswassers. Als Vergleichsdünger dienten ein biologischer und ein konventioneller Rasendünger. Alle Varianten der Düngung zeigten bessere Werte als die Kontrolle. Beste Ergebnisse wurden mit einer dreimaligen Gabe vor dem Säen erzielt. Das Wachstum des italienischen Raygrases war leicht höher mit dem konventionellen Dünger; die Ergebnisse mit dem flüssigen Gärgut waren ähnlich wie mit Bio-Dünger. Beim Rollrasen zeigten die beiden Vergleichsdünger ähnliches Wachstum. In den Feldversuchen mit Bio-Knollensellerie hat das mit 166µ gesiebte Presswasser hervorragende Ergebnisse gebracht mit vergleichbaren Erträgen wie kommerzieller Biodünger, aber zu einem deutlich niedrigeren Preis. Aufgrund der Versuche kann den Gemüse-Produzenten der Gebrauch von Presswasser-Dünger mit zweimaliger Gabe empfohlen werden, insbesondere bei Bio-Produzenten.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Das Vibrationssieb-Verfahren wurde einer Wirtschaftlichkeits-Analyse unterzogen. Diese unterteilt sich in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Investitions- und Betriebskosten bei Integration in ein bestehendes Vergärwerk und einen Kostenvergleich zwischen der Nutzung von aufbereitetem flüssigem Gärgut gegenüber dem herkömmlichen Kunstdüngereinsatz. Die Berechnung erfolgte auf Basis eines bestehenden Pfropfenstromfermenters mit Trockenvergärung von 20'000 Jahres-tonnen, welche mehrheitlich in der Schweiz eingesetzt werden. Die Gegenüberstellung von Gesamtkosten und Erträgen bzw. Kosteneinsparungen zeigt, dass die Investition in ein Vibrationssieb kostenneutral bzw.



mit leichter Tendenz zu einer Kosteneinsparung von rund Fr. 4'500.- pro Jahr umgesetzt werden kann.

Résumé

Traitement technique du digestat liquide

Le principal défi de ce projet a été la préparation technique. Quatre procédés ont pu être testés dans les délais prévus: filtre en spirale, filtre à fente, séparateur et tamis vibrant rond. Le concept le plus promettant du filtre en spirale semblait parfait en termes de séparation, mais le tamis était usé et a éclaté en très peu de temps. Les filaments optimisés n'ont apporté aucune amélioration. Le filtre à fente s'est rapidement colmaté de façon irréversible avec le jus de presse et le séparateur n'a pas montré la qualité requise du filtrat. Le crible vibrant (tamis de criblage) a finalement apporté le succès souhaité.

Evaluation des besoins potentiels et du marché

Dans le cadre d'un projet de l'ETH Zurich, le potentiel d'utilisation du jus filtré pour les gazons de sport et les gazons des parcs a été évalué. Les zones ont été étudiées sur la base de statistiques fédérales. Outre l'étude de surface, les besoins en engrais par m² de pelouse sont décisifs. Les besoins du marché ont été examinés dans une thèse de baccalauréat à la ZHAW. L'évaluation du marché avait pour but d'enregistrer les quantités d'application potentielles de la matière de fermentation liquide sur la base d'une recherche documentaire et d'expertises. Avec les résultats des essais en pot, un potentiel d'application élevé dans les secteurs de l'horticulture, du jardinage paysager, de la culture des baies, de la production de légumes et de plantes ornementales et de la culture fruitière a été identifié.

Efficacité des plantes et utilisations recommandées

Les essais en pot avec des ray-grass italien et du gazon en rouleau ont montré une bonne efficacité générale du jus de pressage. Un engrais biologique commercial et un engrais conventionnel pour pelouse ont servi d'engrais de référence. Tous les différents types de fertilisation ont montré de meilleures valeurs que le contrôle. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une dose trois fois avant le semis. La croissance du ray-grass italien a été légèrement supérieure avec les engrais conventionnels; les résultats obtenus le digestat liquide étaient similaires à ceux des engrais organiques. Les deux engrais de comparaison ont affiché une croissance similaire sur le gazon en rouleau. Dans l'essai en champ réalisé sur une culture bio de céleris-pomme, la fertilisation des plantes avec du digestat liquide filtré à 0,166 mm a donné d'excellents résultats, la récolte de plante ayant été aussi bonne que dans la variante fertilisée avec des engrais bio du commerce, mais avec des coûts beaucoup plus bas. Sur la base de cet essai, on peut recommander un apport de digestat liquide en deux fois avec des pendillards. De manière générale, l'emploi de digestat liquide en maraîchage peut représenter très intéressante en particulier pour les producteurs bio.

Etudes de faisabilité

Le procédé de tamis vibrant a été soumis à une analyse plus précise de l'efficacité économique. Il s'agit d'une analyse de rentabilité pour les coûts d'investissement et d'exploitation lorsqu'ils sont intégrés dans une installation de fermentation existante et d'une comparaison des coûts entre l'utilisation de la matière de digestat liquide filtré et l'utilisation conventionnelle d'engrais artificiels ou biologique. Le calcul a été basé sur un digesteur à sec genre plug-flow existants de 20 000 tonnes par an, principalement utilisés en Suisse. Une comparaison des coûts totaux et des recettes totales ou des économies de coûts montre que l'investissement dans un tamis vibrant peut être réalisé sans incidence sur les coûts ou avec une légère tendance à économiser environ 4500 francs par an.



Summary

Technical processing of liquid fermentation material

The major challenge of this project was the mechanical upgrading of the liquid digestate after press. Four processes could be tested: spiral filter, edge gap filter, separator and vibratory round screen. The most promising approach seemed to be the design of the spiral filter. In fact, it was the one with the best results in terms of separation, but the screen was abraded and bursted within a very short time. Optimized helixes did not bring any improvement. The edge gap filter was soon irreversibly clogged with the press water and the separator did not show the required quality of the filtrate. The vibration sieve (vibrating screen) finally achieved the desired success.

Assessment of potential and market needs

In a project at ETH Zurich, the potential application of filtered liquid digestate after press on sport turfs and parkland was evaluated. The areas were surveyed on the basis of federal site statistics. In addition to the area survey, the fertiliser requirement per m² of lawn area is the decisive factor. In a bachelor's thesis at the ZHAW, market needs were examined. The aim of the market evaluation was to record the potential application quantities of the liquid fermentation material on the basis of literature research and expert surveys. Together with the results of the pot tests, a high application potential was identified in the horticulture, landscape gardening, berry growing, vegetable and ornamental plant production and fruit growing sectors.

Plant efficacy and recommendations for use

The pot tests with Ray grass and rolled turf showed good overall plant efficacy of the press water. A commercial biological and a conventional lawn fertilizer were used as reference fertilizer. All varieties of fertilization showed better values than the control. Best results were achieved with a threefold dose before sowing. The growth of the Italian Ray grass was slightly higher with chemical fertilizers; the results with the liquid digestate were similar to those obtained with organic fertilizers. The two comparative fertilizers showed similar growth rates for rolled turf. In field tests with organic celeriac, the press water screened with 166µ produced excellent results with comparable yields as commercial biofertilizers, but at a significantly lower price. Due to the experiments, the producers of vegetables can be recommended to use a double-dose press water fertilizer, especially from organic producers.

Feasibility studies

The vibrating screen process was subjected to a more precise economic efficiency analysis. This is divided into a feasibility study for the investment and operating costs when integrated into an existing fermentation plant and a cost comparison between the use of processed liquid digestate and the conventional use of artificial and biological fertilizers. The calculation was based on an existing plug flow digester with dry fermentation of 20,000 tons per year, which are mainly used in Switzerland. A comparison of total costs and earnings or cost savings shows that the investment in a vibrating screen can be implemented cost-neutral or with a slight tendency to a cost saving of around CHF 4,500 per year.

Nationale Zusammenarbeit

Im Projekt sind die wichtigsten Stakeholder direkt involviert aus der Forschung (FIBL, ZHAW), aus der Industrie (Axpo Kompogas, HZI) und aus der Praxis (Leureko, Biogas Zürich). Daneben bestehen Kontakte zur ETH und zu Grünstadt Schweiz.

Internationale Zusammenarbeit

Auf internationaler Ebene gibt es keine vergleichbaren Ansätze. Mit holländischen Firmen, welche eine optimierte fest/flüssig Trennung mit Flockungsmitteln machen, bestehen Kontakte und Informationsaustausch.



Qualitätssteigerung Gärgut flüssig

Inhaltsverzeichnis

Presswasser	1
Projektziele	3
Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Nationale Zusammenarbeit	5
Internationale Zusammenarbeit.....	5
Qualitätssteigerung Gärgut flüssig	6
Inhaltsverzeichnis	6
1. Technische Aufbereitung von flüssigem Gärgut.....	8
1.1 Wendelfilter	8
1.2 Kantenspaltfilter	9
1.3 Schneckenpresse – Separator	11
1.4 Vibrationssieb.....	11
1.4.1 Siebversuche Inwil	13
1.4.2 Nährstoffanalytik	14
1.4.3 Energieverbrauch und direkte Nutzung gesiebten Presswassers	15
1.4.4 Restgaspotenzial	16
1.5 Zusammenfassung der Trennversuche	17
2. Wachstumsversuche.....	18
2.1 Wachstumsversuche mit Presswasser auf Rasen.....	18
2.1.1 Topfversuche mit Raygras (<i>Lolium multiflorum</i>)	18
2.1.2 Topfversuche mit Rollrasen	21
2.1.3 Schlussfolgerung der Topfversuche	22
2.2 Feldversuche mit Sellerie.....	23
2.2.1 Schlussfolgerungen der Feldversuche	26
3. Potentialabschätzung und Marktanalyse	26
3.1 Potenzialabschätzung.....	26
3.2 Marktanalyse.....	28
4. Träger-gebundene Flüssigdünger	30



4.1	Zielsetzung und Vorgehen	30
4.2	Vorversuche	30
4.3	Schlussfolgerungen	31
5.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	32
5.1	Wirtschaftlichkeit Integration Vibrationssieb in bestehende Anlage	32
5.2	Kostenvergleich: Einsatz von flüssigem Gärgut gegenüber biologischem Dünger und Kunstdünger	35
6.	Schlussbetrachtung und Ausblick	37

1. Technische Aufbereitung von flüssigem Gärgut

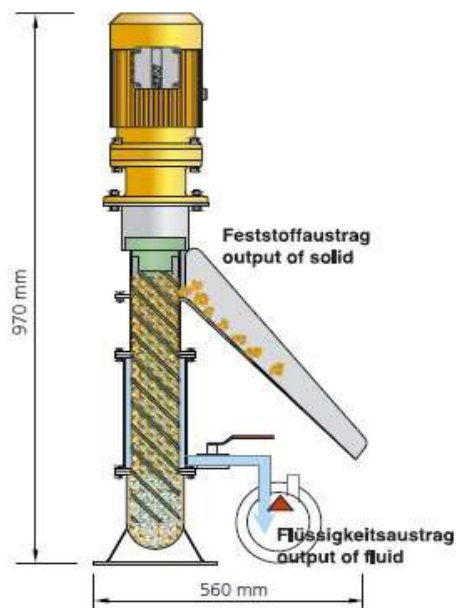
Ursprünglich waren drei Verfahren zur Abtrennung der Feststoffe aus dem flüssigen Gärgut nach Schneckenpresse vorgesehen: Kantenspaltfilter, Wendelfilter, Bogen- oder Vibrationssieb. Aufgrund der starken Verstopfung der Spalten und einer sehr beschränkten Spülmöglichkeit musste auf Messungen mit dem Bogensieb verzichtet werden. Stattdessen wurde das Vibrationssieb eingesetzt. Zusätzlich wurden Versuche mit einem Separator gefahren.

Die Trennverfahren sollten folgende Parameter einhalten:

- ✓ Korngrösse $< 0.4 \text{ mm}$
- ✓ Mengenfluss $4\text{-}5 \text{ m}^3/\text{h}$
- ✓ Kostengünstige Investition
- ✓ Geringe Unterhaltskosten
- ✓ Überkorn mischbar mit festem Gärgut
- ✓ Standzeit ≥ 2000 Betriebsstunden

1.1 Wendelfilter

Es wurde ein Klass Wendelfilter geliefert durch die Firma Doppstadt eingesetzt.



Nach kurzen Betriebszeiten von rund 60 Stunden waren die Filter durchgescheuert oder geborsten und mussten ersetzt werden. Bei Kosten von rund Fr. 2'000.- pro Filter waren die Betriebskosten schlicht unbezahlbar.

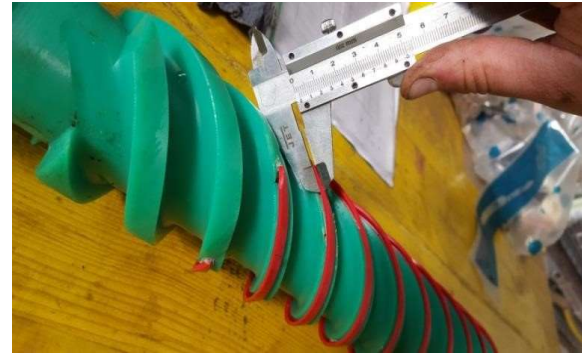
Die Firma Klass hat anschliessend stärkere Dichtlippen montiert, die jedoch nach rund 71 Stunden Betriebszeit von 2mm Stärke auf 0.2mm abgetragen waren. Da die Wendel zu Verstopfungen neigten, wurden zwei verschiedene Steigungen getestet mit 32.5° und 25° , was auch keinen Erfolg brachte. Auch die Kopflagerung des Wendelfilters konnte den Anforderungen nicht genügen.



Verschleiss Filtermaterial



Lippe im Originalzustand (oben)

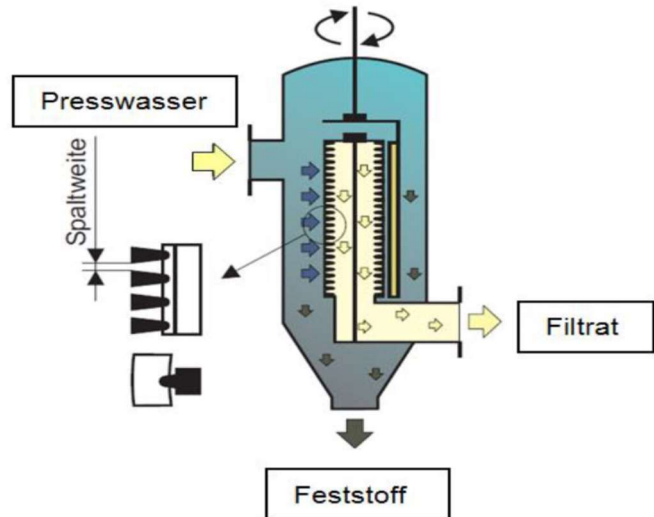


Durchgescheuertes (oben) bzw. Verschleiss an der Dichtlippe (unten) geborstenes Sieb nach 65Std Betrieb

Im Anschluss an die eigenen Versuche wurde über mehrere Wochen der Wendelfilter mit flüssigem Gärgut aus einem Pfropfenströmer im Werk von Klass durch das Unternehmen getestet. Trotz zahlreicher Verbesserungen war den Versuchen auch kein Erfolg beschieden.

1.2 Kantenspaltfilter

Es wurde ein Kantenspaltfilter der Firma Hablützel mit einer Spaltengrösse von 0.3 mm eingesetzt. Der Filter KSF besteht aus den beiden Hauptteilen Filtergehäuse mit Ein-/Auslauf und Entleerungsstutzen und dem leicht demontierbaren Deckel mit aufgebautem Antrieb. Im Gehäuse sitzt der zylindrische Filterkorb. Um diesen rotiert die Reinigungsvorrichtung (Abstreifer), die durch den Schneckengetriebemotor angetrieben wird. Die zu reinigende Flüssigkeit durchdringt den Filterkorb von aussen nach innen. Die selbstnachstellende, rotierende Reinigungsvorrichtung besteht aus 3 Messern. Durch öffnen des Kugelventiles lassen sich die Rückstände periodisch austragen. Die Abdichtung der Antriebswelle besteht aus einer Gleitringdichtung, die im Deckel eingebaut ist.



Der Filter ist auf max. 10bar Betriebsdruck ausgelegt. Das zusätzlich eingebaute Manometer zeigte, dass innerhalb von 10 Minuten Betriebszeit der Druck auf 8bar anstieg. Der Betrieb wurde daher eingestellt. Nach Öffnen des Filters zeigte sich, dass er bereits völlig verstopft war. Selbst nach dem Reinigen konnten nicht alle Faserteile entfernt werden.



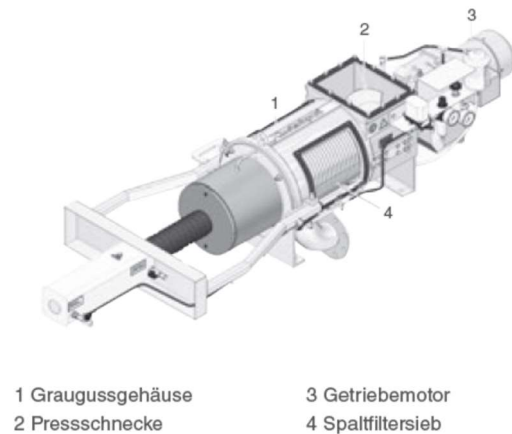
Filter direkt nach dem Ausbau



Festsitzende Fasern im Filterspalt nach der Reinigung

Der rotierende Abstreifer des Kantenspaltfilters konnte die festsitzenden Fasern nicht abscheiden. Konstruktionsbedingt setzen sich Sandkörner in den Rillen des Filters fest. Der Abstreifer gleitet dann über die festsitzenden Körner und nicht mehr direkt über den Filterzylinder.

1.3 Schneckenpresse – Separator



Mit dem Separator der Firma AgriKomp wurden zwei Versuche gefahren: Ein erster mit einer Siebgrösse von 0.5mm und ein zweiter mit einer Maschenweite von 0.25mm. Der Gegendruck war auf ca. 2bar eingestellt.

Bei der grösseren Siebweite resultierte ein schöner Presskuchen, aber das Filtrat enthielt zu grosse Mengen an Sand. Mit 0.25mm liess sich kein fester Presskuchen erstellen. Auch die Presse war daher keine Lösung.

1.4 Vibrationssieb

Für die Vibrationssiebversuche konnte ein Vibrationsrundsieb von SWECO zugemietet werden. Es stehen verschiedenste Maschenweiten zur Auswahl die entweder einzeln eingesetzt werden oder bis zu fünf Sieben übereinander. Das Versuchssieb hatte einen Durchmesser von 80cm. In realer Grösse für die Anlage Winterthur müsste ein Sieb von 1.8m Durchmesser eingesetzt werden.

Ein gleiches Fabrikat wird auch in Inwil eingesetzt, wo mit einer Maschenweite von 166 μ erste positive Vorversuche gefahren werden konnten. In Winterthur wurden drei verschiedene Einzelsiebe getestet mit 200 μ und 100 μ sowie ein Versuch mit einem Doppelsieb von 200 μ und 50 μ .



Die Resultate der Versuche mit Einzelsieben sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Als Vergleich sind die Werte des Separators (0.5mm Sieb) mit aufgelistet.

Tabelle 1. Analysen des Presswassers roh und gesiebt sowie des Feststoffs

Vibrationssieb	100 μ	200 μ	390 μ	Sep 0.5mm
Betriebsstunden h:	16	34	17	Nicht gemessen
Presswasser roh t/h	0.71	1.07	1.24	Nicht gemessen
Presswasser filtriert t/h:	0.57	0.9	1.1	4.33
Feststoff t/h	0.14	0.18	Nicht gemessen	0.076
TS % FM Presswasser:	13.61	14.22	16.2	16.69
TS % FM Filtrat:	12.1	13.61	14.8	16.62
TS % FM Überkorn:	21.65	21.95	20.5	43.01
Reinigungsintervall / h	Keine Reinigung	3-4	Nicht gemessen	Nicht vorhanden
Wasserverbrauch pro Intervall /l	Keine Reinigung	14	Nicht gemessen	Nicht vorhanden

Die Menge an flüssigem Filtrat steigt mit der Maschenweite an von 80% (bezogen auf den Input roh), über 84% zu 89%. Das heisst je grösser die Maschenweite ist, desto weniger Feststoff wird abgeschieden von 25% nach 15% Anteil des rohen Presswassers. Zudem nimmt der Trockensubstanzgehalt ab (Tab.1). Das Filtrat aus dem Versuch mit dem 200 μ Sieb wurde für die Topfversuche eingesetzt.

Das Überkorn weist bei den untersuchten Maschenweiten von 200 μ und 100 μ einen relativ hohen TS-Gehalt auf. In späteren Versuchsserien erreichte er sogar konstant Werte über 28% TS. Erste Vorversuche zeigten, dass ein Teil des Feststoffs aus dem Vibrationssieb gut mit neun Teilen festem Gärgut nach der Schneckenpresse vermischt (das entspricht in etwa dem realen Verhältnis) und nachfolgend gesiebt werden kann.

Beim 390 μ Sieb handelte es sich um Tastversuche. Da das Überkorn zu dünn war und das Presswasser zu viel Feststoff enthielt, wurden nicht alle Parameter bestimmt.

Die Versuche mit dem Doppelsieb konnten zu wenig lang gefahren werden, um sichere Daten zu kreieren. Die einfache Versuchsanordnung erlaubte nicht, den Durchfluss der zwei Siebe für längere Perioden aufeinander abzustimmen.

Die relativ wenigen Daten lassen eine –vorsichtig zu betrachtende – Abhängigkeit von Porengrösse und Abscheidegrad erkennen (Abb.1).

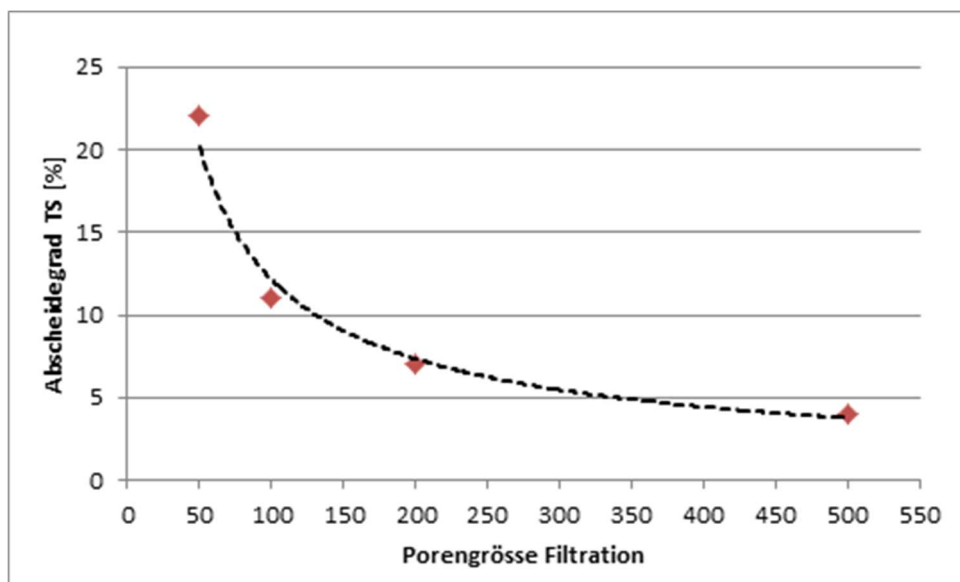


Abb. 1 Abscheidegrad von Überkorn in Funktion der Maschenweite

1.4.1 Siebversuche Inwil

Das gemietete Vibrationssieb konnte aus Platz- und Finanzgründen nicht den ganzen Winter (2016/17) in Winterthur stehen gelassen werden. Die Versuchseinrichtung wurde daher abgeräumt. Leider hat sich der geplante definitive Einbau eines Vibrationssiebs auf einer Anlage der Axpo verzögert, so dass die Produktion von aufbereitetem Presswasser für die Feldversuche im Sommer 2017 in Inwil erfolgen musste. Dies bedingte einen kleinen Umbau, da in Inwil parallel (in zwei verschiedenen Anlagen) landwirtschaftliche und getrennt gesammelte gewerblich/industrielle Abfälle vergoren werden und das Presswasser zusammengeführt wird.

Für die Düngerversuche war wichtig, allein mit gewerblich industriellem Presswasser zu arbeiten, um einen direkten Vergleich mit den Topfversuchen herstellen zu können. Eine Übersicht der Analyseresultate des Vereins Inspektorat zeigte, dass der Trockensubstanzgehalt von rohem Presswasser bei vergleichbaren Pfropfenströmern von Axpo Kompogas um 15% lag (Bandbreite 13.5 bis 16.5%; Tab.2). Dabei ist keine grosse saisonale Abweichung festzustellen; die Substrat-



zusammensetzung ist wohl entscheidender für den TS-Gehalt. Der durchschnittliche OS-Gehalt lag bei 50% mit einer Bandbreite von 47 bis 57% (Tabelle 2).

Tabelle 2:

TS und OS-Gehalte [in %FS bzw. %TS] im Jahresgang von Presswasser aus Pfropfenströmern (Axpo Kompogas)

Datum	Anlage A		Anlage B		Anlage C	
	TS	OS	TS	OS	TS	OS
19.01.2015	14.7	49.5	15.9	48.1	11.9	53.6
15.06.2015	16.7	46.7	9.8	50.6	11.3	47.8
27.08.2015	13.7	56.8	17.6	44.4	15.6	50.5
20.11.2015	14.7	50.5	15.4	46.9	12.9	55.0
Durchschnitt	14.9	50.9	14.7	47.5	12.9	51.7

Beim gemischten Presswasser von landwirtschaftlichen und gewerblich-kommunalen Abfällen von Inwil lagen die TS-Werte des rohen Presswassers zur gleichen Zeit nur bei rund 3 bis 6%. Während zwei Tagen konnten wir das System in Inwil daher mit rein gewerblich-kommunalen Abfällen betreiben und rund 4m³ gesiebtes Presswasser für die Feldversuche gewinnen.

1.4.2 Nährstoffanalytik

Die Nährstoffanalysen erfolgten photometrisch mittels Küvettenschnelltests gemäss Arbeitsanweisung. Die Analyse gelöster Parameter erfolgte in 0.45 µm filtrierten Proben. Folgende Testkits der F. Hach kamen zum Einsatz: Ammonium – LCK303, Gesamtstickstoff – LCK238, Phosphat-P und Gesamtphosphor – LCK348. Die Messungen erfolgten mittels Photometer Hach Lange DR 3800. Die Bestimmung der Trockensubstanz und der organischen Substanz erfolgte gravimetrisch nach Trocknen bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz resp. nach Verglühen bei 550 °C für 4 h.

Trotz der Abtrennung von Feststoffen (Sand) sollte der feste und der flüssige Anteil eine ausgewogene Nährstoffbilanz aufweisen. Während den Versuchen in Winterthur mit dem 200µ Sieb wurden verschiedene Proben gezogen und im Labor auf Nährstoffe untersucht (Tab 3 a bis c). Die Daten zeigen, dass der Grossteil von P und N im Filtrat bleibt, sowohl in gelöster (PO₄-P, NH₄-N) wie in ungelöster (P_{total}, N_{total}) Form.

Tabelle 3a: Analysen des rohen Presswassers von Winterthur

Datum	Presswasser roh								
	TS	OS bez. FM	OS bez. TS	LF*	pH	P _{tot}	PO ₄ -P	N _{tot}	NH ₄ -N
	[%]	[%]	[%]	[mS/cm]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
17.11.2015	13.7	7.2	52	12.1	8	803	236.0	3760	1180
01.12.2015	15	8.0	53.4	12.5	8	787	48.8	3897	1301
20.07.2016	14.8	8.0	54.1	20.3	8	1017.5	88.1	5860	3215
06.09.2016	13.61	6.7	49.2	18	8	872.5	347.5	6425	2485

Tab. 3b: Analysen des Filtrats nach Siebung bei 200 μ

Datum	Presswasser filtriert								
	TS	OS bez. FG	OS bez. TS	LF*	pH	P _{tot}	PO ₄ -P	N tot	NH ₄ -N
	[%]	[%]	[%]	[mS/cm]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
17.11.2015	12.8	6.73	52.4	12.6	7.7	801	233	3750	1180
01.12.2015	13.9	7.5	53.8	12.6	7.7	794	55.7	3849	1363
20.07.2016	14.2	7.9	55.2	20.7	8.0	1020	76.7	5960	2965

*Leitfähigkeit

Tab. 3c: Analysen des Feststoffs nach Siebung

Datum	Überkorn		
	TR	OS bez. FG	OS bez. TR
	[%]	[%]	[%]
17.11.2015	30.3	15.1	49.9
01.12.2015	32.6	16.6	51
20.07.2016	18.5	7.8	42.2

1.4.3 Energieverbrauch und direkte Nutzung gesiebten Presswassers

Das Vibrationssieb in Inwil hat einen Durchmesser von 1.8m mit einer Maschenweite von 166 μ . Der Stromverbrauch ist bescheiden mit einer Outputleistung von 1.45 kW bei einem Durchsatz von rohem Presswasser von 3 bis 4m³ pro Stunde. Bei einem Presswasseranfall von rund 10'000 m³ pro Jahr (20'000 Jahrestonnen-Anlage) ergibt das eine mittlere Laufzeit von 8 bis 9 Stunden pro Tag und einem Stromverbrauch von max. 13kWh pro Tag (0.5 kWh/t). Eine Hochleistungs-Zentrifuge mit gleicher Leistung hat eine rund 10 Mal höhere Arbeitsleistung mit 1500 kWh pro Tag bzw. 60 kWh/t.

Bei den früher eingesetzten Zentrifugen wurden bei der Behandlung von Presswasser relativ hohe Trockensubstanzgehalte des Feststoffs von über 40% erreicht, allerdings bei hohem Stromverbrauch. Als eine der Zielgrößen des Projekts gilt, dass das Überkorn gut mischbar sein muss mit dem festen Gärgut nach der Presse.

Das Überkorn wies bei allen drei untersuchten Maschenweiten einen hohen TS-Gehalt auf. Erste Versuche zeigten, dass 1 Teil des Feststoffs aus dem Vibrationssieb gut mit 9 Teilen festem Gärgut nach der Schneckenpresse vermischt (das entspricht in etwa dem realen Verhältnis) und nachfolgend gesiebt werden können.

Aufgrund der positiven Resultate in Holland (Kompogasanlagen in Tilburg und Weurt) wurde untersucht, ob der TS-Gehalt mit Flockung noch leicht erhöht werden kann. Die Flockungsversuche mit abbaubaren Flockungsmitteln ergaben aber negative Resultate. Die Flockung funktionierte nur in Überdosen, und zudem nur mässig gut. Mit der Ausflockung ging auch viel P und N verloren. Zum Teil wird der Stickstoff als NH₃ ausgetrieben bedingt durch die pH Erhöhung. Die Idee wurde daher fallen gelassen.

Das filtrierte flüssige Gärgut brachte zusätzlich einen anlagen-internen Nutzen. Für die Befeuchtung der zu vergärenden Rohsubstrate wird bei der Feststoffvergärung nach dem Pfropfenstromprinzip ein Gemisch aus Meteorwasser und Presswasser (Gärgut-flüssig) eingesetzt. Das Verhältnis zwischen

Meteorwasser und Presswasser wird im Wesentlichen durch den Feststoffgehalt des Presswassers und des Sandanteils bestimmt, damit sich die mit dem Presswasser zurückgeführten Feststoffe nicht im System anreichern. Mit der Feststoffabsiebung wird die zurückgeführte Feststofffracht reduziert. Demzufolge kann der Presswasseranteil zur Befeuchtung erhöht werden, was sich direkt in der Reduzierung des Meteorwasserbedarfs auswirkt. Sämtliches Meteorwasser welches nicht zusätzlich dem Prozess zugeführt wird und durch interne Rezikulation des Presswassers ersetzt werden kann, muss letztendlich auch nicht als «neues» Presswasser der Verwertung zugeführt werden. Demzufolge reduziert sich die gesamthaft zu verwertende Presswassermenge direkt proportional zum verminderten Meteorwassereinsatz und damit auch deren Lager- und Transportkosten (Abb.2). Genauere Angaben zum reduzierten Meteorwasserbedarf können nur durch langfristige Untersuchungen über mindestens eine Jahresganglinie gemacht werden, welche im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich waren.

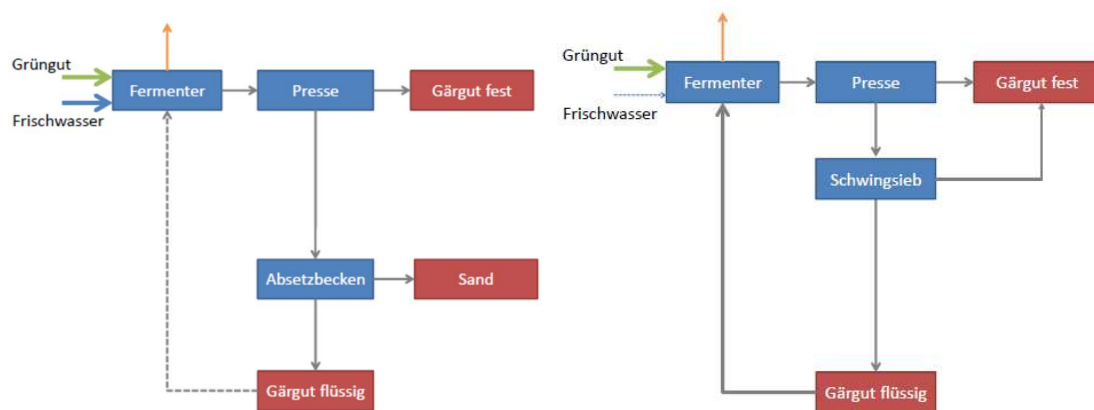


Abb. 2. Verfahrensbild ohne (links) und mit Schwingsieb (rechts)

Ohne Schwingsieb gibt es einen hohen Frischwasserverbrauch und der Sand muss aufwändig aus dem Absetzbecken entfernt werden. Mit Schwingsieb wird Frischwasser reduziert und das Absetzbecken entfällt

1.4.4 Restgaspotenzial

Die Bestimmung des Restgaspotenzials erfolgte mittels barometrischer Bestimmung der Gasproduktion in Batchversuchen in Anlehnung an Holliger et al.¹. Das Presswasser ab Schneckenpresse weist ein erhebliches Restgaspotenzial auf. Frühere Messungen von Presswässern verschiedener Anlagen zeigen eine starke Temperaturabhängigkeit der Methanemissionen. Bei 47 °C wurden während der Lagerung über 48 Tage im Durchschnitt spezifische Werte von 74 NL CH₄/kg OS erreicht. Durch Absenken der Temperatur können diese Werte massgeblich gesenkt werden (37 °C: 57 NL CH₄/kg OS, 27 °C: 27 NL CH₄/kg OS)².

¹ Holliger et al. Towards a standardization of biomethane potential tests. (2016) Wat. Sci. Technol. 74.11. doi: 10.2166/wst.2016.336

² AWEL-Stand der Technik bei abfallwirtschaftlichen Prozessen (2017)

https://awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/betriebe_anlagen_baustellen/abfallanlagen/stand_der_technik.html

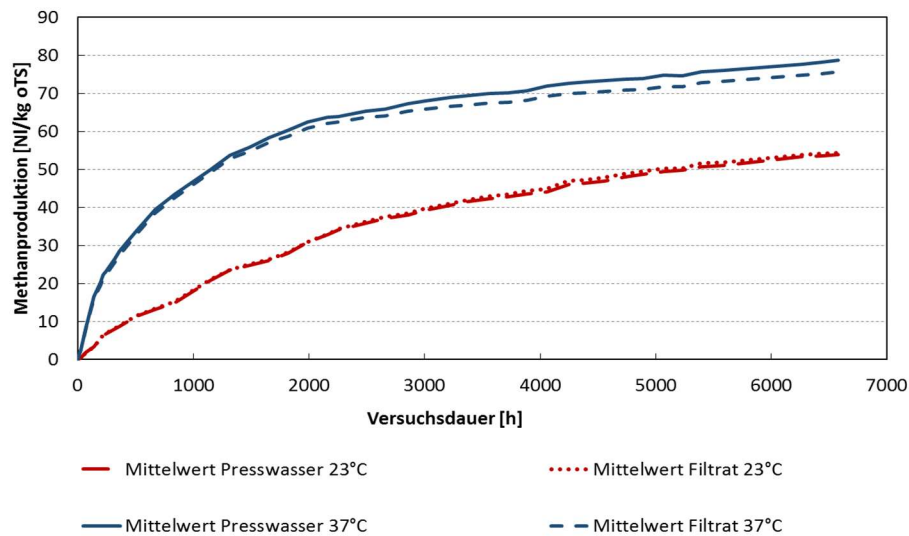


Abb. 3 Methanbildung von Presswasser und Filtrat in Abhängigkeit der Temperatur

Der Einfluss der Feststoffabtrennung auf das Restgaspotenzial des Presswassers wurde im vorliegenden Projekt für das mittels Wendelfilter mit einer Spaltenweite von 200 µm separierte Presswasser untersucht. Das Restgaspotenzial wurde bei Lagertemperaturen von 37 °C und 23 °C während einer Lagerdauer von über 6500 h (ca. 270 d) ermittelt. Es wurde rohes Presswasser mit einem TS Gehalt von 137 kg/m³ und einem OS Anteil von 52 % (71.5 kg/m³) sowie Filtrat mit einem TS Gehalt von 128 kg/m³ und einem OS Anteil von 52.5 % (67.3 kg/m³) eingesetzt.

Über eine Lagerdauer von mehreren Monaten bei 37 °C erreichte rohes Presswasser ein Restgaspotenzial von knapp unter 80 NL CH₄/kg OS (Abb. 3). Dieser Wert liegt im Bereich der bisherigen Erfahrungswerte. Das Filtrat erreichte mit 76 NL CH₄/kg OS annähernd denselben spezifischen Wert. Bei einer Lagertemperatur von 23 °C liegen die Werte für das Restgaspotenzial bei 270 d Lagerdauer für beide Proben identisch bei 54 NL CH₄/kg OS. Die Dynamik der Methanfreisetzung ist identisch für die Presswasser- und die Filtratproben. Der Grossteil der Methanfreisetzung ist nach ca. 100 d erreicht.

Die durchgeführten Versuche zeigen die spezifische Methanbildung, also die auf den OS Gehalt bezogenen Werte der CH₄ Freisetzung. Die absolut bei der Lagerung freiwerdenden Methanmengen sind abhängig von der Menge an organischer Substanz. Durch die Filtration wurde der absolute Gehalt an organischem Material im Filtrat gegenüber dem rohen Presswasser um ca. 6% reduziert. Entsprechend kann auch mit einer Reduktion der absoluten Methanfreisetzung von ca. 6% durch die Feststoffabtrennung gerechnet werden. Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Restgaspotenzials kann die Trennstufe jedoch nicht erreichen.

1.5 Zusammenfassung der Trennversuche

Die Trennversuche des festen und des flüssigen Anteils des Presswassers waren weit aufwändiger und schwieriger als dies – basierend auf der Erfahrung mit anderen Medien – erwartet werden konnte.

Sowohl die Feinfasern, welche zu verstopften Sieben führten, wie auch der hohe Feinsandanteil führten zu unlösbaren Problemen beim Wendelfilter wie auch beim Kantenspaltfilter. Mit dem Vibrationssieb konnte eine gangbare Lösung gefunden werden, mit der weitergearbeitet werden kann. Allerdings wirklich dünnflüssig war das Filtrat nicht. Es weist noch immer hohe Feststoffanteile auf,



wenngleich mit sehr geringer Korngrösse. Die Substratzusammensetzung ist dabei von ausschlaggebender Bedeutung für die Fließfähigkeit (Viskosität) des Presswassers.

Die Reduktion der festen Inhaltsstoffe im Presswasser war aber genügend, um die Zugabe von Meteorwasser zu vermindern, was direkt zur Reduktion des Lager- und Transportvolumens führt.

Dagegen war die Viskosität immer noch zu hoch, um die Mineralstoffe an Trägermaterialien binden zu können.

Das Restgaspotenzial der flüssigen Phase konnte durch die Abtrennung der Feststoffe nur unwesentlich reduziert werden. Zur Reduktion von Methanemissionen während der Lagerung der flüssigen Phase ist die Feststoffabtrennung, welche durch die Trennversuche erreicht wurde, nicht geeignet.

2. Wachstumsversuche

Eine wirtschaftlich tragbare Lagerung und zeitgerechte Nutzung von flüssigem Gärgut aus der fest/flüssig Trennung, dem sogenannten Presswasser ist schwierig. Die Wachstumsversuche sollen Alternativen zur landwirtschaftlichen Nutzung aufzeigen. Einmal wären die verschiedenen Rasen (Sport, Parks, etc.) erfolgsversprechende Abnehmer, zum anderen haben Gemüsebaukulturen einen relativ hohen Nährstoffbedarf. Speziell im Bio-Gemüsebau stellt dies bedeutende Kosten dar.

2.1 Wachstumsversuche mit Presswasser auf Rasen

Diese Versuche wurden mit dem Filtrat aus dem Wendelfilter durchgeführt (200 µ).

2.1.1 Topfversuche mit Raygras (*Lolium multiflorum*)

Es wurde der folgende Ansatz gewählt:

- 2 Substrate:
Felderde mit 10% Kompost
Universalerde Typ0 (Torfsubstrat)
- Kontrolle (ohne Düngung) und drei verschiedene Dünger:
Referenzdünger konventionell: Hauert Rasen-Tardit
Referenzdünger bio: Hauert Bioorganic Rasendünger
Presswasser nach Vibrationssieb
- 2 verschiedene Düngungskonzepte kamen zur Anwendung:
Dosierung in einer Gabe (gesamte Düngermenge)
Dosierung in drei Gaben (3x 1/3 Düngergabe nach jedem Schnitt)

Die chemischen Analysen wurden nach der „Schweizerischen Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope“ (ART 2015) durchgeführt.



Tab. 4: Düngermengen, die bei den Düngerversuchen angewendet worden sind (75% der Norm für Haus- und Spielrasen nach Hauert)

		Düngermenge			
		N [g/m ²]	P ₂ O ₅ [g/m ²]	K ₂ O [g/m ²]	Mg [g/m ²]
Normdüngung ³ für 3 Gaben		16,8	5,0	10,1	1,7
	Gedüngte Menge [g/m ²]	entspricht			
		N [g/m ²]	P ₂ O ₅ [g/m ²]	K ₂ O [g/m ²]	Mg [g/m ²]
Flüssiges Gärgut	3613,7	16,8	7,4	15,9	4,6
Hauert Progress Bioorganic Rasendünger	168,0	16,8	3,4	6,7	1,7
Hauert Rasen Tardit	70,0	16,8	2,8	4,2	1,1

Plastiktöpfe (12 cm) wurde mit den Substraten gefüllt und 0,6 g Samen vom Italienischen Raygras der Sorte Ellire angesät. Die Töpfe wurden dann in einer Klimakammer mit 16 Stunden Licht und Tag/Nacht-Temperaturen von 24/20 °C inkubiert. Nach 25, 59, 105 und 123 Tage wurden die Pflanzen 0,5 cm über der Bodenoberfläche geschnitten, um die Pflanzen bestocken zu lassen. Nach dem Schnitt bei 123 Tagen nach der Saat erfolgte die erste Düngung der Pflanzen. Die zweite Düngung wurde 42 Tage später durchgeführt, und die dritte Düngung nochmals 28 Tage später. Bei der zweiten und dritten Düngung wurden die Spross-Frischgewichte der Pflanzen pro Topf erhoben. Die letzte Pflanzenernte erfolgte 37 Tage nach der letzten Düngungsgabe (Abb. 5).

Die Düngungsplanung basiert auf einer Gesamtstickstoffgabe N_{tot} von 16.8g/m². Im Vergleich zur Normdüngung gibt es für die Nährstoffe P₂O₅, K₂O und Mg einen gewissen Düngungsüberschuss beim Verfahren „Gärgut flüssig“ und eine leichte Unterdüngung bei den zwei Vergleichsdüngern (Tab. 4).

Die einmalige Gabe von Gärgut flüssig führte wegen der grossen aufgebrauchten Menge zu einer Verschlämmung (Abb.4), weil die Erde die Flüssigkeitsmenge mit dem relativ hohen Feststoffanteil nicht aufnehmen konnte. Grund war wahrscheinlich die Bodenstruktur, die mit der hohen Düngergabe verschlämmte. Dies aber nicht primär wegen den Düngern, sondern wegen der Giessmenge, da sich die Bodenstruktur auch in den Kontrolltöpfen sehr stark verschlechterte.

³ Normdüngung nach: Hauert HBG Dünger AG, 2012: Das Wichtigste zur Düngung. 7. Auflage, 93 pp.



Abb. 4 Wachstum bei einmaliger Düngergabe

Die Ergebnisse der Kontrolle mit Felderde und Kompost waren nicht aussagekräftig. Beim ersten Schnitt enthielt der ungedüngte Boden noch genug Nährstoffe, so dass keine Wirkung der Düngung festgestellt werden konnte. Nach der zweiten Düngergabe verschlammte der Boden bei allen Verfahren, so dass das Raygras kaum mehr wachsen konnte.

Beim Versuch mit Torfsubstrat lässt sich dagegen sagen, dass die dreimalige Gabe bei allen Düngervarianten die höchsten Erträge brachte. Dabei waren die gesamten Erträge der verschiedenen Dünger nicht signifikant verschieden voneinander (Abb.5). Auch mit Torf führte die einmalige Gabe mit gesiebttem Presswassers zur Verschlämmung.

Es ist auffallend, dass jeweils der dritte Schnitt klar die höchsten Erträge brachte. Dabei sind Gärgut und Biodünger vergleichbar, während der konventionelle Dünger den höchsten Ertrag brachte.

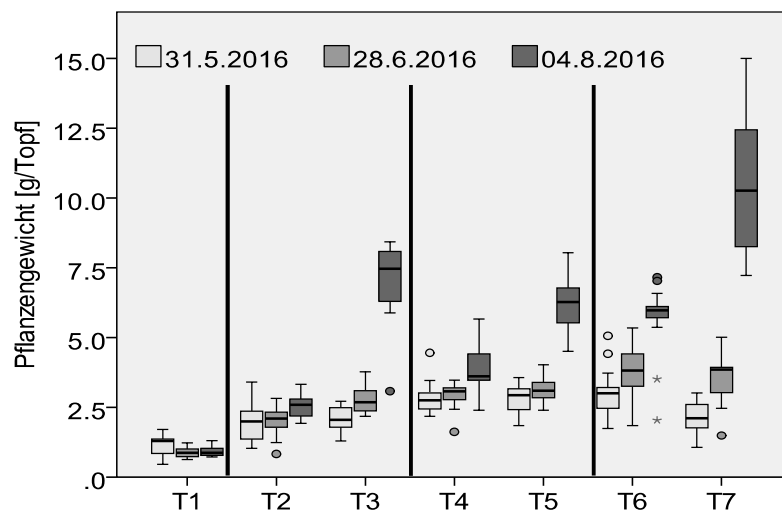


Abbildung 5: Frischmasseerträge der verschiedenen Düngervarianten mit Torf

T1: Kontrolle, T2: Gärgut 1x, T3: Gärgut 3x, T4: bio 1x, T5: bio 3x, T6: konv. 1x, T7: konv. 3x

2.1.2 Topfversuche mit Rollrasen

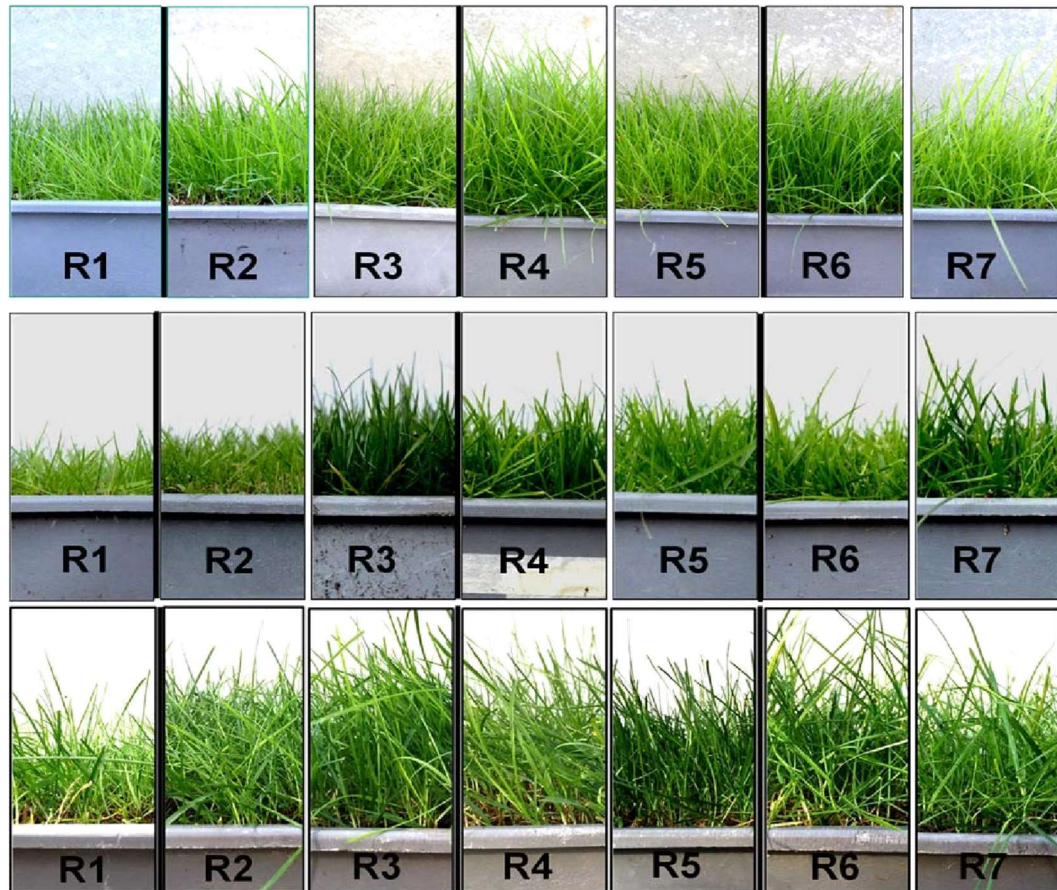


Abbildung 6. Einfluss der Düngung auf das Wachstum von Rollrasen.

Oben: Wachstum des Rollrasens beim 1. Schnitt

Mitte: Wachstum des Rollrasens beim 2. Schnitt

Unten: Wachstum des Rollrasens beim 3. Schnitt

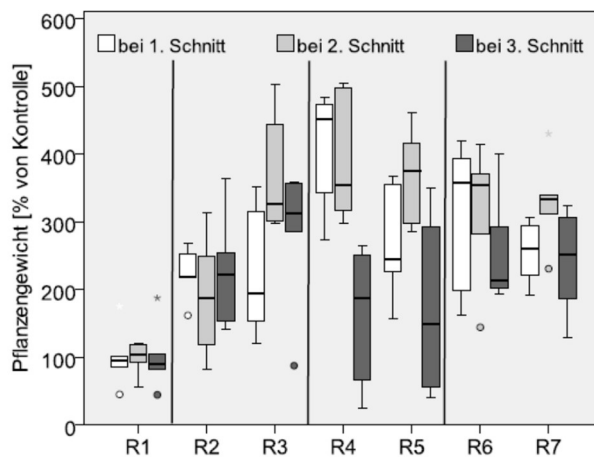
Beschreibung R1 – R7; siehe Abb. 5

Der Versuch erfolgte in Anzucht-Plastikkisten mit einer Fläche von 30x55 cm mit gelochtem Boden (Abb.6). Zehn Liter „Einheitserde® Typ 0“ wurde auf dem Kistenboden verteilt, und ein Stück Rollrasen (30x55 cm) draufgelegt. Die Kisten wurden im Freien aufgestellt und regelmässig gegossen. Die Giessmenge war bei allen Kisten identisch.

Nach 12, 21 und 27 Tagen wurde der Rasen bodeneben mit einem Handmäher geschnitten. Am Tag 27, 54 und 81 wurde der Rasen gedüngt. Vor der zweiten und dritten Düngung wurde der Rasen gemäht und das Frischgewicht pro Kiste bestimmt. Am Tag 117 wurde die letzte Pflanzenernte durchgeführt.

Die zwei Düngungsvarianten mit flüssigem Gärgut unterschieden sich voneinander in Bezug auf Pflanzenvitalität und Pflanzenwachstum. Ab dem zweiten Schnitt war die gesplittete Variante deutlich besser, sowohl in Bezug auf

die Pflanzenvitalität wie auch in Bezug auf das Pflanzenwachstum (Abb. 5; 6). Es scheint, dass die Pflanzen bis zum ersten Schnitt die höhere Nährstoffmenge der aufgesplitteten Verfahren nicht nutzen konnten: beide Verfahren haben das gleiche Wachstum gezeigt, welches geringer war als bei den Kontrolldüngern. Ab dem zweiten Schnitt war aber das Pflanzenwachstum im aufgesplitteten Verfahren ähnlich oder leicht besser als bei den konventionellen Kontrolldüngern. Die Wirkung des Biodüngers (Hauert Bioorganic Rasendünger) liess hingegen beim dritten Schnitt nach. Das Pflanzenwachstum im ungesplitteten Verfahren blieb aber zurück; möglicherweise ist das am Versuchsanfang gemessene Nährstoffüberangebot bei diesem Verfahren zum Beispiel durch Ammoniakverluste verlorengegangen.



- R1: Kontrolle ungedüngt
- R2: Flüssiges Gärgut, gesamte Menge bei 1. Düngung gegeben
- R3: Flüssiges Gärgut, fraktioniert in 3 Gaben (bei jedem Schnitt)
- R4: Hauert Bioorganic Rasendünger, gesamte Menge bei 1. Düngung gegeben
- R5: Hauert Bioorganic Rasendünger, fraktioniert in 3 Gaben (bei jedem Schnitt)
- R6: Hauert Rasen-Tardit, gesamte Menge bei 1. Düngung gegeben
- R7: Hauert Rasen-Tardit, fraktioniert in 3 Gaben (bei jedem Schnitt)

Abb.7 Einfluss des Düngers auf die Biomassebildung von Rollrasen

2.1.3 Schlussfolgerung der Topfversuche

In Bezug auf Pflanzenwachstum und Pflanzenvitalität kann flüssiges Gärgut eine gute Alternative zu anderen Rasendüngern sein. Wichtig ist jedoch, dass die Gärgutgaben gesplittet werden und nicht die gesamte Düngermenge am Anf Abb. 6 und 7ang der Saison gegeben wird.

Falls die ganze Stickstoffdüngung von Rasen mit filtriertem flüssigem Gärgut erfolgt, tritt eine Überdüngung mit P (ca. + 30% der Normdüngung), K (ca. +80%) und Mg (ca. + 90%) ein. Dies im Gegensatz zu Biodünger und vor allem zu konventionellem Dünger, wo eine Unterversorgung an P und K eintritt.



Das grösste Hindernis für die Anwendung des flüssigen Gärguts von Winterthur auf Rasen ist technischer Natur. Um auf die benötigte Stickstoffmenge für den Rasen zu kommen, braucht es eine Gärgutgabe von ca. 60 m³ pro Hektar und Jahr, was ca. 10-15 m³ pro Gabe und Hektar bedeutet. Diese Menge dringt, wie es sich bei den Versuchen herausgestellt hat, nicht einfach in den Boden ein. Entweder muss das Gärgut mehrfach verdünnt werden (Fertigation) oder es sollte nach der Gärgutgabe mit Wasser nachgewässert werden. Aber auch so bleiben Verfärbungen auf der Bodenoberfläche, welche als störend empfunden werden können, da der Rasen jeweils sofort wieder benutzt werden sollte.

2.2 Feldversuche mit Sellerie

Die Möglichkeit, handelsüblichen bio Dünger mit aufbereitetem flüssigem Gärgut zu ersetzen sollte in einem Feldversuch unter Praxisbedingungen untersucht werden. Gemüsebaukulturen haben einen relativ hohen Nährstoffbedarf. Speziell im bio Gemüsebau stellt dies bedeutende Kosten dar. Dazu wurde die Wirksamkeit des abgeseihten Presswassers auf das Wachstum von Knollensellerie (Alicia F1; Bejo), im Vergleich zu herkömmlichem, kommerziellem Biohandelsdünger untersucht. Gepflanzt wurde in der Woche vom 8. Mai 2017, geerntet am 19. September 2017. Der Versuch konnte auf dem Bio-Betrieb von Rathgeb durchgeführt werden.

Tab. 5 Chemische Eigenschaften des angewandten flüssigen Gärgutes¹

Trockensubstanz TS	% FS	9.6	Spezifisches Gewicht	kg/l	1.0
Glühverlust 500°C (OS)	% TS	53.5	Kohlenstoff Corg	g/kg TS	310.1
pH-Wert		8.1	C/N-Verhältnis		5.7
Gesamt-N (nach Kjeldahl)	g/kg TS	54.3	Gesamt-N (nach Kjeldahl)	kg/m ³	5.2
NH ₄ -N	g/kg TS	23.2	NH ₄ -N	kg/m ³	2.2
NO ₃ -N	g/kg TS	0.05	NO ₃ -N	kg/m ³	0.005
N _{min}	g/kg TS	23.2	N _{min}	kg/m ³	2.2
P ₂ O ₅	g/kg TS	24.1	P ₂ O ₅	kg/m ³	2.3
K ₂ O	g/kg TS	43.4	K ₂ O	kg/m ³	4.2
Calcium	g/kg TS	29.0	Calcium	kg/m ³	2.8
Magnesium	g/kg TS	8.0	Magnesium	kg/m ³	0.8
Schwefel	g/kg TS	4.4	Schwefel	kg/m ³	0.4

Das flüssige Gärgut stammte aus der Anlage in Inwil (vgl. Kapitel 1.1.4), wo mit einer Maschenweite von 166µ gesiebt wurde. Auffallend im Vergleich zum abgeseihten Presswasser aus Winterthur (Tab. 3b), welches für die Topfversuche verwendet wurde, ist der geringere Trockensubstanzgehalt (Tab. 5) und damit verbunden eine deutlich verbesserte Fließfähigkeit.



Bei den Nährstoffgaben wurde vergleichbar zu den Topfversuchen von einem Grundbedarf des Selleries von 180 kg N/ha ausgegangen.

Als Referenzdünger wurden Biorga Stickstoffdünger von Hauert (12% N_{ges} bzw. 8.4 % N_{vert}), Hühnermist (3.5% N_{tot}, 4% P₂O₅, 2% K₂O, Vivasol) und Patentkali (30% K₂O und 6% Mg) eingesetzt.

Tab. 6 Versuchsansatz

Beschreibung der angesetzten Verfahren des Sellerie-Versuches						
Verfahren	Düngung Termin 1		Düngung Termin 2		Düngung Termin 3	
	18.05.2017		09.06.2017		02.07.2014	
	pro ha	pro Parzelle	pro ha	pro Parzelle	pro ha	pro Parzelle
Verfahren 1	-	-	58 m ³	84 litres	-	-
Verfahren 2	29 m ³	42 litres	29 m ³	42 litres	-	-
Verfahren 3	19,3 m ³	28 litres	19,3 m ³	28 litres	19,3 m ³	28 litres
Verfahren 4	H ⁽¹⁾ : 1750 kg P ⁽¹⁾ : 883 kg	H ⁽¹⁾ : 2,52 kg P ⁽¹⁾ : 1,17 kg	B ⁽¹⁾ : 1414 kg	B ⁽¹⁾ : 2,04 kg	-	-
Verfahren 5	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ H: Hühnermist, P: Patentkali, B: Biorga N

Bei seiner Ausbringung ist das Gärgut gut versickert, ausser beim Verfahren mit der einmaligen Düngergabe. Da ist eine verzögerte Versickerung beobachtet worden, was zu höheren Nährstoffverluste sowie einer Krustenbildung an der Bodenoberfläche führen kann.

Am Ende des Versuches wurde von jeder Parzelle das Blatt-(inkl. Stängel) und Knollengewicht von 3 m² aus der Parzellenmitte gewogen. Von vier Pflanzen wurde das Blattmaterial, der Spross und das Kraut zerkleinert, 2 Tagen bei 60°C getrocknet und deren Trockensubstanz bestimmt. Anschliessend wurden die Proben gemahlen und deren Stickstoffgehalt mit einem CHN Analyzer gemessen).

Rein optisch ergaben sich kaum Unterschiede zwischen den Varianten (Abb. 8).





Abb. 8. Sicht des Versuches bei der Ernte (am 19 September 2017)
 Oben: Sicht der Versuchsparzelle.
 Unten: Sicht der Knollensellerie (links: Handelsdünger-Verfahren; rechts: Verfahren flüssiges Gärgut in 2 Gaben)

Die angewandten Düngungsformen hatten keinen Einfluss auf die Pflanzenausfälle während der Kultur. Beim Erntezeitpunkt standen bei allen getesteten Verfahren knapp 500 Knollen pro Are.

Sowohl das Blatt- wie auch das Knollengewicht der ungedüngten Pflanzen war signifikant kleiner als bei allen gedüngten Varianten. Zwischen den Varianten war kein signifikanter Unterschied bezüglich des Blattgewichts und des Knollenertrags festzustellen (Abb. 9) wenngleich der Ertrag der mit flüssigem Gärgut gedüngten Varianten tendenziell leicht höher ausfiel als bei der gedüngten Kontrolle.

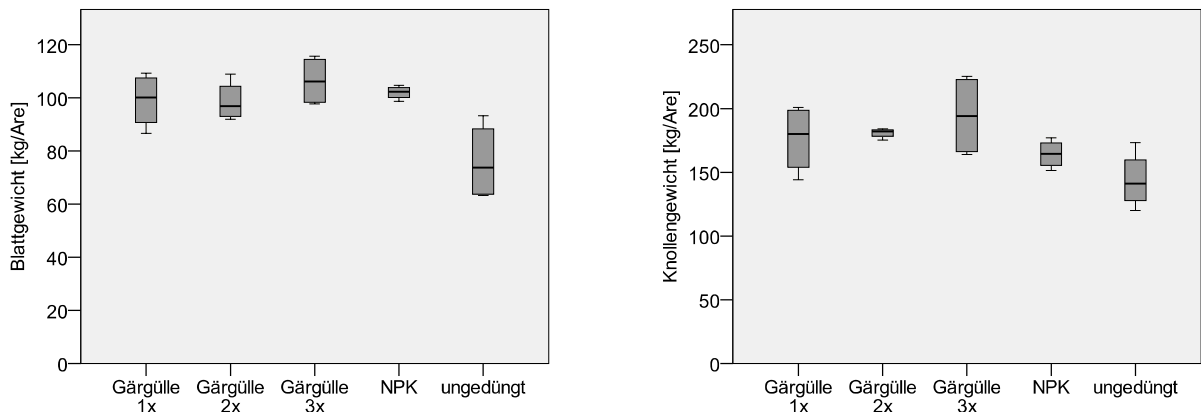


Abbildung 9: Blatt- und Knollenertrag in Abhängigkeit der Düngervarianten



In Bezug auf der TS-Gehalt der Blätter sowie der Knollen konnten keine Unterschiede zwischen den Verfahren festgestellt werden. Bei allen Verfahren war der TS-Gehalt der Blätter bei 15% des Frischgewichtes, und derjenige der Knollen bei 10%.

2.2.1 Schlussfolgerungen der Feldversuche

Die Anwendung von flüssigem Gärgut brachte bei der Knollenselleriekultur sehr gute Ergebnisse. Die Ernte der Knollen war mindestens gleich gut wie beim Verfahren mit Bio-Handelsdünger. Ebenso war die Produktequalität vergleichbar. Die Nährstoffzusammensetzung des gesiebten flüssigen Gärgutes passte ziemlich gut zum Bedarf, wobei Phosphor etwas zu hoch war (wichtig da limitierend in der Suisse Bilanz) und Kalium eher knapp war (in einem normalversorgten Boden – Versorgungsstufe C oder höher - irrelevant). Es konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen die getesteten Ausbringungsstrategien des Gärgutes beobachtet werden, weder auf die Pflanzen noch auf dem Boden. Zumindest in diesem Fall konnte die gesamte Düngermenge in einer Gabe ausgebracht werden, ohne dass nennenswerte Verluste auftraten. Da muss aber unterstrichen werden, dass es sich beim Versuch um eine gut gepufferte mittelschwere Braunerde handelte, die die höheren Düngungsmengen gut aufnehmen und speichern konnte, obwohl beobachtet wurde, dass bei einmaliger Gabe des Gärgutes die Versickerung des Gärgutes im Boden suboptimal war. Generell kann somit empfohlen werden, dass das Gärgut in zwei Gaben ausgebracht werden soll mit max. 40 m³ pro ha und Ausbringung, falls ausschliesslich mit Gärgut gedüngt werden soll. Dies ist ein guter Kompromiss zwischen Pflanzenaufnahme und Aufwand. Diese Versickerungsproblematik des flüssigen Gärgutes ist sicher ein Knackpunkt. Dies sollte auch in anderen Bodentypen (sandiger Boden, kalkarmer Boden, Schwarzerde, ...) getestet werden. Ebenso ist die Phosphormenge des flüssigen Gärgutes im Auge zu behalten. Sie könnte, je nach der Situation des Betriebes limitierend sein in Bezug auf Suisse Bilanz.

Im Vergleich zu herkömmlichem flüssigem Gärgut hat das mit 0,166 mm gesiebte Gärgut sicher den Vorteil, dass es technisch viel einfacher auszubringen ist und besser vom Boden aufgenommen wird. Es ist durchaus vorstellbar, dass dieses aufbereitete Gärgut als Bewässerungsdüngung (Fertigation) zum Beispiel in den Gewächshäusern angewendet werden könnte. Dies würde sehr interessante Anwendungsmöglichkeiten mit einer bedeutenden Marktmöglichkeit bieten, im Speziellen für die Bio-Gemüseproduktion.

3. Potentialabschätzung und Marktanalyse

3.1 Potenzialabschätzung

Parallel zu den ersten Trennversuchen wurde in Form einer Projektarbeit an der ETH eine Potenzialabschätzung des Presswassers durchgeführt. Sie basierte im Wesentlichen auf zwei Quellen: den Arealstatistiken des Bundesamtes für Statistik (BFS) und der Statistik des Bundesamtes für Sport (BASPO). Diese Statistiken gliedern die untersuchten Gebiete nach Kanton auf. Das BFS verwendete Luftbilder zur Erfassung der Flächen. Das BASPO gliederte die Sportflächen detailliert nach verschiedenen Nutzungskategorien auf. Der Autor der Studie, Simon Mosch, konnte das an der ETH zugängliche ArcGIS nutzen und die potenziellen Anwendungsflächen bildlich darstellen.

Insgesamt wurden die möglichen Anwendungsflächen in vier Kategorien unterteilt: Parks, Golfanlagen, Sportanlagen (Fussballfelder) und Gartenbau.

Neben der Flächenerfassung ist der Düngemittelbedarf pro m² Rasenfläche die ausschlaggebende Grösse. Da noch keine definitiven Messdaten von Winterthur vorlagen, wurde die Studie auf den Werten der Swiss Farmer Power (SFP) in Inwil basiert⁴. Tabelle 6 zeigt die berechneten Konzentrationen für das Presswasser nach dem Sieben. Allerdings lassen sich die Werte nicht mit dem Presswasser von Winterthur vergleichen. Dort werden ausschliesslich getrennt gesammelte Grünabfälle verwertet, während bei SFP nur etwa 1/3 Grünabfälle sind, aber 2/3 Hofdünger. Das Verhältnis von N:K ist in beiden Fällen vergleichbar, diejenigen von N:P bzw. N:Mg sind aber bei SFP um den Faktor 9 bzw. 5 tiefer. Daher resultiert eher eine Unterversorgung.

Tabelle 7. Nährstoffgehalte des Presswassers von Inwil (SPF)

N _{tot}	P _{tot}	K	Mg
g/l	g/l	g/l	g/l
2.21	0.05	2.32	0.11

Die den Berechnungen zugrunde gelegten Nährstoffmengen sind in Abbildung 10 pro Anwendung zusammengefasst.

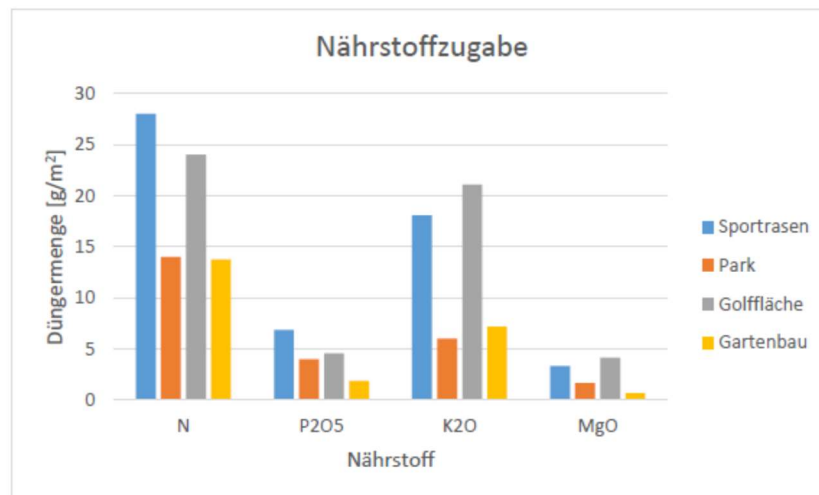


Abb. 10: Nährstoffzugaben auf den verschiedenen Anwendungsflächen

Je stärker ein Rasen strapaziert wird, desto stärker braucht er Nährstoffe zum Wachstum und zur Regeneration (Abb.11). Je nach Beanspruchung des Rasens wird dieser 2-5 Mal pro Jahr gedüngt. Sehr intensiv genutzte Sportrasen können dabei noch öfters gedüngt werden.

Der limitierende Faktor für den Einsatz von Presswasser ist bei dieser Zusammensetzung der Kaliumbedarf der Rasenflächen. Bei Sportrasen sind ca. 7-8 l/m² nötig um den Rasen mit genügend Kalium zu versorgen.

⁴ Engeli H., Baier U., Edelmann W., Rüschi F., Strebel S.: *Schlussbericht: Nachbereitung Gärgut* (2013), Bundesamt für Energie

Laut ChemRRV19 (Chemikalien-Reduktions-Verordnung) dürfen innerhalb von 3 Jahren maximal 200 m³ Presswasser pro Hektare ausgebracht werden, was pro Jahr 6.6 l/m² entspricht. Folglich lassen sich für Golf- und Sportrasen nicht dauerhaft die maximalen Mengen ausbringen.

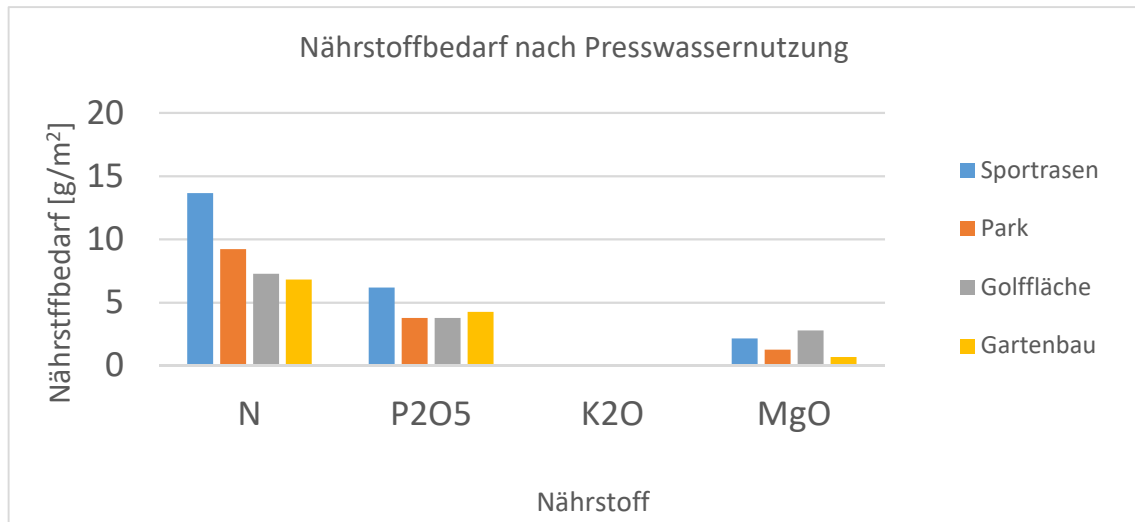


Abbildung 11: Zusätzlicher Nährstoffbedarf der Rasenflächen bei maximalem Gebrauch von Presswasser begrenzt durch Kalium.

Zusammenfassend zeigt die Studie, dass das flüssige Gärgut (Presswasser) der Anlage in Inwil Stickstoff- und Kalium-haltig ist und sich daher gut als Dünger für Rasenflächen eignet. Der Nährstoffbedarf von strapazierten Rasenflächen ist sehr hoch, so dass bis zu 30g N/m² ausgebracht werden. Da eine Rasenfläche vor allem Stickstoff und Kalium benötigt ist Presswasser von der Zusammensetzung her imstande viele dieser Nährstoffe zu liefern. Allerdings müssen Phosphor und Magnesium aus einer anderen Quelle gedüngt werden. Dies kann beispielsweise mit Kompost oder Gärgut aus getrennter Sammlung geschehen.

3.2 Marktanalyse

In einer Bachelor-Arbeit an der ZHAW wurde – initiiert durch dieses Projekt - eine Marktanalyse für den möglichen Einsatz von flüssigem Gärgut gemacht. Die Arbeit von Yvonne Flury zeigt eine detaillierte und systematische Übersicht der alternativen Anwendungsgebiete für Presswasser. Als mögliche Zielgruppen kommen Garten- und Landschaftsbau (GaLa-Bau), Gemüsebau, Pflanzenproduktion und Spezialkulturen in Frage. Die Anforderungen der potentiellen Anwender an die Qualität eines Düngers wurden mithilfe von Expertenbefragungen und einer Literaturrecherche einzeln erfasst mit dem Ziel, das Anwendungspotential von flüssigem Gärgut aufzuzeigen.

Die Abklärung der Marktbedürfnisse und des Marktpotentials zeigte sowohl die Anforderungen an chemische Parameter (Nährstoffbedarf, Nährstoffformen, pH, Feststoffgehalt, Schadstoffe) als auch an die Handhabbarkeit (zeitlicher Bedarf, Lagerung, Geruch, Mischbarkeit).

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass auch das gesiebte, flüssige Gärgut primär ein Stickstoffdünger bleibt. Der Vergleich der Nährstoffdaten im flüssigen Gärgut mit den Anforderungen der verschiedenen untersuchten Kulturen zeigt, dass nur für wenige Applikationen das NPKMg Verhältnis ausgewogen ist.



Die detaillierten Untersuchungen haben gezeigt, dass in den Bereichen Hausgarten, Medizinal- und Gewürzpflanzen, Baumschulen, dem Weinbau sowie bei der Produktion von Fertiggrasen wenig Potential vorhanden ist. Das grosse Mengenpotenzial liegt im Garten- und Landschaftsbau (GaLa-Bau), im Wein- und im Obstbau.

Trotz geringer Menge besteht dagegen Im Hausgarten ein hohes Wertschöpfungspotenzial, falls die Haltbarkeit des flüssigen Gärgutes garantiert werden kann.

Innerhalb des GaLa-Baus weisen die Rasenflächen (Pärke, Intensivrasen, Extensivrasen) das grösste Potenzial auf (Tab. 8). Zeitliche Planung, Umstellung auf Flüssigdünger und Wasserhaushalt stellen aber die grossen Herausforderungen dar.

In Baumschulen besteht bei N-Düngung mit aufbereitetem Gärgut ein leichtes P/K/Mg Überangebot, ebenso im Obstbau. Technisch ist hier eine Applikation von Flüssigdünger gut möglich. Das Potenzial ist v.a. im Obstbau beträchtlich.

Zierpflanzen bieten ein mittleres Potenzial. Sie sind bei Gärgutdüngung tendenziell P/K über- und Mg-unterversorgt. Tomaten und Erd- & Strauchbeeren bieten ebenfalls ein mittleres Potenzial, sie sind aber bei Gärgutanwendungen mit P/K/Mg unterversorgt. Im Weinbau gibt es eine P-Übersorgung und eine K/Mg-Unterversorgung. Die Applikation von grossen Mengen an Flüssigdünger ist in Hanglagen aber nur schwer möglich.

Tabelle 8. Gesamtübersicht der Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse

Branche	Anzahl Betriebe	Gesamtfläche [ha]	Bedarf Gärgut flüssig [t]	Bedarf [t N/ha]
GaLa-Bau				
Rasenflächen		5'766	273'024	1302
Pflanzenproduktion				
Baumschulen	318	879	18'903	88
Zierpflanzen	837	526	31'673	235
Gemüseproduktion	3'100	15'500		
Tomaten		186	15'996	74
Gewächshaus				
Strauch- und Erdbeeren	972	751	16'150	64
Medizinal- und Gewürzpflanzen	200	250	8'604	40
Fertiggrasen	15	70	4'216	20
Weinbau	6'500	15'708	157'080	785
Obstbau	2'474	6'579	84'889	395

4. Träger-gebundene Flüssigdünger

4.1 Zielsetzung und Vorgehen

Alternativ zur Flüssigausbringung des aufbereiteten Presswassers besteht die Option, die gelösten Nährstoffe adsorptiv an ein Trägermaterial zu binden. Aus Sicht des Trägermaterials wird dieser Prozess als «Beladung» bezeichnet. Durch die Adsorption gelöster Nährstoffe und möglichst langsame Desorption v.a. von Stickstoff kann analog zu marktüblichen Kunstdüngern eine langsame Nährstoffabgabe (Depotdüngung) in den Wurzelraum erreicht werden. Als Trägermaterialien stehen Pflanzenkohle, Kieselgur, Tonminerale oder Zeolithe zur Diskussion. Offene Fragestellungen zur Formulierung trägergebundener Düngerformen aus Flüssigdünger wie aufbereitetem Presswasser beinhalten dabei:

- Bindungsfähigkeit verschiedener Materialien: Wie beeinflussen Zeit und chemisch-physikalische Bedingungen (Temperatur, pH, Feststoffgehalt) die Adsorption der Nährstoffe an unterschiedliche Materialien? Ist der Einsatz von Bindemitteln erforderlich?
- Mechanische Festigkeit: Sind die beladenen Trägermaterialien lagerfähig? Können zur Verteilung der beladenen Trägermaterialien herkömmliche Düngevorrichtungen eingesetzt werden?
- Pflanzenverfügbarkeit & Desorption: Wirken adsorbierte Nährstoffe als langsam verfügbare Depotdünger oder findet eine sehr schnelle Desorption statt?

Im Rahmen dieses Projektes wurde die Option geprüft, im Labormassstab Versuche zur Beladung und Feststoffbindung des aufbereiteten Presswassers durchzuführen. Die Untersuchungen sollten erste Hinweise geben, ob ein eigenständiges Projekt zur Trägerbeladung mit aufbereitetem Presswasser

und zur Formulierung eines Feststoffdüngers machbar und sinnvoll ist. Basis für diese Abklärungen bilden mehrere Vorarbeiten, welche 2013 – 2017 mit nicht aufbereitetem flüssigen Gärgut aus landwirtschaftlichen und gewerblich-industriellen Biogasanlagen oder mit Hofdüngerfraktionen durchgeführt wurden.

4.2 Vorversuche

Im Folgenden werden die im Rahmen der Vorversuche gemachten Aussagen kurz dargestellt. Die unveröffentlichten Arbeiten wurden an der ZHAW bzw. der HSR Rapperswil durchgeführt, aber nicht direkt im Rahmen dieses Projektes. In einer Bachelor-Arbeit untersuchte Walder (2013) die Eignung von Pflanzenkohle als Adsorptionsmittel für Ammonium aus Gärgut und zeigte, dass die grundsätzlich gute Adsorptionsfähigkeit stark von der Art der Kohle, vom Dosierverhältnis und vom pH-Wert des Gärgutes abhängt. Um die Adsorptionsbedingungen für eine weitgehende Ammoniumadsorption einzugrenzen, wären breit angelegte Versuche erforderlich gewesen. In einer weiteren Bachelor-Arbeit verfolgte Frei (2014) vorrangig den Einfluss von Pflanzenkohle als Adsorptionsmittel für Ammonium in anaeroben Fermentern zur Reduktion der Ammoniak-Hemmung. In zusätzlich durchgeführten Adsorptions- und Lagerversuchen wurde durch Zugabe von Pflanzenkohle zu (nicht aufbereitetem) flüssigem Gärgut eine Reduktion der gelösten Ammoniumkonzentration sowie eine Reduktion der gasförmigen Ammoniakemissionen erreicht.



Strickler (2014) untersuchte die Adsorption von Ammonium in flüssigem Gärgut an unterschiedlich behandelte Pflanzenkohlen. Im Vordergrund stand dabei nicht die Formulierung eines Festdüngers, sondern die Reduktion der Stickstoffverluste aus dem Flüssigdünger. Pflanzenkohle eignete sich sehr gut um Ammonium zu adsorbieren. Die besten Adsorptionsleistungen von Ammonium konnten mit salpetersäurebehandelter Pflanzenkohle erzielt werden. Diese Behandlung verringerte den Kohlenstoffanteil der Kohle, erhöhte deren Sauerstoffgehalt und führte zu einer gesteigerten Kationen- und Anionenaustauschkapazität. Die Unterschiede der Ammonium-Adsorption verschieden behandelter Pflanzenkohle sind dabei nicht pH bedingt. Bei einer Zugabe von 3 % (w/w) Pflanzenkohle (PK) zum flüssigen Gärgut wurde eine Adsorptionsleistung von 1.1 – 3.97 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/g}$ TS PK beobachtet.

Bassler (2017) schliesslich untersuchte die Wirkung von beladener Kohle auf Wachstum und Ertrag von Weisskohl im gedeckten Anbau. Die Beladung der Kohle erfolgte mit nährstoffreichen flüssigen Hofdüngerfraktionen. Der mit Nährstoffen aus separierter Gülle beladene Träger erzielte dabei im Vergleich zu den Standarddüngerverfahren einen vergleichbaren Trocken- und Feuchtsubstanzertrag der Ernteprodukte und zeigte deutlich die Chancen eines mit Nährstoffen beladenen Trägermaterials als Langzeitdünger auf, liess aber auch einige Fragen offen bezüglich der Formulierung und der Anwendung.

Piccinini et al. vom CRPA in Italien (persönliche Mitteilung, 2017) untersuchten – neben Biokohle verschiedener Herkunft – Zeolithe mit verschiedenen Konfigurationen. Sie fanden z.T. hervorragende Bindungseigenschaften von Ammonium aus Gülle, das Problem lag eher an der langsamen Desorption in der Erde.

4.3 Schlussfolgerungen

Die Aussagen der verschiedenen Untersuchungen lassen darauf schliessen, dass eine Beladung fester Trägermaterialien mit aufbereitetem Presswasser möglich ist und vielversprechende Einsatzmöglichkeiten für diese Festdünger in Aussicht stellt. Die Qualität und Zusammensetzung des im Rahmen des Projekts aufbereiteten Presswassers entspricht jedoch nicht jener, der bisher eingesetzten flüssigen Fraktionen. Das gesiebte Presswasser war in jedem Fall zähflüssiger und in einigen Fällen auch mit feinstem Fasermaterial durchsetzt. Die zusätzlich eingesetzten Flockungsversuche brachten insofern nicht den erwarteten Erfolg, als dass die Nährstoffe teilweise auch mit ausgefällt wurden. Von den Adsorptionsversuchen muss daher Abstand genommen werden.

Aufgrund der suboptimalen Ausgangssubstanz sowie der Vielfalt und Komplexität der zu erwartenden Fragestellungen beim Einsatz von aufbereitetem Presswasser zur Trägerbeladung wurde beschlossen, auf die Durchführung von entsprechenden Laborversuchen zu verzichten. Es ist erfolgsversprechender, den Ansatz der Trägerbeladung als eigenständiges Entwicklungs- und Applikationsprojekt durchzuführen.



5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Das Siebverfahren (Vibrationssieb) wurde als einzig erfolgreiche Methode einer genaueren Wirtschaftlichkeitsanalyse unterzogen. Diese unterteilt sich in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Investitions- und Betriebskosten bei Integration in ein bestehendes Vergärwerk und einen nachfolgenden Kostenvergleich zwischen der Nutzung von aufbereitetem flüssigem Gärgut gegenüber dem herkömmlichen Kunstdüngereinsatz bei den Zielgruppen.

5.1 Wirtschaftlichkeit Integration Vibrationssieb in bestehende Anlage

Die Wirtschaftlichkeit wird auf Basis eines bestehenden Vergärwerks nach dem Pfropfenstromprinzip zur Feststoffvergärung mit einer Jahreskapazität von 20'000 Tonnen biogene Abfälle untersucht. Diese Anlagengrösse entspricht der heute in der Schweiz mehrheitlich realisierten Anlagengrösse für dieses Verfahren.

Für die Kostenermittlung wird von folgenden Rahmenbedingungen und Berechnungsansätzen ausgegangen:

Beschrieb	Dimension	Ansatz/Auswahl	Bemerkungen
Technische Daten			
Vergärwerk			Pfropfenstromprinzip zur Feststoffvergärung
Kapazität	t/a	20'000	Biogene Abfälle aus der kommunalen Sammlung
Presswasseranfall ca.	t/a t/h	9'600 13'800 2.0	Überschuss zur Verwertung Hydraulisch inkl. Rückführung stündlich im Jahresmittel
Vibrationssieb			
Hydraulischer Durchsatz Sieb	t/h	4-5	Spitzenlast gem. Saisonalität und Betriebsbed.. Entwässerung
Trennkorngrösse	µm	< 200	
Siebdurchmesser	mm	1'800	

Für die Ermittlung der Investitionskosten wurde davon ausgegangen, dass sich die mit dem Vibrationssieb verbundene Anlagentechnik vergleichsweise einfach in ein bestehendes Vergärwerk gem. o.g. Beschreibung integrieren lässt. Beim Einsatz eines Vibrationssiebs können die bei diesem Anlagentyp üblicherweise vorhandenen Presswasser-Sedimentationsbecken aus dem Verfahrensprozess eliminiert werden und für die Aufstellung der Anlagentechnik umgenutzt werden. Demzufolge sind keine relevanten Investitionen für Bauleistungen erforderlich und auch nicht in der nachfolgenden Investitionskosten-zusammenstellung berücksichtigt.



Pos.	Beschrieb	Dimension	Ansatz/Auswahl	Bemerkungen
1	Investitionskosten	CHF	119'700.--	
1.1	Vibrationssieb	CHF	38'000.--	
1.2	Montage	CHF	2'000.--	
1.3	Elektroinstallation	CHF	5'000.--	
1.4	Steuerung	CHF	10'000.--	
1.5	Rohrleitungen	CHF	5'000.--	
1.6	EMSR-Überlauf-überwachung	CHF	10'000.--	
1.7	Stahlbau / Podest	CHF	15'000.--	
1.8	Förderschnecke Siebüberlauf	CHF	15'000.--	
1.9	Unvorhergesehenes	CHF	20'000.--	

Pos.	Beschrieb	Dimension	Ansatz/Auswahl	Bemerkungen
2	Betriebskosten	CHF/a	11'185.--	
2.1	elektr. Energie	CHF/a	1'575.--	
2.1.1	Inst. Leistung	kW	3.0	2.0 kW Sieb + 1.0 kW Zuführung
2.1.2	Energiebedarf	kWh/a	10'500	bei 3'500 Bh/a
2.1.3	spez. Energiekosten	CHF/kWh	0.15	
2.2	Wartung / Unterhalt	CHF/a	3'600	3 % der Investitionssumme
2.3	Sonstiges	CHF	1'500	Brauchwasser, etc.
2.4	Betriebspersonal	CHF	4'510	
2.4.1	Ansatz	h/d	0.25	Bei 220 Arbeitstagen/a
2.4.2	Stundensatz	CHF/h	82.--	

3	Gesamtkosten	CHF/a	25'217.50	
3.1	Investitionen	CHF/a	14'032.50	nach Annuitätenmethode
3.1.1	Investitionskosten gem. Pos. 1	CHF	119'700.--	
3.1.2	Zinssatz	%/a	3	
3.1.3	Laufzeit	a	10	
3.1.5	Restwert	CHF	0.--	nach Laufzeit
3.1.6	Annuität	CHF	14'032.50	
3.2	Betriebskosten	CHF	11'185.--	Gem. Ziffer 2

4	Erträge (Minderkosten)	CHF/a	- 29'768.--	Summe 4.1+4.2+4.3
4.1	Reinigung Absetzbecken	CHF/a	- 8'768.--	entfällt komplett
4.1.1	Ansatz	CHF/ Reinigung	2'192.--	



4.1.2	Anzahl Reinigungen	Stck./a	4	
4.1.3	Mann-h/ Reinigung	h	16	
4.1.4	Stundensatz Personal	CHF/h	82.--	
4.1.5	Fahrzeug- /Radlader-h	h	2 x 4	
4.1.6	Stundensatz Fahrzeug	CHF/h	110.--	
4.2	Reinigung Lagertank GG _{flüssig}	CHF/a	- 12'000.--	rechnerisch nur noch 1.4 statt 2 Reinigungen/a
4.2.1	Ansatz	CHF/ Reinigung	20'000.--	Erfahrungswert Gesamtreinigung PW-Lagertank 3'000 m ³ mit Saugbagger
4.2.2	Anzahl Reinigungen vorher	Stck./a	2	ohne Siebung
4.2.3	Reduktion Feststoffracht ca.	%	20	
4.2.4	anteilig bezogen auf Tankreinigung	%	30	durch die Siebung werden insbesondere schnell sedimentierbare Feststoffe abgetrennt
4.2.5	Anzahl Reinigungen nachher	Anzahl/a	1.4	mit Siebung
4.3	Reduktion GG _{flüssig}		- 9'000.--	
4.3.1	Ansatz Reduktion Meteorwasser	%	- 50%	Meteorwassereinsatz, der sich direkt auf die Produktion von GG _{flüssig} auswirkt
4.3.2	Meteorwasser vorher	t/a	1'500	ohne Sieb
4.3.3	Meteorwasser nachher	t/a	750	mit Einsatz Sieb
4.3.4	Spezif. Verwertungs- Kosten GG _{flüssig}	CHF/t	12.--	

Für die Befeuchtung der zu vergärenden Rohsubstrate wird bei der Feststoffvergärung nach dem Pfropfenstromprinzip ein Gemisch aus Meteorwasser und Presswasser (Gärgut-flüssig) eingesetzt. Das Verhältnis zwischen Meteorwasser und Presswasser wird im Wesentlichen durch die Qualität resp. den Feststoffgehalt des Presswassers bestimmt, damit sich die mit dem Presswasser zurückgeführten Feststoffe nicht im System anreichern. Die angegebene Menge von *Meteorwasser vorher* gem. Pos 4.3.2 bezieht sich auf den Meteorwasserbedarf eines Vergärwerks in der beschriebenen Anlagengrösse ohne zusätzliche Presswasseraufbereitung. Durch die neue Feststoffabsiebung wird die mit dem Presswasser zurückgeführte Feststoffracht reduziert. Demzufolge kann der Presswasseranteil zur Befeuchtung erhöht werden, was sich direkt in der



Reduzierung des Meteorwasserbedarfs auswirkt. Mit der Siebung werden insbesondere grobkörnige, schnell sedimentierende, Feststoffanteile im Presswasser eliminiert, weshalb sich die dazugehörige Reduktion der Feststofffracht überproportional zugunsten des Verhältnisses Presswasserrückführung zu Meteorwasser auswirkt. Sämtliches Meteorwasser welches nicht zusätzlich dem Prozess zugeführt wird und durch interne Rezirkulation des Presswassers ersetzt werden kann, muss letztendlich auch nicht als «neues» Presswasser der Verwertung zugeführt werden. Demzufolge reduziert sich die gesamthaft zu verwertende Presswassermenge direkt proportional zum verminderten Meteorwassereinsatz. Bei der gem. Pos. 4.3.1 angegebenen Reduktion des Meteorwassereinsatzes handelt es sich um einen Schätzwert, der aber eher konservativ angesetzt sein sollte. Genauere Angaben zur reduzierten Meteorwasserbedarf können nur durch langfristige Untersuchungen über mindestens eine Jahresganglinie gemacht werden, welche im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich waren.

Aus der Gegenüberstellung zwischen Gesamtkosten (Pos.3) und Erträgen bzw. Kosteneinsparungen (Pos. 4) ist ersichtlich, dass die **Investition in ein Vibrationssieb kostenneutral bzw. mit leichter Tendenz zu einer Kosteneinsparung von ca. CHF - 4'500.--/a** umgesetzt werden kann.

5.2 Kostenvergleich: Einsatz von flüssigem Gärgut gegenüber biologischem Dünger und Kunstdünger

Die Vergleichsrechnung basiert auf dem Einsatz von flüssigem Gärgut für den Anbau von Sellerie im biologischen und konventionellen Gartenbau gemäss Kapitel 2.2.

Der Kostenvergleich wurde auf Basis folgender Rahmendaten durchgeführt:

- Bedarf verfügbarer Stickstoff: 185 kgN_{verf}/ha*a
- Kosten für Gärgut flüssig: CHF 0.- /t an Feldrand geliefert (Übernahme Transp.-Kosten durch Vergärwerk)
- Variante excl. Kosten Transport Gärgut flüssig: CHF 12.- /t an Feldrand geliefert.
- Ausbringungskosten für flüssiges Gärgut: CHF 7.- /t
- Ausbringungskosten für Handelsdünger: CHF 91.- / Durchgang¹

Die Schätzung der Düngerkosten pro Tonne Knollensellerie erfolgt auf dem Mittelwert der Ergebnisse der durchgeführten Versuche gemäss nachfolgender Tabelle 9:

¹ Berechnung mit „ProfiCost Gemüse“ vom SZG / VSGP



Tabelle 9. Berechnung der Düngerkosten pro ha

Ergebnisse der durchgeführten Düngeversuche / Kosten für die Düngung von (Bio-) Knollensellerie (in CHF)						
Dünger	Ausbringungs- menge pro ha in t bzw m ³	Düngerpreis pro t bzw m ³	Ausbringungs- kosten pro ha	Düngerkosten pro ha inkl. Ausbringung	mittlerer Ertrag in t pro ha	Düngerkosten pro Tonne Knollensellerie
Düngerkontrolle im Versuch						
Hühnermist	1.75	579	91	1'104		
Patentkali	0.883	540.5	91	568		
Biorga N	1.414	1'060	182	1'681		
Total			291.4	3'353	16.4	204

In Tabelle 10 sind die entsprechenden spezifischen Kosten für die Düngung mit flüssigem Gärgut, Bio-Handelsdünger und Kunstdünger wiedergegeben:

Tabelle 10 Spezifische Düngerkosten

Pos.	Beschrieb	Dimension	Gärgut flüssig ohne Transport	Gärgut flüssig Vollkosten	Bio-Handelsdünger	Kunstdünger (z.b. Amsonalpeter)
1.	Stickstoff-Bedarf	kgN _{verf} /ha*a	185			
2.	spez. Gehalt N _{verf}	kgN _{verf} /t _{FM}	2.8	2.8	84	300
3.	Ausbringmenge	t _{FM} /ha*a	66.07	66.07	2.20	0.62
4.	Kostenberechnung					
4.1	Düngerkosten pro ha	CHF/ha*a	CHF -	CHF 792.86	CHF 1'827.98	CHF 233.72
4.1.1	spez. Kosten Dünger	CHF/t _{FM}	CHF -	CHF -	CHF 830.00	CHF 379.00
4.1.2	Transportkosten Dünger	CHF/t _{FM}	CHF -	CHF 12.00	CHF -	CHF -
4.2	Ausbringkosten pro ha	CHF/ha*a	CHF 462.50	CHF 462.50	CHF 220.24	CHF 222.00
4.2.1	spez. Kosten Ausbringen	CHF/t _{FM}	CHF 7.00	CHF 7.00	CHF 100.00	CHF 360.00
5.	Gesamtkosten (Vergleichswert Ergebnisse Düngeversuche)	CHF/ha*a	CHF 462.50	CHF 1'255.36	CHF 2'048.21	CHF 455.72

Aus dem Kostenvergleich wird deutlich, dass die Anwendung von flüssigem Gärgut im Bio-Gemüsebau durchaus wirtschaftlich interessant sein kann. Der Aufwand für Transport und Ausbringung des flüssigen Gärguts (Vollkosten), sollte, auf der Basis der vorliegenden Versuchsergebnisse, in vollem Umfang durch einen äquivalenten Marktpreis gedeckt werden können.

Im Vergleich zu Kunstdünger kann nur ein marktgerechter Preis erreicht werden, wenn die Transportkosten nicht an die Gemüseproduzenten (Verwertungsbetrieb) weitergegeben werden.

Nicht ganz einfach wird sein, einen höheren Preis im Bio-Gemüsebau auch am Markt durchzusetzen, denn der Marktanteil von Bio-Gemüse ist vergleichsweise gering. Deshalb wird es auch nicht möglich sein, die schweizweit anfallende Presswassermenge ausschliesslich im Bio-Gemüsebau unterzubringen. Ein unterschiedlicher Marktpreis je nach Anwendung (Bio-Gemüsebau versus konventioneller Gemüsebau) für dasselbe Produkt Gärgut-flüssig ist ebenfalls unrealistisch.



Demzufolge müsste der Fokus für ein zukünftiges Vermarktungskonzept von qualitätsgesteigertem Gärgut-flüssig in erster Linie darin liegen, neben dem Einsatz im Biogemüsebau auch möglichst viel Kunstdünger durch flüssiges Gärgut zu ersetzen. Dies wird nur unter Beibehaltung der aktuellen Marktbedingungen möglich sein, d.h. der Erzeugungsbetrieb des flüssigen Gärguts übernimmt die Kosten für den Transport zum Verwertungsbetrieb.

6. Schlussbetrachtung und Ausblick

Insgesamt wurden die im Projekt gesetzten Ziele erreicht. Die technische Lösung mit dem Vibrationssieb konnte den festen Anteil inkl. Sand zu einem grossen Teil aus dem Presswasser abtrennen. Damit steht eine energieeffiziente Alternative zur Zentrifuge zur Verfügung. Das resultierende Filtrat war deutlich leichtflüssiger als das rohe Presswasser und erlaubte einen wesentlichen Teil des Meteorwassers zu ersetzen, was zu einem total geringeren Verarbeitungsvolumen führt. Wichtig dabei ist auch der Befund, dass mit dem geringeren Fremdwasseranteil das Mehrkammer-Absetzbecken weggelassen und mit einem kleinen Pufferbecken vor dem Sieb ersetzt werden kann. Mit der stark reduzierten Aufenthaltszeit in der offenen Zwischenspeicherung wird die Methanemission ganz erheblich reduziert. Eine zusätzliche Reduktion des Restmethans nach Siebung konnte allerdings nicht erreicht werden.

Der Umbau einer bestehenden Propfenstrom-Systems mit den erwähnten positiven Effekten ist auch wirtschaftlich interessant, wie die entsprechenden Modellberechnungen zeigten. Die Resultate haben unseren Projektpartner Axpo Kompogas dazu bewogen, die Anlage Wauwil mit diesem System auszubauen, um die Effizienz in einem länger dauernden Betrieb über verschiedene Saisons untersuchen zu können. Auch Biogas Zürich wird eine entsprechende Planung demnächst aufnehmen.

Während in Winterthur das gesiebte Presswasser immer noch viskos und zähflüssig war und bei den Topfversuchen zu einigen Einschränkungen beim Ausbringen führte, konnte mit dem Substrat von Inwil hervorragende Flieseigenschaften des Filtrats erreicht werden, was einen problemlosen Einsatz als Dünger (Fertigation) erlaubt. Woher genau die Unterschiede zwischen den zwei scheinbar vergleichbaren Ausgangsstoffen liegt, muss mit einer vertiefenden analytischen Studie eruiert werden. Der Einsatz von einem Filtrat wie das von Winterthur auf Sportplätzen, welche unmittelbar wieder bespielbar sein müssen, wegen der kolmatierenden Eigenschaften des viskosen Filtrats nicht geeignet. In Parkanlagen ist es aber durchaus geeignet, wo man auch einige Tage das Betreten des gedüngten Rasens verhindern kann.

Positiv sind die Düngereigenschaften zu erwähnen, welche in den Topf- und Feldversuchen nachgewiesen werden könnten. Besonders erfreulich ist der Vergleich mit kommerziellen Bio-Düngern im biologisch bewirtschafteten Gemüsebau. Die Erträge sind gleich hoch wie bei den Vergleichsdüngern bei einer starken Reduktion der Kosten und damit einem gesteigerten Gewinn. Dies trotz eines Mehraufwandes durch zweimaliges Ausbringen. Die erzielten Resultate können gut für die Weiterbildung von Biobauern genutzt werden. In weitergehenden Untersuchungen des Mitautors Jacques Fuchs soll der Einsatz von Presswasser-Filtrat auch im Tomatenanbau untersucht werden.

Die Potenzialanalyse und die Marktabschätzung, welche im Rahmen von Arbeiten an der ETH und der ZHAW durchgeführt wurden zeigten, dass das Einsatzpotenzial von Presswasser-Filtrat grösser



ist, als das heutige Angebot. Bevor dieses Potenzial umgesetzt werden kann, braucht es allerdings noch einige weiterführende Untersuchungen zum technischen Einsatz.

7. Berichte

Zu den verschiedenen Teilbereichen des Projekts wurden durch die ausführenden Projektpartner detaillierte Berichte erstellt. Diese sind auf dem Netz zurzeit nicht verfügbar, sie können aber bei den Verantwortlichen bestellt werden. Deren E-Mail-Adressen sind in Klammern aufgeführt.

1. Anwendung von aufbereitetem flüssigem Gärgut auf Rasen (jacques.fuchs@fibl.ch)
2. Anwendung von aufbereitetem flüssigem Gärgut auf Selleriekultur (jacques.fuchs@fibl.ch)
3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (helmut.vetter@zuerich.ch)
4. Marktstudie für den Einsatz organischer Dünger im Gartenbau. Simon Mosch, 2016. (burs@zhaw.ch)
5. Neue Märkte für flüssiges Gärgut. Yvonne Flury, 2016. (burs@zhaw.ch)
6. Absieben von Presswasser (adrian.schatz@hz-inova.com)