

Dipl.-Ing. Björn Lehmann-Matthaei

Geschäftsführer

Schwentinestr. 24

24149 Kiel

fue-zentrum@fh-kiel-gmbh.de

+49 431 218 4440

Prof. Dr.-Ing. Jan Henrik Weyhardt

Fachgebietsleiter für Konstruktion und Technisches Zeichnen

Grenzstr. 3

24149 Kiel

Jan.Henrik.Weyhardt@FH-Kiel.de

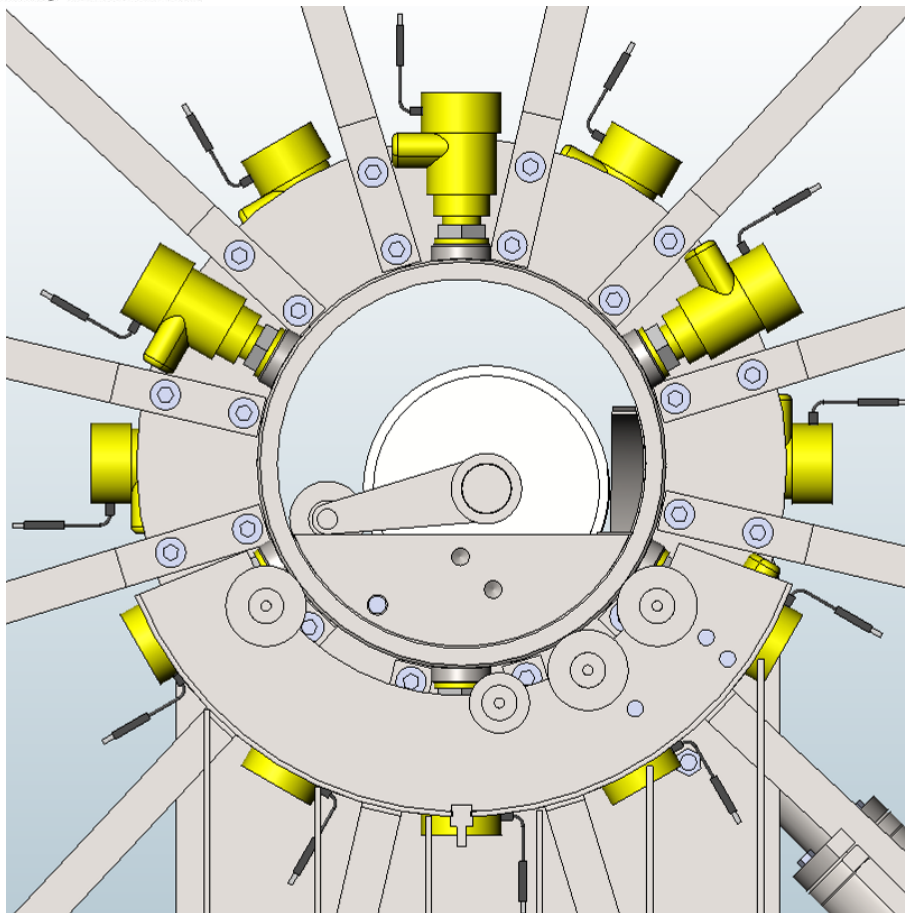
+49 431 210 2623

Abschlussbericht für das EKSH-Projekt Nr. 8/12-27 *biomassmax*

EKSH

Gesellschaft für Energie und
Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH

biomassmax



Inhalt

1	Einleitung und Zusammenfassung.....	3
2	Aufgabenstellung und Projektziele.....	5
3	Versuche	8
3.1	Versuchsstand	8
3.2	Verwendete Pressgüter.....	10
3.2.1	Grassilage (GRS).....	10
3.2.2	Grasschnitt bzw. Landschaftspflegegrün (LPG)	10
3.2.3	Treibsel bzw. Seegras.....	11
3.2.4	Kurzhalmige Biomassen, Eignung für Walzenpressen	11
3.2.5	Langhalmige Biomassen, Vor- und Nachteile	12
3.3	Versuchsparameter.....	13
3.3.1	eingestellt	13
3.3.1.1	Spaltbreite b	13
3.3.1.2	Spaltdicke t	13
3.3.1.3	Fördergeschwindigkeit v	14
3.3.2	gemessen	14
3.3.2.1	Fördergeschwindigkeit v	14
3.3.2.2	Massen m	14
3.3.2.3	Trockensubstanzgehalt TS	15
3.3.2.4	Antriebskraft F	16
3.3.2.5	Druck p	16
3.3.2.6	Versuchsdauer $mm:ss$	18
3.3.3	errechnet.....	18
3.3.3.1	Massenstrom Q	18
3.3.3.2	Antriebsleistung P	18
3.4	Verwertbare Versuche	19
3.4.1	verwertbares Pressgut.....	19
3.4.2	nicht verwertbares Pressgut.....	20

4	Ergebnisse.....	21
4.1	Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt TS	21
4.2	Druckverteilung	23
4.2.1	$p(x)$	23
4.2.2	$p(\varphi)$	23
4.3	Entwässerungsgrade.....	24
4.3.1	Definitionen.....	24
4.3.2	aus der Massenbilanz η_m	25
4.3.3	aus der Trockensubstanzgehaltmessung η_{TS}	25
4.3.4	Vergleich	25
4.4	Der biomassmax-Kennwert bmm	26
4.4.1	Definition	26
4.4.2	Einflüsse der Versuchsparameter	26
4.4.2.1	Spaltbreite b	27
4.4.2.2	Spaltdicke t	27
4.4.2.3	Fördergeschwindigkeit v	28
4.4.2.4	Druck p	28
4.4.2.5	Massenstrom Q	29
4.4.2.6	Antriebsleistung P	29
4.4.2.7	Trockensubstanzgehalt TS	30
4.4.2.8	Massenbilanz η_m	30
5	Ausblick.....	31
6	Danksagung	31
7	Literatur	32

1 Einleitung und Zusammenfassung

Im EKSH-Projekt biomassmax wurde **biomasse** bei **maximaler** Energieeffizienz mittels einer Walzenpresse (WP) entwässert. Der deutlich geringere Energieverbrauch gegenüber landläufig verwendeten Schneckenpressen (SPn) hat alle Erwartungen übertroffen.

Zu den elementaren Funktionen s. Abbildung 1-1: Eine äußere Walze **1** und eine innere Walze **2** liegen so exzentrisch ineinander, dass sich zwischen diesen ein sichelförmiger Spalt **8** bildet. Über eine Förderschnecke **9** wird breiig konditionierte grün-blau dargestellte Biomasse zugeführt. Die äußere Walze **1** wird an einem Zahnkranz **4** über ein Ritzel **5** angetrieben. Dadurch wird die Biomasse in den Sichelspalt **8** gezogen und treibt ihrerseits die innere Walze **2** an. Über einem Hebel **6** und einen Hydraulikzylinder **7** wird der Prozessdruck begrenzt und z.B. bei Überbeschickung der Spalt geöffnet.

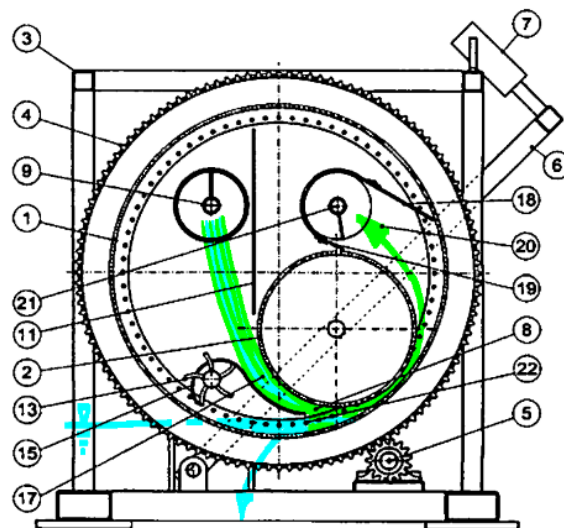


Abbildung 1-1: Exemplarische WP [1]

Die engste Stelle des Sichelspaltes **8** liegt derart, dass

1. der blau dargestellte Presssaft
z.B. zur Weiterverarbeitung in einer Biogasanlage seitlich nach unten fließen und
2. die grün dargestellten festen Bestandteile
z.B. zum Pressen von Briketts als Brennstoff nach oben gefördert werden,

wo diese über eine weitere Förderschnecke **21** abtransportiert werden.

Die im Zuge des Projektes realisierte WP hat sich als äußerst „gefräßig“ erwiesen und gegenüber einer SP vergleichbare Entwässerungsgrade mit weniger als 5%(!) des Energiebedarfes erreicht. WPn können folglich einen großen Beitrag zu einer glaubwürdigeren Energiewende beitragen. Daraus darf jedoch nicht geschlossen werden, dass WPn generell SPn überlegen sind: Sobald z.B. eine gleichzeitige Walkarbeit-intensive Homogenisierung des Pressgutes erwünscht ist, können erstere diese nicht leisten.

Es wurden Pressversuche an drei Biomassen gefahren:

1. Eingeweichte Grassilage, die sich ideal prozessieren ließ
2. Grasschnitt, der für diese WP etwas zu verholzt war und
3. Treibsel, dessen Entwässerung in Schleswig-Holstein ein riesiges Anwendungspotential hat. Hier reichte die Zeit nicht mehr, dieses gründlicher zu untersuchen. Die Ergebnisse sind jedoch vielversprechend: Mit geringem technischem Aufwand können schon über 50% des etwa zu 77% enthaltenen Wassers ausgepresst werden.

Ein weiteres Ergebnis sind Erkenntnisse zum späteren Bau und Betrieb von WPn: Zur gewichteten Berücksichtigung von Präferenzen hinsichtlich Energieverbrauch, Trocknungsgrad und Massenreduzierung wurde der **biomassmax**-Kennwert *bmm* definiert. Bei ausgewogener Gewichtung der drei Aspekte sind relativ kurze Walzen mit großem Spalt bei großer Leistungsaufnahme am wirtschaftlichsten zu betreiben. Zur individuellen Beurteilung müssen alle am Prozess beteiligten Maschinen mit einbezogen werden.

Ursprünglich war geplant, eine große WP als Ersatz für eine SP in einer leistungsstarken Versuchsanlage zur Aufbereitung von kurzhalbmiger Biomasse zu bauen. An dieser sollten Versuche in situ gefahren werden, was umfangreiche Datenmengen versprach. Jedoch hatten sich Anforderungen der Vorhabenspartnerin im laufenden Projekt in einer Weise entwickelt, dass fünf Monate vor dem regulären Abschluss zweifelsfrei war, die Vorhabensziele damit nicht abbilden zu können. Es wurde ein kleinerer Versuchsstand konstruiert und realisiert, mit dem am Fachbereich Agrarwissenschaften der Fachhochschule Kiel die Versuche in vitro durchgeführt wurden. Das Vorhaben wurde zwecks ergänzender Versuche um vier auf 28 Monate verlängert.

2 Aufgabenstellung und Projektziele

Aufgrund von Vorerfahrungen war gefordert, eine Presse

1. mit nicht profilierten – also glatten - Walzen und
2. ohne Entwässerungslöcher bzw. -siebe zu verwenden,

da in beiden Fällen das Festsetzen des Pressgutes und somit eine Beeinträchtigung des Prozesses zu erwarten ist.

Im Zuge der Versuche sollte herausgefunden werden,

1. welche Pressgüter (z.B. Silage und Treibsel) geeignet sind und
2. mit welchen einstellbaren Parametern (z.B. Spaltabmessungen und Fördergeschwindigkeit)
3. welche Prozessparameter (insbes. der Entwässerungsgrad und Leistungsbedarf) am günstigsten zu beeinflussen sind.

Zur Optimierung dieses Verfahrens war zu ermitteln, welche Verteilung der Pressdruck p ausbildet. Dazu ist in Abbildung 2-1 die innere Walze mit dem Durchmesser d ganz dargestellt und unten die äußere Walze mit dem Durchmesser D angedeutet. Beide haben die Länge l . Ferner sind an der inneren Walze Messstellen von Wegesensoren S_s für die Spaltdicke und Drucksensoren S_p angedeutet, letztere hier in einer Reihe mit sich nach außen verringernder Teilung zum Detektieren von Randzoneneffekten. Zum Druck p :

1. In Umfangsrichtung φ : $p(\varphi)$, grün dargestellt, sollte in Förderrichtung (math. pos.) mit der Entwässerung langsam ansteigen und nach dem geringsten Spaltmaß schnell abfallen. In Erwartung von maximalen Drücken $p_{max} = 20\text{bar}$ sind die Lagen vom Maximum und der resultierenden Kraft maßgeblich für die Auslegung der Konstruktion.
2. In Längsrichtung x : $p(x)$, blau dargestellt, sollte für eine maximale Energieeffizienz möglichst konstant sein, da der Druck am Rand zu null abfällt. Ferner geht der Entwässerungsstrom durch die Randzone, so dass hier feuchtes Material gefördert wird. Walzen mit großer Länge l halten diesen Effekt gering, stellen jedoch ein strukturelles Problem dar. Hier gilt es, einen Kompromiss anzubahnen.

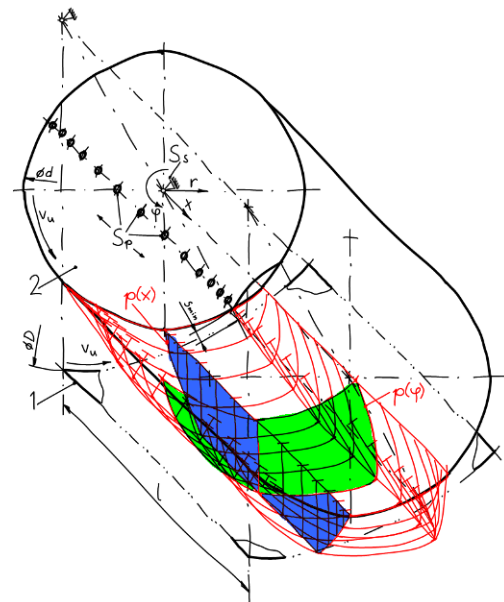


Abbildung 2-1:
Angenommene Verteilung des
Pressdruckes p

Ein für das Land Schleswig-Holstein attraktives Ziel sollte die Entwässerung von Treibsel (Seegras) direkt am Strand zum leichteren Abtransport sein, s. Abbildung 2-2. Jährlich werden zehntausende Tonnen angespült. Aktuell wird dieses noch aufwendig getrocknet, was mit erheblichen Geruchsbelästigungen einhergeht [2]. Hier wäre zu prüfen, ob das direkte Einleiten des Presssaftes ins Meer ein Überdüngungsproblem nach sich zöge.



Abbildung 2-2: Handhabung von Treibsel an Schleswig-Holsteins Badestränden

Als Pressgüter sind über die in diesem Projekt ebenfalls behandelten Grassilage (GRS) und Landschaftspflegegrün (LPG) auch Gärreste aus Biogasanlagen interessant.

Vorversuche an einer SP ergaben einen energiebezogenen Massendurchsatz von etwa

1. $(900\text{kg/h})/15\text{kW} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{g/J}$ für GRS (blau dargestellt) und
2. $(700\text{kg/h})/25\text{kW} = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{g/J}$ für LPG (rot dargestellt)

ergeben, die es zu unterbieten galt, s. Abbildung 2-3:

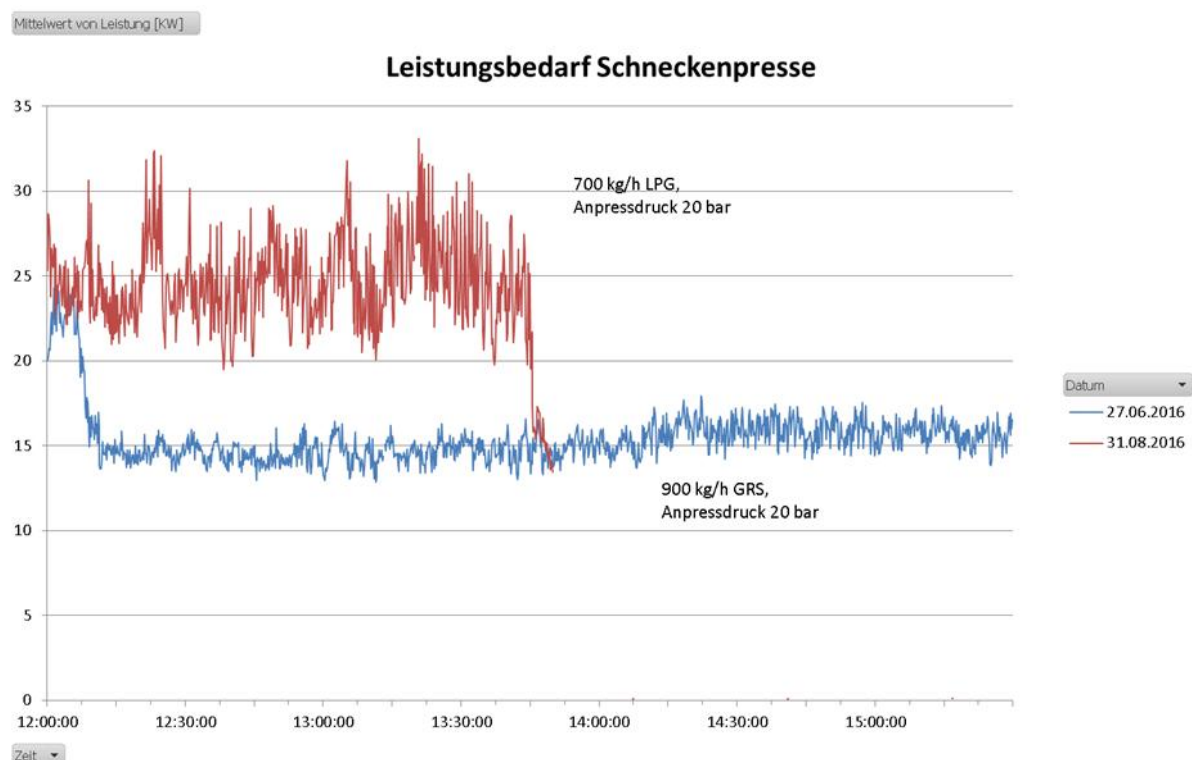


Abbildung 2-3: Betriebsdaten einer VetterTec Schneckenpresse Typ DZvv, beim Entwässern von Landschaftspflegegrün LPG (700kg/h) und Grassilage GRS (900kg/h) bei einem Anpressdruck (Konus) von 20 bar [3].

Ein weiteres wichtiges Maß für die Leistungsfähigkeit einer Presse ist der Gehalt von Trockensubstanz (TS) im Pressgut nach dem Pressen, s. Abbildung 2-4:

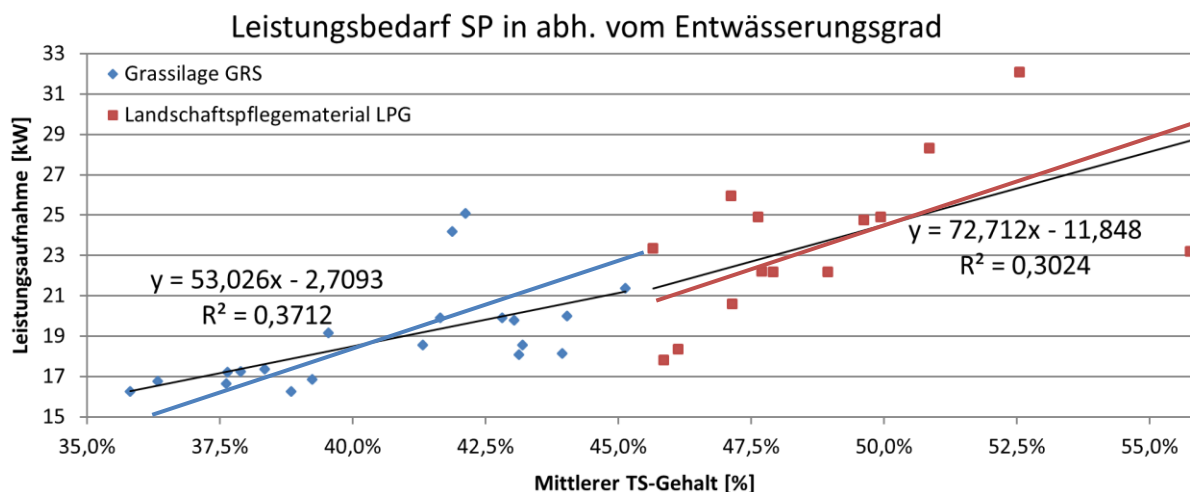


Abbildung 2-4: Leistungsbedarf einer VetterTec Schneckenpresse Typ DZvv in Abhängigkeit vom Entwässerungsgrad – i.F. TS-Gehalt! - (TS-Gehalt) der Biomasse (hier GRS und LPG) [3] mit alternativen Trendlinien — und — .

An den Trendlinien ist plausibel zu erkennen, dass der Leistungsbedarf mit dem Entwässerungsgrad steigt. Eine lineare Beschreibung ist für die in diesem Vorhaben anstehenden Vergleiche in unteren Bereichen des TS-Gehalts statthaft. In der Realität strebt allerdings die Leistungsaufnahme für einen TS-Gehalt von 100% gegen unendlich. An dieser Stelle ist eine thermische Trocknung mit Sicherheit günstiger. Aber bis zu welcher Pressleistung ist die Energiebilanz günstiger? Verlängert man die Trendlinien bis zu der Leistungsaufnahme 0kW, ergeben sich TS-Gehalte vor dem Pressen von $2,7093/53,026 \approx 5\%$ für GRS und $11,848/72,712 \approx 16\%$ für LPG. Diese Werte erscheinen als etwas zu niedrig, auch wenn die Biomasse in der besagten Versuchsanlage mit viel Flüssigkeit konditioniert wird, da diese vor dem Pressen abtropft. Zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse sollten die Biomassen auch in diesem Projekt lange eingeweicht werden und vor dem Pressen abtropfen, was mittlere TS-Gehalte von ca. 19% sowohl für GRS als auch LPG ergab.

In diesem Projekt sollen die Versuchsergebnisse als Annahme auf der sicheren Seite mit Trendlinien verglichen werden, die beide durch den Punkt (19%/0kW) und die Mitte der jeweiligen Punktwolke gehen, also etwa (40,5%/18,8kW) für GRS und (50,5%/24,9kW) für LPG. Die Funktionen der alternativen Trendlinien, s. Abbildung 2-4 lauten (ohne Herleitung):

1. $P_{GRS}(TS) = 87,3\text{kW}/\% \cdot TS - 16,6\text{kW}$ für Grassilage und
2. $P_{LPG}(TS) = 79,0\text{kW}/\% \cdot TS - 15,0\text{kW}$ für Landschaftspflegegrün

Die verschiedenen Kennzahlen wirken unhandlich und sollen in eine alle einfließenden Effekte umfassende gemeinsame Kennzahl überführt werden, die auch verschiedene Randbedingungen vergleichbar macht. Diese ist individuell zu deuten, da dem Pressen anschließende Trocknungsverfahren verschieden energie- bzw. zeitintensiv sein können.

3 Versuche

3.1 Versuchsstand

Abbildung 3-1 zeigt Details der Konstruktion des Versuchsstandes: Die äußere Walze **1** ist entsprechend der zu erwartenden Pressungsverteilung $p(\varphi)$ mittels Tragrollen **22** gelagert im Gestell **70**. Abweichend von Abbildung 1-1 ist die innere Walze **13** kraftflussgerecht an den Kolbenstangenenden **78** zweier Federzylinder **79** gelagert, die ebenfalls am Gestell **70** angebracht sind und den Pressdruck auf $p \approx 20\text{bar}$ begrenzen. Zum Pressen bildet sich der Sichelspalt **29** aus. Dieser ist abgesehen von Entwässerungsspalten zu den Seiten hin zu. Mit einem an einer Schwinde gelagerten Gewicht **16** wird die händisch an der **Zufuhr** eingebrachte Biomasse vorverdichtet, damit die Walze „zieht“. An der **Abfuhr** wird das entwässerte Pressgut entnommen, während sich der Presssaft am **Abfluss** in Eimern sammelt.

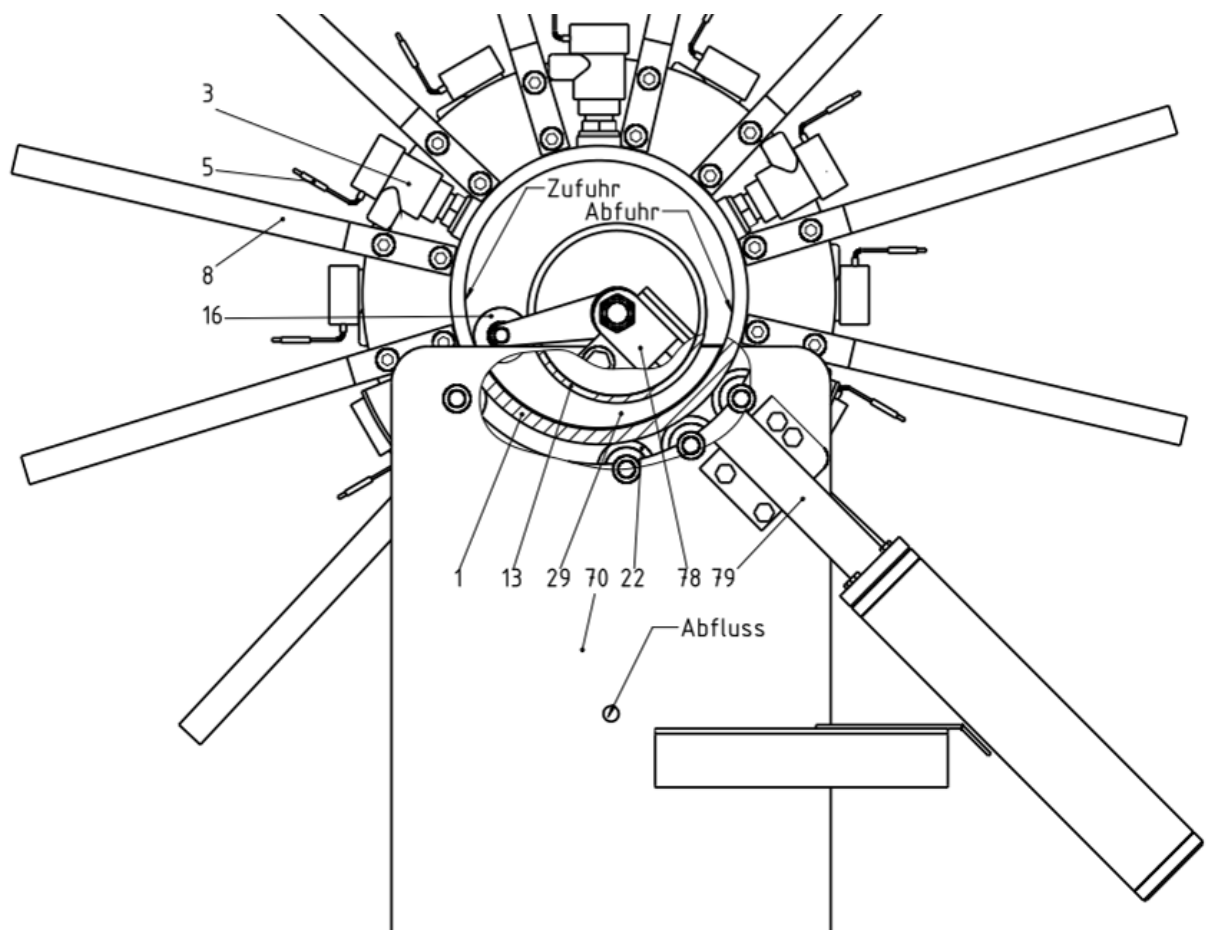


Abbildung 3-1: Realisierter Versuchsstand, Auszug Baugruppenzeichnung

Abweichend von Abbildung 2-1 sind die Druckaufnehmer **3** an der äußeren Walze **1** aufgrund des Raumbedarfes und struktureller Aspekte in zwei Helices angeordnet. An den Datenkabeln **5** werden die Messdaten jeweils nach den Versuchen ausgelesen. Der Antrieb sollte mit einer Handkraft von $F \leq 500\text{N}$ über zwölf Hebel **8** erfolgen.

Die tatsächliche Ausführung zeigt Abbildung 3-2. Der Massenstrom von links nach rechts ist

in grün für die nasse Biomasse dargestellt, die sich zwischen innerer und äußerer Walze in die blau dargestellten flüssigen und gelb dargestellten festen Bestandteile verzweigt. Da sich die erforderliche Betätigungskraft F als zu hoch erwies, wurde an den Handhebeln eine umlaufende Kette samt Kettentrieb befestigt, der mit erträglichen Handkräften betrieben werden konnte. Die F wurde mit einer Kranwaage gemessen.

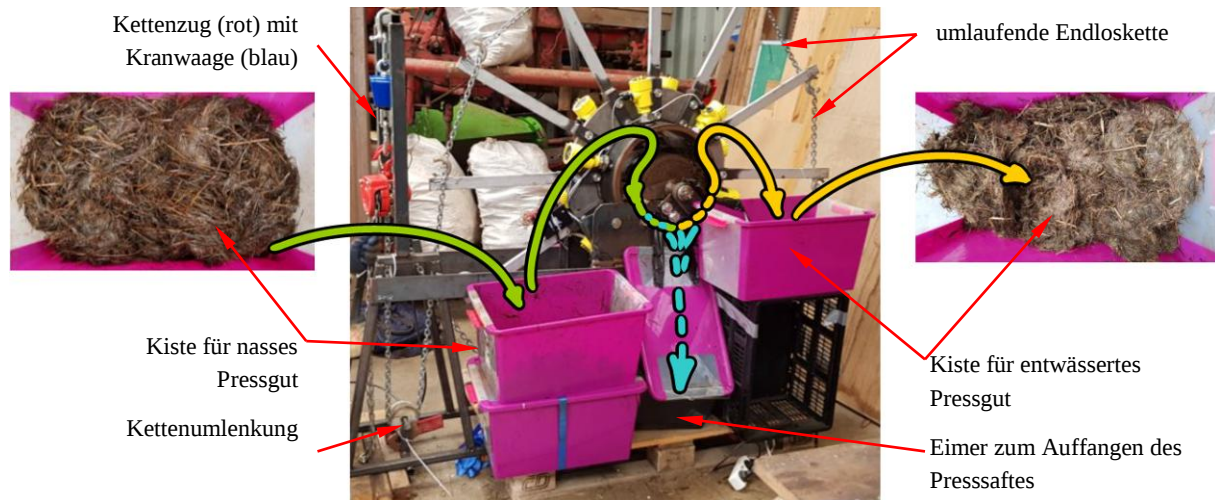


Abbildung 3-2: Realisierter Versuchsstand, Foto

Zu- und Abfuhr sowie Verdichtung des Materials sind in Abbildung 3-3 dargestellt.

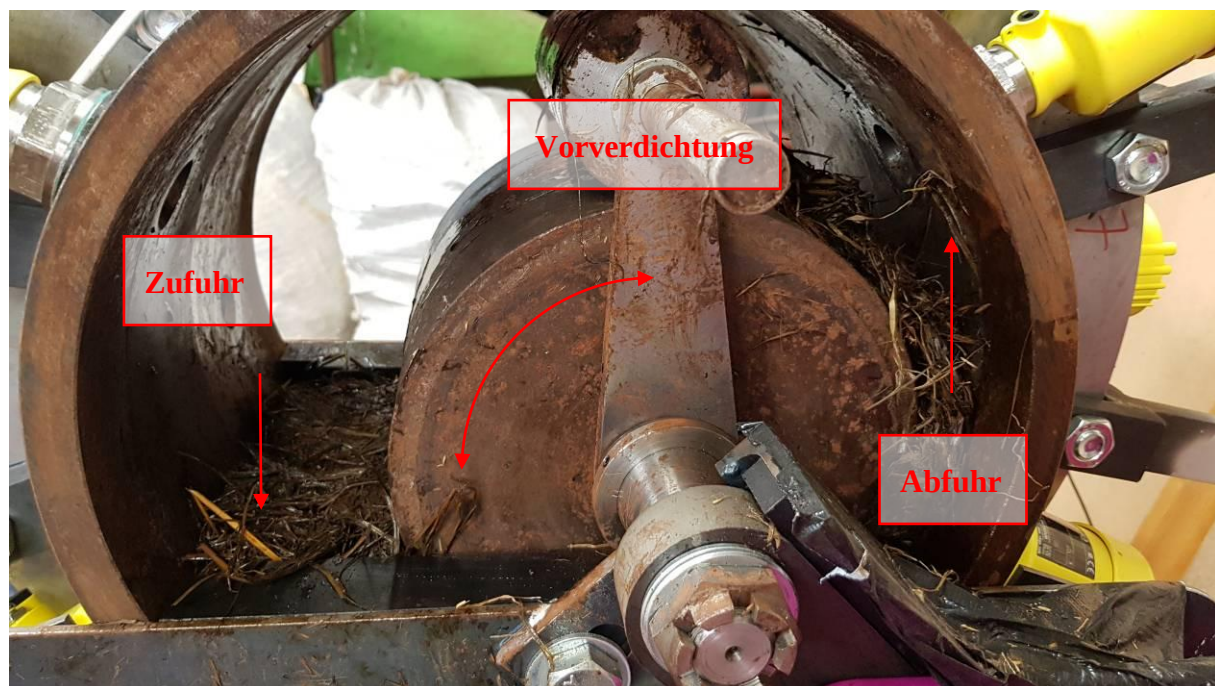


Abbildung 3-3: Realisierter Versuchsstand, Detail

Für die Versuchsparameter s. Kap. 3.3.

3.2 Verwendete Pressgüter

3.2.1 Grassilage (GRS)

Zur Verfügung standen ca. 0,5m³ Silage, die schichtweise verschiedene Eigenschaften insbesondere hinsichtlich der Halmlängen aufwies, s. Abbildung 3-4 u. Abbildung 3-5. Wetterbedingte Unterschiede im Feuchtegehalt wurden durch Einweichen und Abtropfen angeglichen. Weitere Vorbehandlungen mittels Shredder und Zementmischmaschine hatten sich nicht als zielführend erwiesen, da der Versuchsstand extrem steif ausgeführt war.



Abbildung 3-4:
Silage, kurzhalbig, eingeweicht



Abbildung 3-5:
Silage, langhalbig, eingeweicht

3.2.2 Grasschnitt bzw. Landschaftspflegegrün (LPG)

Ein weiteres potentiellles Anwendungsgebiet ist Grasschnitt, s. Abbildung 3-6, wie er bei der Landschaftspflege, z.B. dem Schneiden von Autobahnböschungen anfällt. Aufgrund des höheren Verholungsgrades erwies sich das LPG in diesen Untersuchungen Gründen als ungeeignet: Es ergab sich eine eingeschränkte Kopplung an den Druckaufnehmern, s. Kap. Druck p3.3.2.5 und



Abbildung 3-6: Grasschnitt

3.2.3 Treibsel bzw. Seegras

Im regulären Projektzeitraum bis Juni 2019 stand noch kein frisches Treibsel zur Verfügung, s. Abbildung 3-7 u. Abbildung 3-8. Das Projekt wurde bis September 2019 verlängert, da hier ein großes Anwendungspotential liegt: Die Unmengen an Badestränden angetriebenen Materials könnten ebenda durch Pressen auf ca. 50% Masse gebracht und somit leichter abtransportiert werden. Das in dieser Saison geerntete Treibsel wurde zwecks Vermeidung osmotischer Effekte mit Wasser frisch gehalten, welches auf den hiesigen Salzgehalt gebracht wurde.



Abbildung 3-7:
Seegras, letzte Saison, versandet und zerrüttet



Abbildung 3-8 [2]:
Seegras, diese Saison

3.2.4 Kurzhalmige Biomassen, Eignung für Walzenpressen

Kurzhalmige Biomasse bis ca. 30mm Faserlänge, s. Abbildung 3-4, hat sich im Rahmen dieser Versuche mit nicht profilierten und nicht gelochten Walzen als ungeeignet erwiesen. Das Pressgut war insgesamt fließfähig und nicht nur der Presssaft, so dass sich in den Randzonen massive Keile bildeten, welche den Förderstrom und somit die innere Walze blockierten, s. Abbildung 3-9. In dieser Anwendung wurde nicht genügend Potential gesehen, um konstruktive Änderungen auf deren Wirksamkeit hin zu untersuchen.



Abbildung 3-9:
Blockierender Presskeil aus der Randzone

3.2.5 Langhalmige Biomassen, Vor- und Nachteile

Langhalmige Biomassen, s. Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-8, sind nicht fließfähig, jedoch durchlässig für den Presssaft und folglich für nicht profilierte nicht gelochte Walzen vorteilhaft geeignet. Diese neigen nicht zum Zusetzen und versprechen eine höhere Prozesssicherheit. Abbildung 3-10 zeigt Pressgut, welches in dem schmalen Spalt zwischen innerer Walze und seitlicher Wandung durchgezogen wurde, ohne die WP zu blockieren.



Abbildung 3-10: Im „Bypass“ gefördertes langhalmiges Pressgut

Als nachteilig hat sich lediglich die mitunter eingeschränkte Kopplung an die Druckaufnehmer, s. Kap. 3.3.2.5 herausgestellt, die für investigative Messungen von Nachteil ist, jedoch für spätere Anwendungen von untergeordneter Bedeutung sein sollte. Bei der Konstruktion wurde noch von kurzhalmigem Pressgut ausgegangen, was eine gute Kopplung versprach, sowie von potentiell enthaltenen Steinen, wovor die Druckaufnehmer unbedingt zu schützen waren.

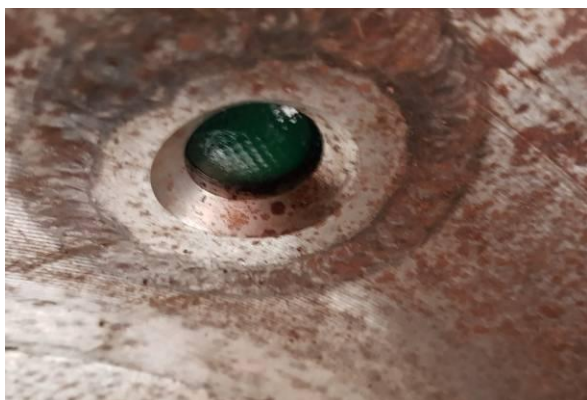


Abbildung 3-11: Membran (grün) in Senkung innen an der Außenwalze zum Schutz der Druckaufnehmer (von unten aufgenommen)



Abbildung 3-12: Gute Kopplung bei Abdruck der Senkung in relativ kurzhalmigem und unverholztem Pressgut.

Bei langhalmigem und/oder verholztem Pressgut wurden Abdrücke wie in Abbildung 3-12 nicht beobachtet. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass allein der hydrostatische Druck im Presssaft für hinreichend Kopplung sorgte. Sollten zukünftig Versuche mit langhalmigem und/oder verholztem Pressgut von Interesse sein, sollte zwecks optimierter Kopplung eine Schutzmembran weitestgehend mit der Walzenoberfläche schmiegeln, wobei eine größere Gefahr hinsichtlich der Beschädigung durch z.B. Steine besteht.

3.3 Versuchsparmeter

3.3.1 eingestellt

3.3.1.1 Spaltbreite b

S. Abbildung 3-13: Direkte Einstellung durch paarweise Montage von 12mm dicken sichelspaltförmigen Sperrholzstücken (braun, grauer Schutzlack an den Schichtseiten). Hier ist die geringste Spaltweite dargestellt, in welcher die Druckaufnehmer auch in der Randzone messen können. Unabhängig von Fertigungsabweichungen stellen sich die geprüften Werte durch die Pressdrücke immer wieder ein.

Eingestellte Werte:

$b/[mm] = 152 \mid 176 \mid 200$



Abbildung 3-13: Einstellung Spaltbreite b

3.3.1.2 Spaltdicke t

S. Abbildung 3-14: Indirekte Einstellung durch den Abstand t^* der Federzylinder 79 zu den Kolbenstangenaugen 78 über deren Gewinde. Unabhängig von Fertigungsabweichungen stellen sich die geprüften Werte durch eindeutige Eigengewichtslagen immer wieder ein. Ein „Atmen“ des Spaltes aufgrund von Überdrücken $p > 20\text{bar}$ im Pressgut wurde nicht beobachtet.

Eingestellte Werte:

$t/[mm] = 4,5 \mid 7,0 \mid 9,5 \mid 12,0$

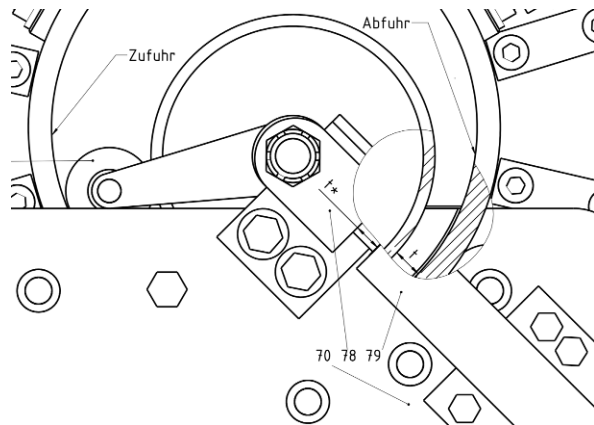


Abbildung 3-14: Einstellung Spaltdicke t

3.3.1.3 Fördergeschwindigkeit v

Der Handbetrieb des Kettenzuges wurde über eine Metronom-App von einem Smartphone aus getaktet. Geschwindigkeiten waren aufgrund der nicht bekannten Leistungsbedarfe in den einzelnen Parameterkombinationen nicht sinnvoll planbar, wurden nach Erfahrung gewählt, messtechnisch als Redundanz validiert, s. Kap. 3.3.2.1, und rechnerisch derart weiterverarbeitet, s. Kap. 3.3.3, dass die Ergebnisse vergleichbar sind.

Eingestellte Werte:

$v/[mm/s] = 1 \dots 6$ zwischen „langsam“ und „möglichst doppelt so schnell“

Aus den Quotienten (Länge Hebel **8**)/(Radius äußeren Walze **1**), s. Abbildung 3-1, ergibt sich das für den Antrieb maßgebliche Verhältnis zur Kettengeschwindigkeit $v_{Kette}/v = 4,37$. Durch den Polygoneffekt an den zwölf Hebeln ist dieses eine Annahme auf der sicheren Seite.

3.3.2 gemessen

3.3.2.1 Fördergeschwindigkeit v

S. Abbildung 3-15: Der unten dargestellte gelbe Kasten enthält eine Lichtschranke, die Durchgänge der mit reflektierendem Klebeband versehenen Hebel detektierte.

Die relativen Messabweichungen waren vernachlässigbar, da im Pressspalt eine maximale Fördergeschwindigkeit von $v_{max} = 6mm/s$ erreicht wurde, was einer Lichtschrankenauslösung in 17s entspricht.

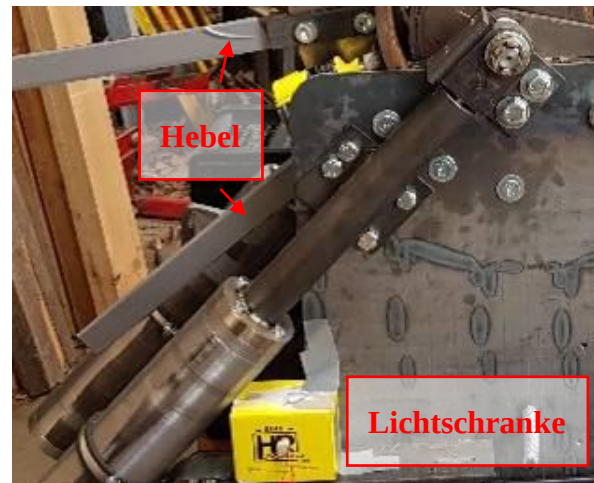


Abbildung 3-15: Lichtschranke zur Messung der Fördergeschwindigkeit v

3.3.2.2 Massen m

Die in Abbildung 3-2 dargestellten Kisten für das Pressgut und Eimer für den Presssaft wurden als Wägebälter an einer digitalen Kofferwaage mit einer Messgenauigkeit von 10g verwendet. Die Biomasse vor und nach dem Pressen gewogen, so dass sich mit dem Presssaftgewicht eine Redundanz ergab.

Die relativen Messabweichungen betrugen bei gewogenen Mindestmassen $m_{min} = 2kg$ maximal 0,5%. Die durchschnittliche Abweichung der Massenbilanzen betrug 0,3%, was insbesondere durch Verlust von Pressgut bei der Zu- und Abfuhr erklärbar ist.

3.3.2.3 Trockensubstanzgehalt TS

Vor und nach jedem Versuch wurde jeweils eine Probe der Biomasse genommen. Der TS -Gehalt einer Probe wird ermittelt, in dem diese vor und nach dem Trocknen in einem speziellen Trockenschrank gewogen werden. Die Masse der Proben betrug durchschnittlich 100g und wurde je zwei Male auf 0,01g genau bestimmt.

Die relative Messabweichung beträgt 0,02%.

Deutlich größere Abweichungen ergeben sich aus der inhomogenen Zusammensetzung des Pressgutes selbst. Ferner ist abzuwägen, wie groß die „Stichproben“ aus dem Pressgut sinnvoll zu wählen sind: 100g von mindestens 2kg, s. Kap. 3.3.2.2, entsprechen 5% - sind die im gleichen Maße abgetropft wie die Gesamtprobe?

Abbildung 3-16 zeigt eine Tabelle mit Ergebnissen von Grundgesamtheiten n und Mittelwerten μ sowie Standardabweichungen σ von m TS -Gehaltmessungen, s. Kap. 3.3.2.3 vor und nach den Pressversuchen. Grassilage (GRS, s. Abbildung 3-5), Grasschnitt (LPG, s. Abbildung 3-6) und Treibsel (TRS, s. Abbildung 3-8) sowie einem über n gewichteten Mittel ϕ .

Pressgut	n	$\mu_{TS, vor}$	$\mu_{TS, nach}$	$\sigma_{TS, vor}$	$\sigma_{TS, nach}$	$(\sigma/\mu)_{TS, vor}$	$(\sigma/\mu)_{TS, nach}$
GRS	24	19,2%	38,7%	5,95%	7,89%	31,0%	20,4%
LPG	6	19,4%	35,4%	5,05%	4,27%	26,0%	12,1%
TRS	4	12,6%	22,0%	2,56%	2,51%	20,2%	11,4%
n -gew. ϕ		18,4%	36,2%	5,39%	6,62%	28,9%	17,9%

Abbildung 3-16:

Ergebnisse TS -Gehaltmessung hinsichtlich Anwendung auf zukünftige Messungen

Den Quotienten $(\sigma/\mu)_{TS, vor} > (\sigma/\mu)_{TS, nach}$ kann entnommen werden, dass TS -Messungen vor dem Pressen deutlich größere Abweichungen aufweisen. Das Aufwand/Nutzen-Verhältnis ist für zukünftige Untersuchungen zu hinterfragen – in diesem Projekt konnte jedoch eine bessere Vergleichbarkeit zwischen älteren Untersuchungen [1] hergestellt werden, s. Kap. 2. Weitere Verwendung findet TS_{vor} hier nicht.

Ebenfalls in Kap. 3.3.2.3 wurde der Wert der TS -Messungen nach dem Pressen deutlich: Je höher dieser ist, desto geringer ist der Energieaufwand zum Trocknen hinsichtlich der Weiterverarbeitung zu Brennstoff.

TS_{nach} wird i.F. als TS verwendet.

Die in diesem Vorhaben erreichten Werte $TS < 40\%$ sind noch ausbaufähig, s. Abbildung 2-4 sowie [4] und [5]: Es wurden mit $SPn - TS = 45\% \dots 55\%$ erreicht, die auch mit WPn erreichbar sein sollten.

3.3.2.4 Antriebskraft F

Die in Abbildung 3-2 oben links blau dargestellte digitale Kranwaage mit einer Anzeigegenauigkeit von 100g diente dem Messen der Kettenzugkraft.

Die relativen Messabweichungen betrugen ca. 30%. Dieser Wert resultiert aus

1. dem Polygoneffekt, der sich durch die zwölf Hebel einstellt, an denen die Kette geführt war, und
2. Diskontinuitäten im Handbetrieb
 - a) Sowohl beim Antrieb
 - b) als auch in der manuellen Zufuhr des Pressgutes.

Dieser sehr hohe Wert

- ist erklärbar durch die in Kap. 1 begründete akute Zeitnot (ursprünglich waren ein kontinuierlicher elektrischer Antrieb mit Messwertaufnahme vorgesehen sowie ein Zuteiler **13**, s. Abbildung 1-1, für gleichmäßige Materialzufuhr),
- lässt genauere Abweichungsrechnungen obsolet erscheinen und
- stellt nicht das in Kap. 1 vorweggenommene Gesamtergebnis in Frage dass WPn nur etwa 5% des Leistungsbedarfes von SPn haben.

3.3.2.5 Druck p

S. Abbildung 3-17: Es wurden insgesamt zwölf Druckaufnehmer **3** vom Typ VEGABAR 82 in Halterungen **2** verschraubt, die in zwei Helices in der äußeren Walze **1** verschweißt wurden. Zum Schutz der empfindlichen Keramikmembran wurden medienseitig eine Senkung in die Halterung eingebracht und eine Kopplungskammer **4** durch eine Membran und einen O-Ring **6** gebildet, s. Abbildung 3-11. Die Kopplungskammer **4** wurde mit Öl gefüllt und zwecks blasenfreien Befüllens eine Vakuumpumpe angeschafft.

Der Messbereich ist $p/[\text{bar}] = 0 \dots 25$.

Die relativen Messabweichungen der Aufnehmer werden mit 0,2% angegeben [6].

In zwei Versuchen wurden Drücke $25 < p/[\text{bar}] < 30$ gemessen, die zu einem leichten Übersteuern der Aufnehmer führten.

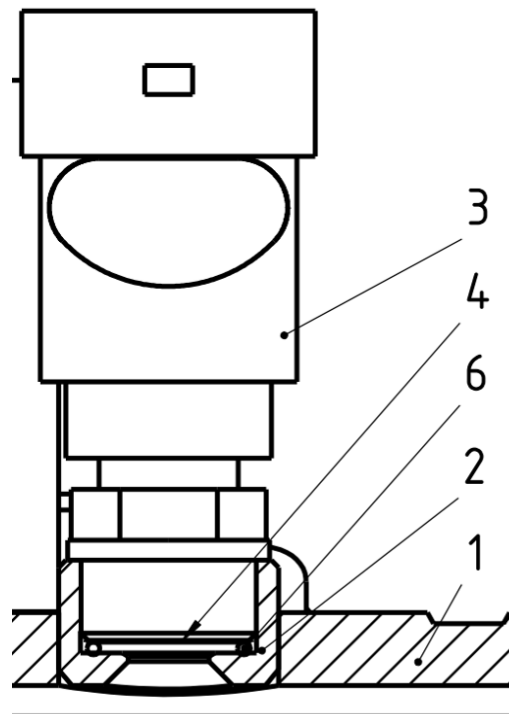


Abbildung 3-17: Kopplung Druckaufnehmer

Abbildung 3-18 zeigt die über einen Versuch gemessenen Druckberge $p(\varphi, x)$.
Anmerkung: Aufgrund eines Fertigungsfehlers sind die Helices unterbrochenen, jedoch werden die Druckberge ununterbrochen gemessen.

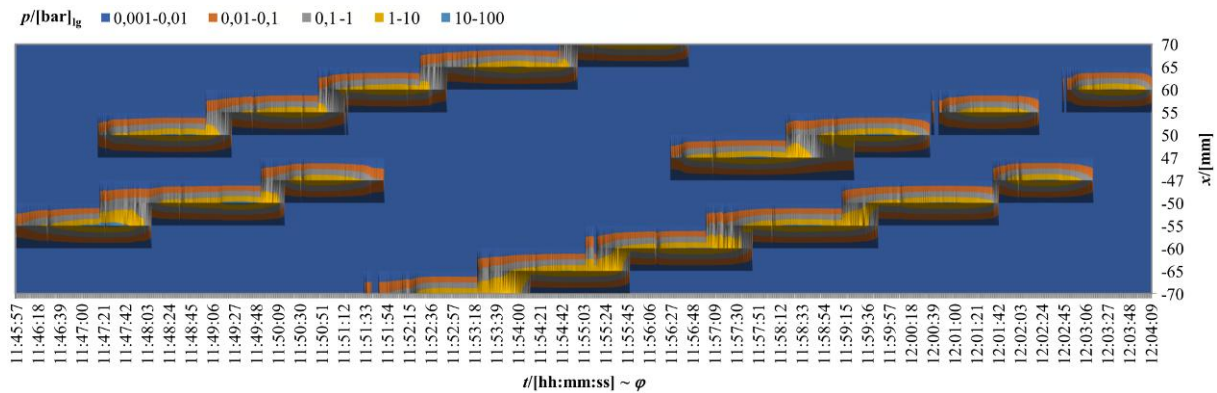


Abbildung 3-18: Ergebnis Druckmessung „an der abgewickelten äußeren Walze während eines Versuches

Aus diesen qualitativ gleichen und phasenversetzten Druckbergen kann ein Druckgebirge wie in Abbildung 2-1 dargestellt abgeleitet werden.

Durch die logarithmische Skalierung ergibt sich eine Scheingleichmäßigkeit: Gelbe Gipfel ($p[\text{bar}] = 1 \dots 10$) gegenüber blauen ($p[\text{bar}] = 10 \dots 100$) bedeuten Messwerte, die um einen Faktor ca. 10 kleiner sind. Gründe hierzu können sein

- Langhalmigkeit und/oder Verholzung sein, s. Kap. 3.2.5,
- behebbare Undichtigkeiten an der Kopplungskammer 4, s. Abbildung 3-17 und
- ungleichmäßige Beschickung (kann als einziges Erhöhungen verursachen)

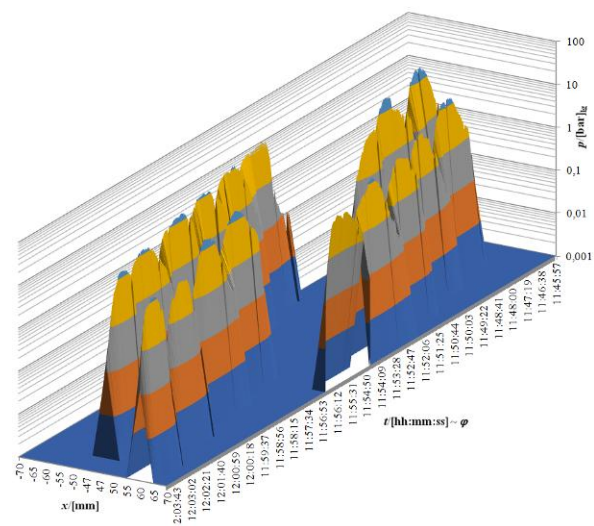


Abbildung 3-19:
Abbildung 3-18 perspektivisch

Die tatsächlichen relativen Messabweichungen können folglich über 90% tendenziell nach unten gehen – die höheren Werte sind folglich maßgeblich. Daher wurden die an den $i = 1 \dots 12$ Aufnehmern gemessenen Drücke gewichtet gemittelt mit

$$p_{\max} = (\sum p_{\max, i}^6 / \sum p_{\max, i})^{1/5}.$$

Somit kann von Abweichung in der Größenordnung 10% ausgegangen werden, die bei der mechanischen Dimensionierung von Walzenpressen zu berücksichtigen, aber für die Bestimmung der Leistungsaufnahme irrelevant sind.

3.3.2.6 Versuchsdauer $mm:ss$

Aus Abbildung 3-18 kann die Versuchsdauer sekundengenau ermittelt werden. Somit ergibt sich eine weitere redundante Möglichkeit zu Kap. 3.3.1.2 und 3.3.2.1, die Fördergeschwindigkeit v zu bestimmen.

Die maximale relative Messabweichung ergab sich aus der kürzesten Versuchsdauer zu maximal $1s/73s = 1,4\%$.

3.3.3 errechnet

3.3.3.1 Massenstrom Q

Für den Quotienten aus Masse pro Versuchsdauer gilt:

$$Q = m/mm:ss.$$

Die relativen Messabweichungen für die Masse m von max. 0,5%, s. Kap. 3.3.2.2 und der Versuchsdauer $mm:ss$, s. Kap. 3.3.2.6 von max. 1,4% ergeben zusammen im unwahrscheinlichen ungünstigsten Fall maximal

$$[(0,5\%+1) \cdot (1,4\%+1)] - 1 = 1,9\%.$$

Bei mittleren Massen und Versuchsdauern sind die Abweichungen vernachlässigbar.

3.3.3.2 Antriebsleistung P

Für das Produkt aus Kettenkraft und –geschwindigkeit gilt:

$$P = F \cdot v_{Kette}.$$

Die relativen Messabweichungen für die Antriebskraft F von ca. 30%, s. Kap. 3.3.2.4 und der Kettengeschwindigkeit v_{Kette} , s. Kap. 3.3.1.3 und 3.3.2.1 von max. 1,4% ergeben zusammen ca. 30%.

3.4 Verwertbare Versuche

3.4.1 verwertbares Pressgut

Abbildung 3-20 zeigt – wie Abbildung 3-16 - die Tabelle mit den Ergebnissen aus der TS-Gehaltmessung

Pressgut	n	$\mu_{TS, \text{vor}}$	$\mu_{TS, \text{nach}}$	$(\mu_{\text{nach}} / \mu_{\text{vor}})_{TS}$	$\sigma_{TS, \text{vor}}$	$\sigma_{TS, \text{nach}}$
GRS	24	19,2%	38,7%	202%	5,95%	7,89%
LPG	6	19,4%	35,4%	183%	5,05%	4,27%
TRS	4	12,6%	22,0%	174%	2,56%	2,51%
n -gew. $\emptyset$		18,4%	36,2%	195%	5,39%	6,62%

Abbildung 3-20: Ergebnisse TS-Gehaltmessung hinsichtlich Verwertbarkeit der durchgeführten Messungen

Anmerkungen

- zur Grundgesamtheit n :
 - Bei der Grassilage (GRS, s. Abbildung 3-5) als einziges Pressgut sind mit $n = 24$ hinreichend viele Versuche für weiterführende Untersuchungen auswertbar, s. Kap. 4.4.
 - Mit Grasschnitt (LPG, s. Abbildung 3-6) wurde nach $n = 6$ keine weiteren Versuche mehr gefahren, da die Langhalmigkeit und/oder Verholzung die Kopplung der Druckaufnehmer zu sehr beeinträchtigt hat, s. Kap. 3.3.2.5. Dennoch handelt es sich um ein Pressgut, welches zukünftig mit WPn lohnend zu entwässern ist.
 - Frisches Treibsel (TRS, s. Abbildung 3-8) als vielversprechende Anwendung war der Grund, das Projekt bis Ende September zu verlängern. Bedauerlicherweise sind nach zwei Monaten Stillstand der WP die ersten acht Versuche unbrauchbar gewesen, so dass nur $n = 4$ übrig blieben. Grund war, s. Abbildung 3-17, dass sich die O-Ringe **6** nicht mit dem Öl in der Kopplungskammer **4** vertrugen, so dass diese undicht wurden und alle Druckaufnehmer **3** neu gekoppelt werden mussten.

- zum Mittelwert μ :
 - $(\mu_{nach}/\mu_{vor})_{TS, GRS} = 202\%$ ist der Höchstwert – anders gesagt:
„Aus Grassilage kann richtig viel rausgeholt werden“.
 - Die $\mu_{TS, LPG}$ -Werte sind durchweg unterdurchschnittlich, was im Widerspruch zu früheren Ergebnissen [3] steht, s. Abbildung 2-4 und der niedrigen Grundgesamtheit gezollt sein kann. Für spätere Anwendungen müsste eine WP ggf. samt Druckaufnahme entsprechend anders gestaltet sein.
 - $\mu_{vor, TS, TRS} = 12,5\%$ ist der Mindestwert – anders gesagt:
„In Treibsel steckt das größte Entwässerungspotential“,
 $(\mu_{nach}/\mu_{vor})_{TS, GRS} = 174\%$ zeigt allerdings, dass
„bei weitem noch nicht alles rausgeholt wurde“
und WPn für diese Anwendung auf höhere Drücke ausgelegt werden müssten.
- zur Standardabweichung σ :
 - Die hohen Werte $(\sigma_{nach} \text{ und } \sigma_{vor})_{TS, GRS}$ sind durch die $n = 24$ Parametervariationen erklärbar.
 - Die relativ hohen Werte $(\sigma_{nach} \text{ und } \sigma_{vor})_{TS, LPG}$ sind durch die mit $n = 6$ kleine Grundgesamtheit erklärbar.
 - Auch $(\sigma_{nach} \text{ und } \sigma_{vor})_{TS, TRS}$ sind trotz der mit $n = 4$ kleinsten Grundgesamtheit Mindestwerte, was auf im Rahmen dieser Untersuchungen sehr konstante Materialeigenschaften schließen lässt.
Bei weiteren Versuchen sollten mit höheren Pressdrücken höhere TS-Gehalte erzielbar sein.

3.4.2 nicht verwertbares Pressgut

In Kap. 3.2.3 wurde erläutert, dass die WP mit kurzhalbigem Pressgut nicht betreibbar war. Ferner ist versandetes Treibsel aus der Vorsaison, s. Abbildung 3-7, zwar prozessierbar, konnte aber im Rahmen dieser Untersuchungen nicht bewertet werden. Gründe hierfür sind:

- Wartungsintensiver Betrieb der WP aufgrund häufig notwendiger Entsandungen,
- aus Verstopfungen folgende Ungenauigkeiten in der Flüssigkeitsbilanz sowie
- erheblicher Mehraufwand mit zusätzlichen Unsicherheiten bei der TS-Gehalt-Bestimmung durch zusätzliches Ausglühen der Proben

4 Ergebnisse

4.1 Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt TS

Die an der Walzenpresse (WP) mit Grassilage (GRS), s. Abbildung 3-5, und Grasschnitt (LPG), s. Abbildung 3-6, durchgeführten Versuche ermöglichen direkte Vergleiche mit den in Abbildung 2-4 dargestellten Ergebnissen aus dem Betrieb einer Schneckenpresse (SP).

Zunächst wurde direkt die Leistungsaufnahme über dem Trockensubstanz-(TS-)Gehalt aufgetragen, s. Abbildung 4-1:

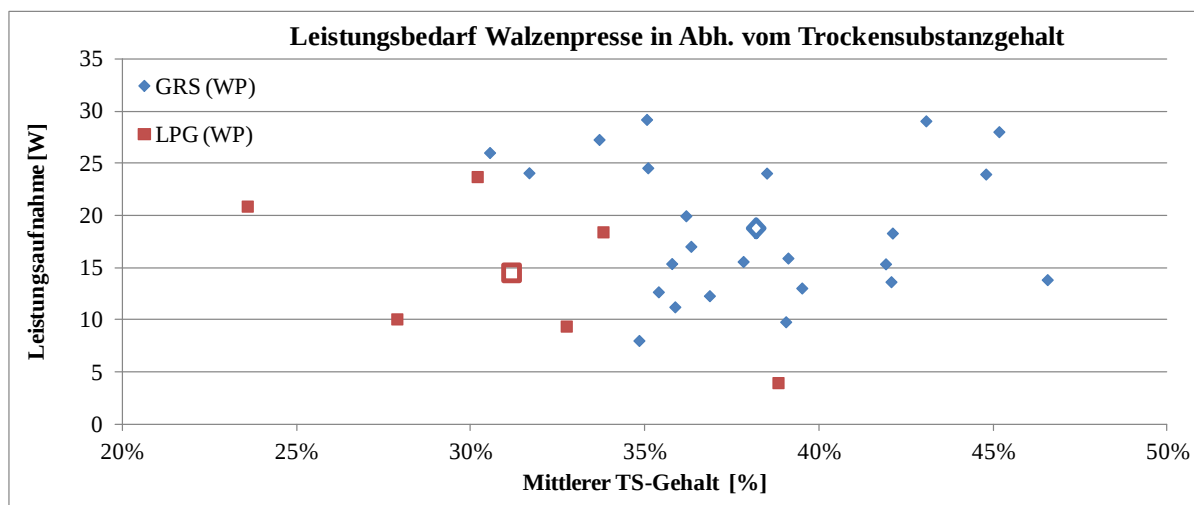


Abbildung 4-1: Leistungsbedarf des WP-Versuchsstandes in Abhängigkeit vom TS-Gehalt der Biomasse (hier GRS und LPG)

Abbildung 4-1 wurde zwecks Vergleichbarkeit analog zu Abbildung 2-4 erstellt (Dort wurde die Bezeichnung Entwässerungsgrad in Trockensubstanzgehalt umdefiniert). Folgende Unterschiede sind anzumerken:

1. Die dargestellten Messwerte streuen stärker, da mehr Versuchsparameter variiert wurden.
2. Somit machte es keinen Sinn, Trendlinien einzutragen – stattdessen wurden zu späteren Vergleichen die jeweiligen „Schwerpunkte“ der Messwerte groß markiert.
3. Die Einheit der Ordinatenkalierung ist Watt und nicht Kilowatt aufgrund des geringen Leistungsbedarfes einer WP.

Der geringere Leistungsbedarf von WPn gegenüber SPn ist dadurch erklärbar, dass das Pressgut in WPn ohne Verrichten von Walkarbeit verdichtet wird.

Für die Herstellung der Vergleichbarkeit wurden die je nach Versuch individuellen Leistungsaufnahmen der WP über Dreisatz auf den Volumenstrom Q der SP hochgerechnet. Abbildung 4-2 zeigt die nun vergleichbaren Werte in einem Diagramm:

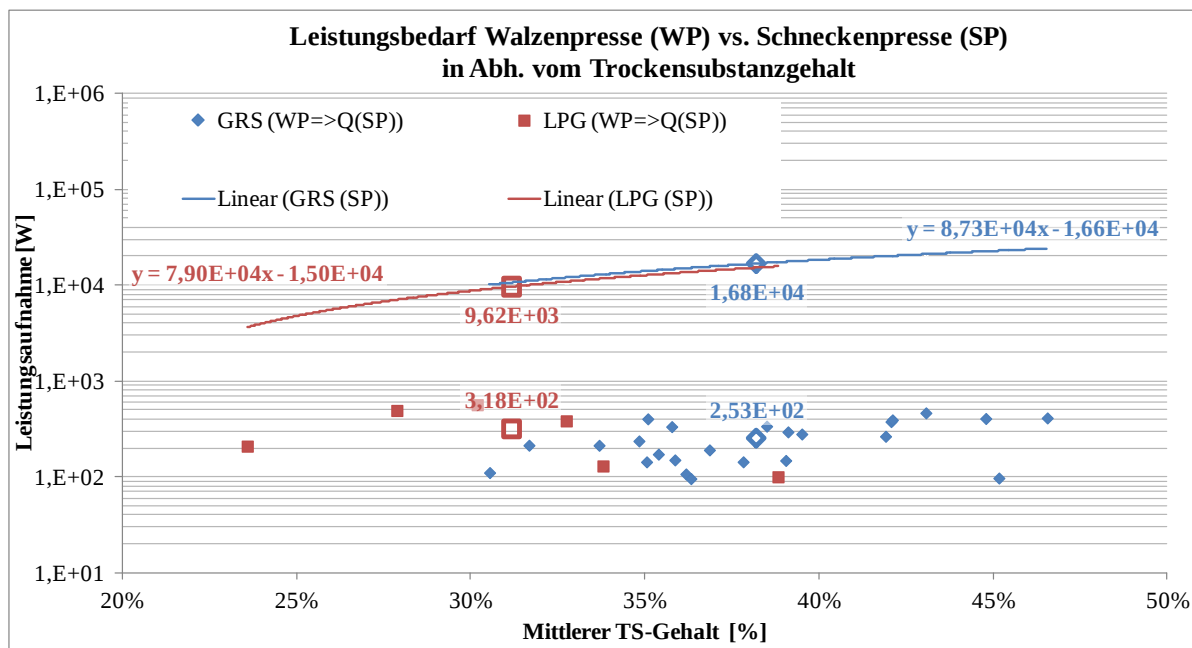


Abbildung 4-2: Vergleich der Leistungsbedarfe von SP und WP in Abhängigkeit vom TS-Gehalt der Biomasse (hier GRS und LPG)

Folgendes ist anzumerken:

1. Aufgrund der erheblich unterschiedlichen Leistungsbedarfe wurde die Ordinate logarithmisch (in Watt) skaliert.
2. Die oben dargestellten linearen SP-Trendlinien folgen den in Kap. 2 anhand von Abbildung 2-4 und eigenen TS-Messungen hergeleiteten Funktionen.
3. Die unten dargestellten WP-Messwerte streuen aufgrund der individuellen Massenstromanpassungen in anderer Weise, ferner durch die logarithmische Skalierung.
4. Analog zu den in Abbildung 4-1 eingetragenen „Schwerpunkten“ der WP-Messwerte von GRS und LPG wurden diese auch bei gleichen TS-Gehalten in den SP-Trendlinien hervorgehoben.

Die Messwerte und Trendlinien markierten Punkte lassen eine direkte Vergleichbarkeit der Leistungsaufnahmen bzw. energiebezogenen Massendurchsatz, s. Kap. 2, zu:

1. $P_{\text{GRS}}(\text{TS}, \text{WP}) / P_{\text{GRS}}(\text{TS}, \text{SP}) = 2,53 \cdot 10^2 / 1,68 \cdot 10^4 = 1,51\%$,
also ca. $1,1 \cdot 10^0 \text{ g/J}$ für Grassilage und
2. $P_{\text{LPG}}(\text{TS}, \text{WP}) / P_{\text{LPG}}(\text{TS}, \text{SP}) = 3,18 \cdot 10^2 / 9,62 \cdot 10^3 = 3,30\%$,
also ca. $2,3 \cdot 10^{-1} \text{ g/J}$ für Landschaftspflegegrün

Unter Berücksichtigung aller Messungenauigkeiten und zusätzlicher Verluste z.B. in Triebsträngen von Walzenpressen kann davon ausgegangen sein, dass diese bei gleichen Entwässerungsleistungen nur etwa 5% der Leistungsaufnahme von Schneckenpressen haben.

4.2 Druckverteilung

4.2.1 $p(x)$

Das Ziel, eine Druckverteilung in x -Richtung zu ermitteln, wurde aufgrund zu großer Messwertabweichungen nicht erreicht, s. Kap. 3.3.2.5. So sollten Druckabfälle in den Randzonen quantifiziert werden, um diese ggf. durch große Walzenlängen vernachlässigbar werden zu lassen. Große Walzenlängen sind allerdings nicht nur strukturmechanisch anspruchsvoll: Ein Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass diese ungünstige Leistungswerte verursachen, s. Kap. 4.4.2.1.

Folglich macht zurzeit eine mathematische Beschreibung z.B. durch ein symmetrisches Polynom

$$p(x) = -a_8 \cdot x^8 + a_6 \cdot x^6 - a_4 \cdot x^4 + a_2 \cdot x^2 + p_{\max}$$

noch keinen Sinn, s. Abbildung 4-3 rot markiert.

Eine mathematische Beschreibung $p(\varphi)$ ist nicht erforderlich, s. Abbildung 4-4: Die eingetragenen Informationen sind bereits zum Konstruieren hilfreich.

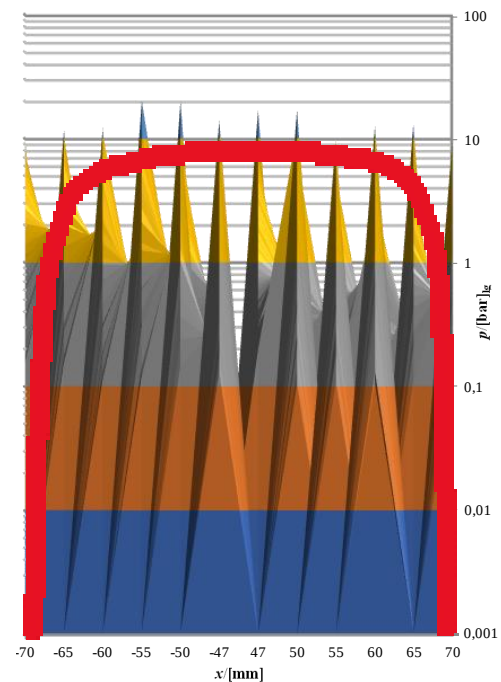


Abbildung 4-3: Abbildung 3-18 in φ -Richtung gesehen

4.2.2 $p(\varphi)$

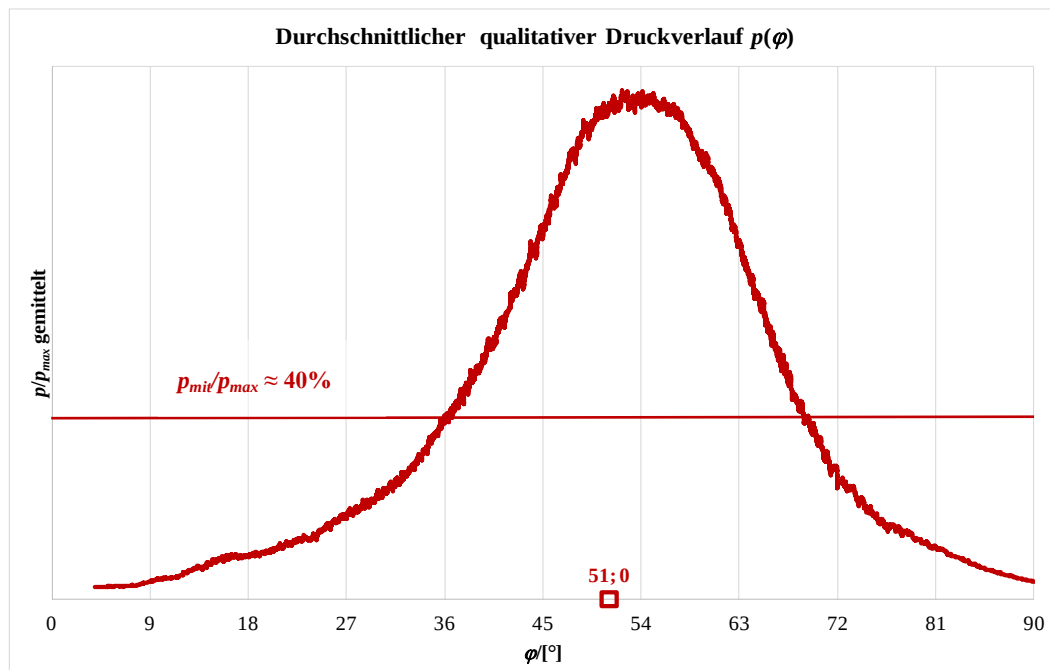


Abbildung 4-4: Mittlerer Druckverlauf in φ -Richtung mit Mittelwert und Schwerpunktslage

4.3 Entwässerungsgrade

Die beiden i.F. definierten Kennwerte weisen im Aufwand bei der jeweiligen Ermittlung erhebliche Unterschiede auf, führen aber zu sehr ähnlichen Ergebnissen: Sie werden nur wenig von den in Kap. 3.3 aufgeführten Versuchsparametern beeinflusst.

4.3.1 Definitionen

Abbildung 4-5 zeigt, wie die prozessierte Gesamtmasse vor dem Pressen

$$m_{ges} = m_{vor} = m_{fs} + m_{fl},$$

bestehend aus festen m_{fs} und flüssigen m_{fl} Bestandteilen, sich im Spalt der WP aufteilt:

Die feste Masse m_{fs} wird gänzlich auf der anderen Seite entnommen, während sich flüssige Masse

$$m_{fl} = m_{fl1} + m_{fl2}$$

sich im Spalt der WP aufteilt in

1. Pressaft m_{fl1} und
2. Feuchtegehalt

$$m_{fl2} = m_{nach} - m_{fs},$$

der zusammen mit der festen m_{fs} die Masse nach dem Pressen m_{fs} ergibt.

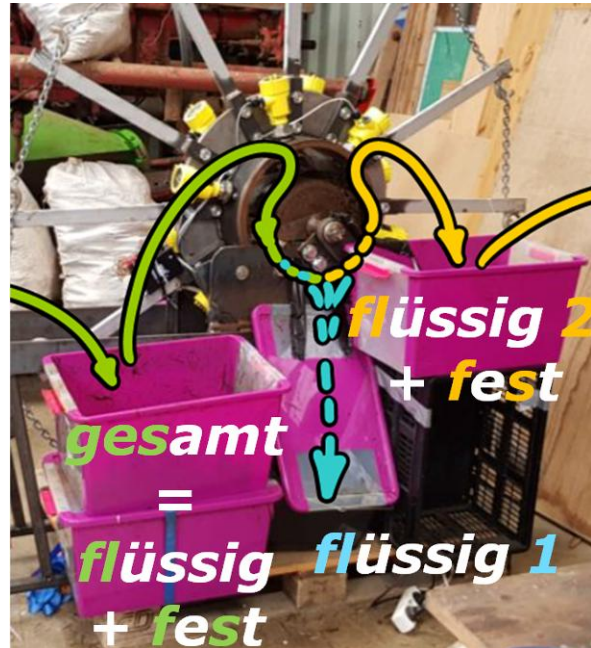


Abbildung 4-5: Ströme der festen und flüssigen Massenbestandteile in der WP

Die Ermittlung der einzelnen Massen geschieht durch

- Wiegen, s. Kap. 3.3.2.2:
 - m_{vor}
 - m_{fl1}
 - m_{nach}
- Errechnen aus dem TS -Gehalt, s. Kap. 4.3.3:
 - $m_{fs} = m_{vor} \cdot TS_{vor} = m_{nach} \cdot TS_{nach}$
 - $m_{fl2} = m_{nach} - m_{fs} = m_{nach}(1 - TS_{nach})$

4.3.2 aus der Massenbilanz η_m

Sehr einfach zu ermitteln ist der Quotient aus den beiden gemessenen Größen:

$$\eta_m = m_{fl\ 1}/m_{ges}$$

Er sagt aus, wie viele flüssige Gewichtsanteile (in Prozent) das Pressgut verliert und somit z.B., wie einfach die festen Bestandteile abzutransportieren sind.

Die annähernd konstanten Entwässerungsgrade η_m ergaben

- $\mu_{\eta, m, GRS} = 55,1\%$ als Mittelwert,
- $\sigma_{\eta, m, GRS} = 5,4\%$ als Standardabweichung und
- $(\sigma/\mu)_{\eta, m, GRS} = 9,8\%$ als Quotienten

4.3.3 aus der Trockensubstanzgehaltmessung η_{TS}

Zusätzlich zu den gewogenen Werten wird der TS-Gehalt nach dem Versuch benötigt:

$$\eta_m = m_{fl\ 1}/m_{fl} = m_{fl\ 1}/[m_{fl\ 1} + m_{nach}(1-TS)]$$

Er sagt aus, wie viel Gewichtsanteile (in Prozent) des tatsächlichen Flüssigkeitsgehaltes ausgepresst wurden.

Die annähernd konstanten Entwässerungsgrade η_{TS} ergaben

- $\mu_{\eta, TS, GRS} = 66,6\%$ als Mittelwert,
- $\sigma_{\eta, TS, GRS} = 5,7\%$ als Standardabweichung und
- $(\sigma/\mu)_{\eta, TS, GRS} = 8,6\%$ als Quotienten

4.3.4 Vergleich

η_{TS} gibt nur einen geringfügig kleineren Quotienten $(\sigma/\mu)_{\eta, TS, GRS} < (\sigma/\mu)_{\eta, m, GRS}$ als der deutlich einfacher zu ermittelnde η_m . Insofern kann davon ausgegangen werden, dass dieser auch bei Studien keine dem Aufwand angemessene höhere Aussagekraft hat, in denen sich Signifikanzen bei Variationen der Versuchsparameter zeigen.

4.4 Der biomassmax-Kennwert bmm

4.4.1 Definition

Als aussagekräftige Einzelkennwerte wurden im Rahmen der Untersuchungen identifiziert:

1. Q/P , also der Massenstrom pro Leistung bzw. der energiebezogenen Massendurchsatz, s. Kap. 2 und 4.1,
2. TS , der Trockensubstanzgehalt nach dem Pressen, s. Kap. 3.3.2.3, und
3. η_m , der Entwässerungsgrad aus der Massenbilanz, s. Kap. 4.3.2.

Allen Kennwerten ist gemeinsam, dass hohe Werte günstig sind und niedrige ungünstig.

Die beiden dimensionslosen Kennwerte können je nach Anwendung gewichtet werden mit

- $g_{TS} > 1$, wenn z.B. Festbrennstoffe erzeugt werden sollen, oder
- $g_{\eta_m} > 1$, wenn z.B. geringe feste Massen transportiert werden sollen, sowie
- $g_{TS} \cdot g_{\eta_m} \equiv 1$

Somit können die einzelnen durch Potenzieren gewichteten Kennwerte als Produkt zum biomassmax-Kennwert zusammengefasst werden:

$$bmm/[g/J] = (Q/[g/s])/(P/[W]) \cdot TS^{1/g_{TS}} \cdot \eta_m^{1/g_{\eta_m}}$$

Hinweis: In den Exponenten müssen die Reziproken der Gewichtungen stehen, da für

- $TS \leq 100\%$ und
- $\eta_m \leq 100\%$

gilt und somit die Kennwerte wie gewünscht verstärkt oder abgeschwächt werden.

4.4.2 Einflüsse der Versuchsparemeter

Die für die Parameterstudie verwendeten bmm -Werte wurden alle errechnet

- mit $g_{TS} = g_{\eta_m} = 1$, also gleicher Gewichtung, und
- ausschließlich für Grassilage (GRS).

In den folgenden Diagrammen werden der bmm -Wert und der Entwässerungsgrad η_m aufgezeigt. Die linearen Tendenzen sind durch Geradengleichungen der Form

$$y = a \cdot x + b$$

beschrieben, wobei die Steigung a das Maß für die Signifikanz des Parameters x ist. In nahezu allen Vergleichen weist der bmm -Wert eine stärkere Signifikanz $|a_{bmm}| > |a_{\eta_m}|$ auf und eine gegenläufige(!) Tendenz $\text{sgn}(a_{bmm}) = -\text{sgn}(a_{\eta_m})$, was darauf schließen lässt, dass mindestens ein anderer Faktor des bmm -Wertes deutlich mächtiger ist.

4.4.2.1 Spaltbreite b

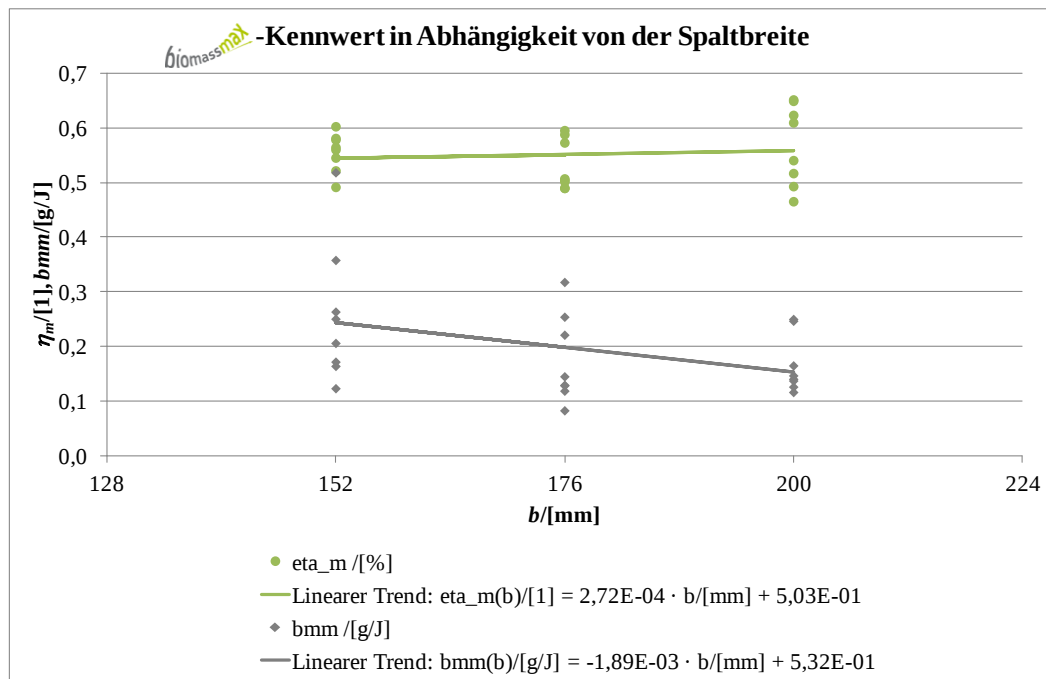


Abbildung 4-6: Kleine Spaltbreiten b sind günstig für den bmm -Wert.

Möglicher Grund: Geringerer hydraulischer Widerstand für den Presssaft zu den Seiten hin.

4.4.2.2 Spaltdicke t

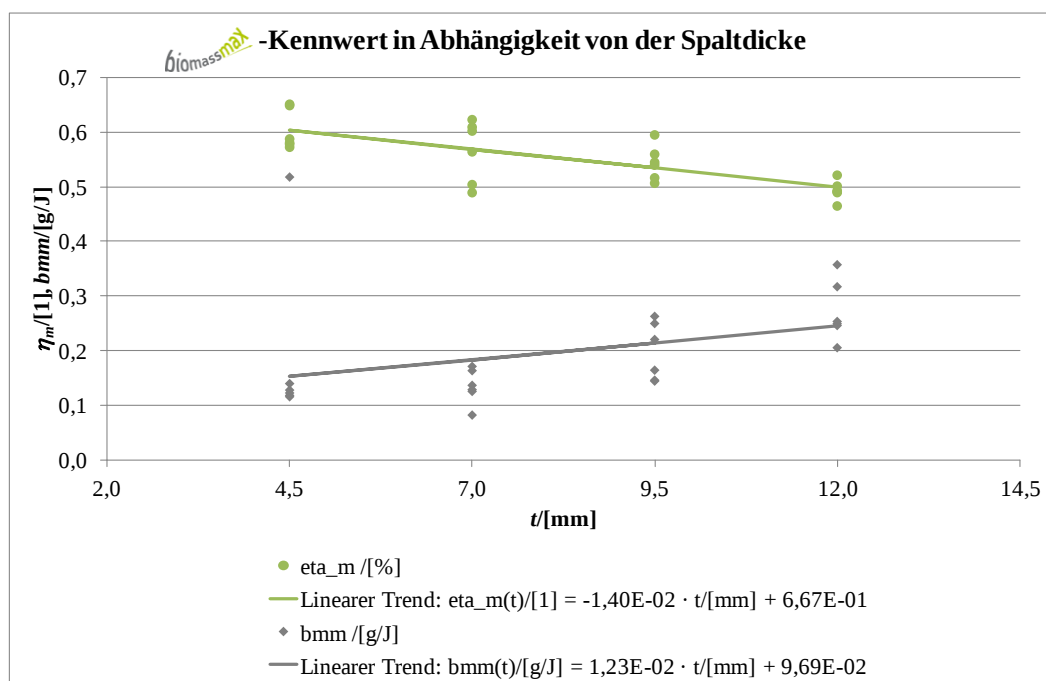


Abbildung 4-7: Große Spaltdicken t sind günstig für den bmm -Wert.

Mögliche Gründe: Größerer Massendurchsatz und geringerer hydraulischer Widerstand für den Presssaft im Rückfluss.

4.4.2.3 Fördergeschwindigkeit v

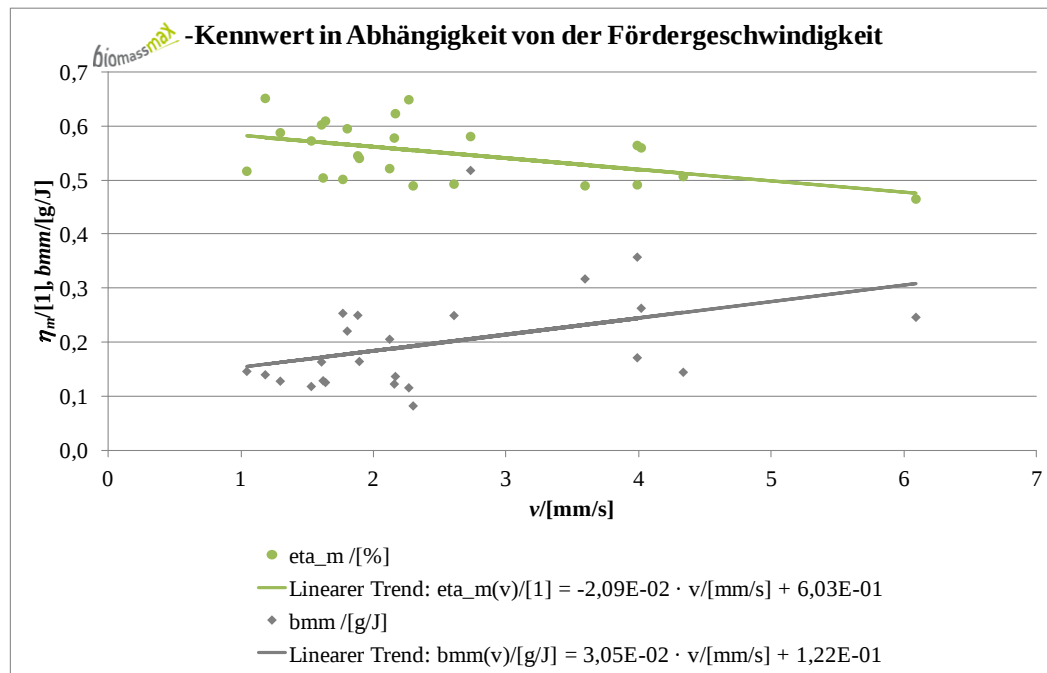


Abbildung 4-8: Große Fördergeschwindigkeit v sind günstig für den bmm -Wert.
Möglicher Grund: Größerer Massendurchsatz.

4.4.2.4 Druck p

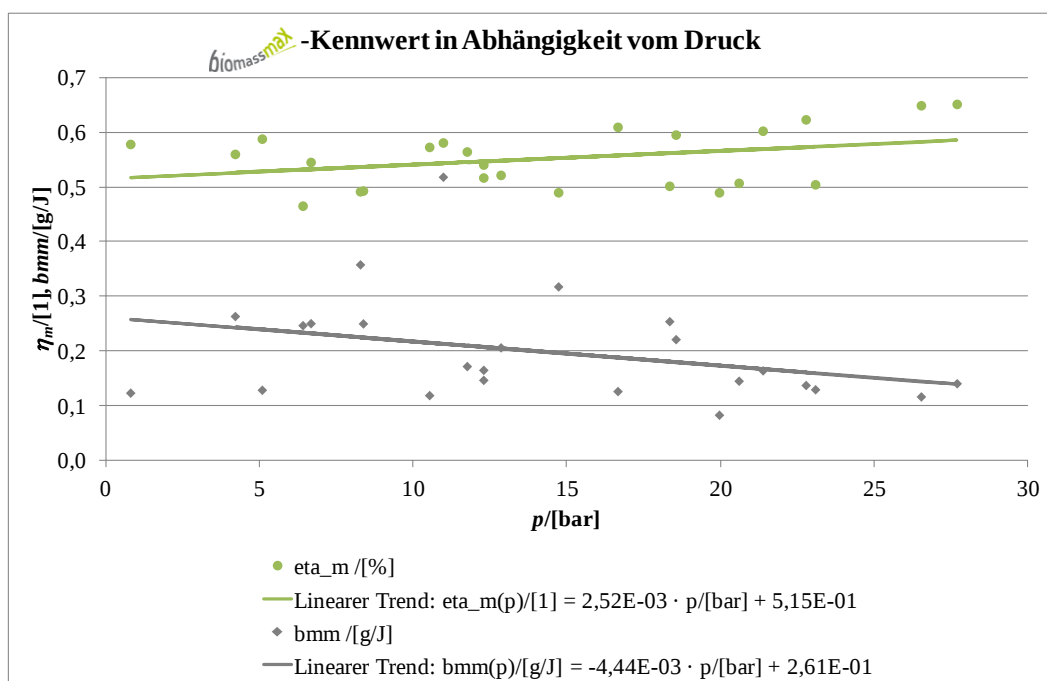


Abbildung 4-9: Kleine Drücke p sind günstig für den bmm -Wert.
Möglicher Grund: Mit dem Druck steigen die Geschwindigkeit v und der hydraulische Widerstand quadratisch an.

4.4.2.5 Massenstrom Q

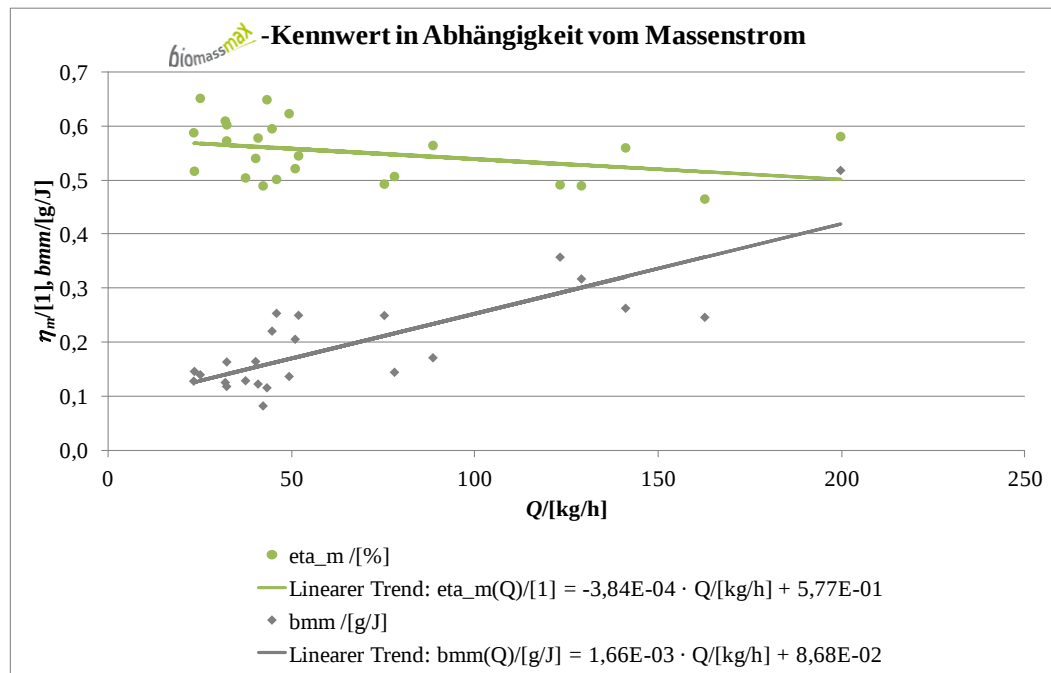


Abbildung 4-10: Lt. Definition gilt $bmm \sim Q$, aber $a_{bmm, Q} = 1,66 \cdot 10^{-3} \ll 1$, folglich hat der Massenstrom Q einen geringen Einfluss auf den bmm -Wert.

4.4.2.6 Antriebsleistung P

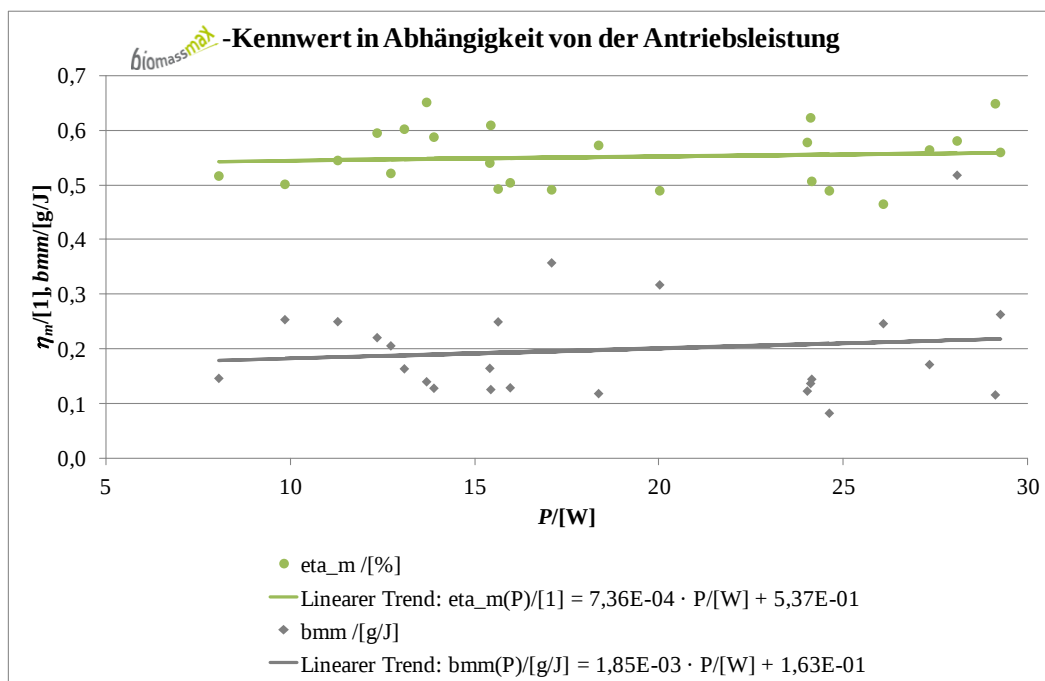


Abbildung 4-11: Lt. Definition gilt $bmm \sim 1/P$, aber $a_{bmm, P} = 1,85 \cdot 10^{-3} \gg -1$, folglich hat die Antriebsleistung P einen großen Einfluss auf den bmm -Wert.
Hinweis: Der Schein der Steigung trügt auf den ersten Blick, auch in Abbildung 4-10!

4.4.2.7 Trockensubstanzgehalt TS

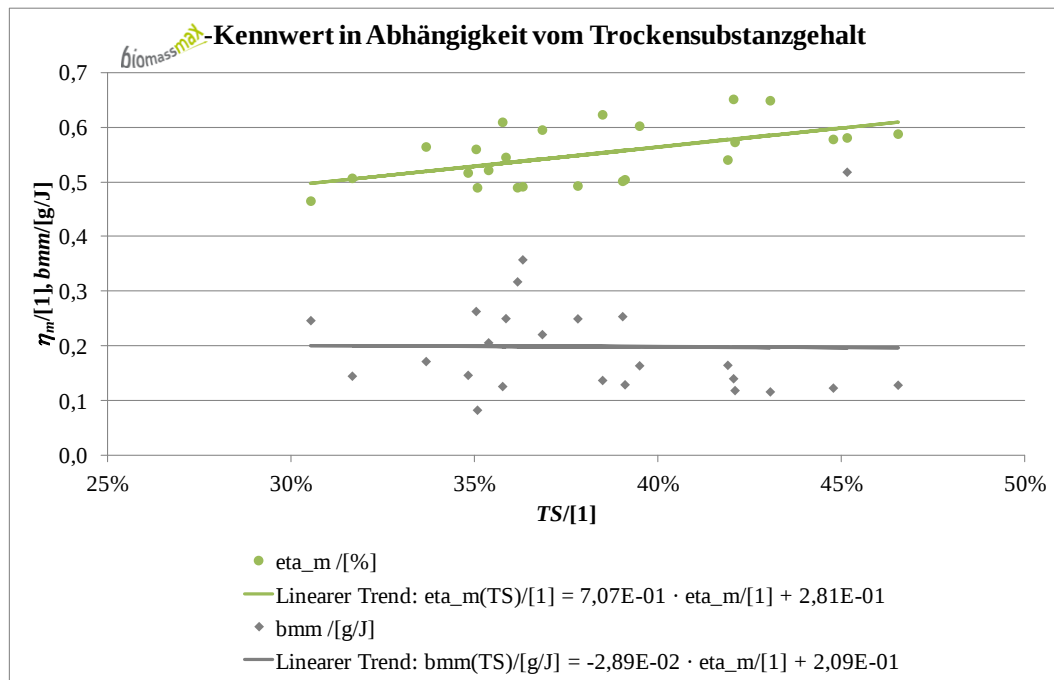


Abbildung 4-12: Lt. Definition gilt $bmm \sim TS$, aber $a_{bmm, TS} = -2,89 \cdot 10^{-2} \ll 1$, folglich hat der Trockensubstanzgehalt TS einen geringen Einfluss auf den bmm -Wert.

4.4.2.8 Massenbilanz η_m

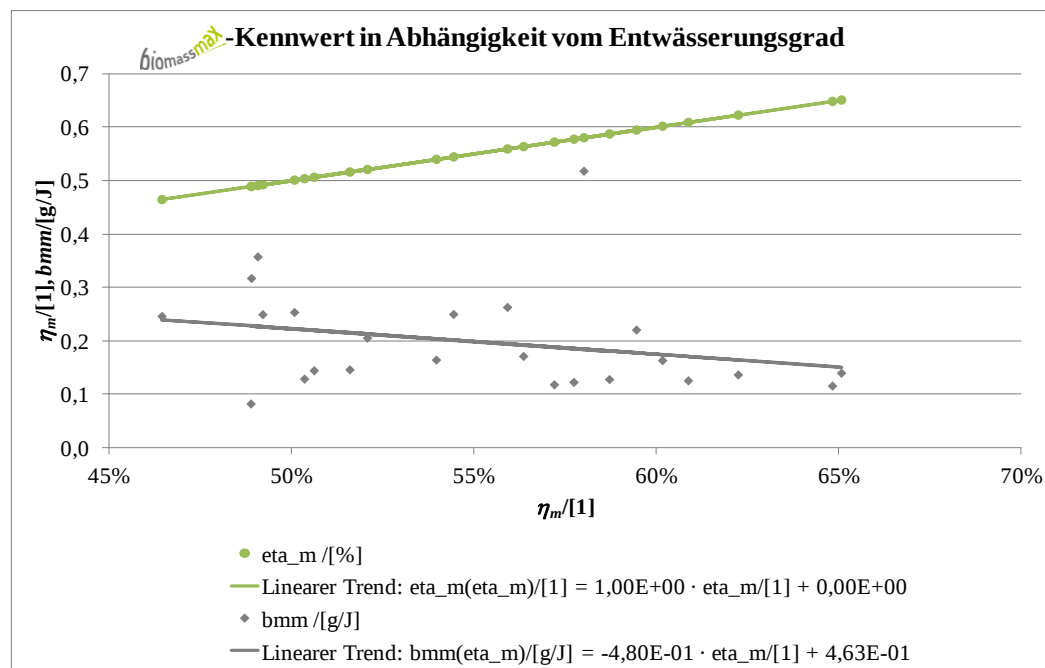


Abbildung 4-13: Lt. Definition gilt $bmm \sim \eta_m$, aber $a_{bmm, \eta_m} = -4,80 \cdot 10^{-3} \ll \ll 1$, folglich hat der Trockensubstanzgehalt TS einen sehr geringen Einfluss auf den bmm -Wert. Die gegenläufige Tendenz der beiden Kennzahlen findet sich in den meisten Vergleichen.

5 Ausblick

Die große Energieeffizienz von Walzenpressen und deren konstruktive Optimierung sowie die potentielle Anwendung auf die Entwässerung von Treibsel direkt am Strand sind ein erfreuliches Ergebnis für dieses Vorhaben.

Dieser Gedanken lässt sich weiterentwickeln: Das Braunalgenproblem im Atlantik ist noch ein viel größeres: Ein Algenteppich überspannt diesen von Amerika bis Afrika und belastet dort Strände, s. Abbildung 5-1.



Abbildung 5-1 [7]: Braunalgenberge an Stränden in der Karibik.

Eventuell kann hier schnell Abhilfe geschaffen werden. Das Pressgut könnte zu Brennstoff verarbeitet werden. Mit dem Presssaft ist jedoch dahingehend Vorsicht geboten, dass dieser bei direkter Einleitung in das Meer dieses überdüngen könnte.

6 Danksagung

Dieses Projekt war besonders.

Und besonders verdient gemacht haben sich um dieses Prof. Dr. Martin Braatz, Dipl.-Ing. Hartmut Ott und Wolfgang Schrödter sowie viele weitere Kolleg*innen vom Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Kiel.

Lieber Martin, lieber Hartmut, lieber Wolfgang, liebe Kolleg*innen,
 Euch und Ihnen gilt mein herzlichster Dank!

7 Literatur

- [1] EP3040192A1 Walzenpresse – Patentschrift, November 2014.
- [2] https://www.deutschlandfunkkultur.de/treibsel-als-natuerliche-ressource-wie-seegras-und-algen-zu.976.de.html?dram:article_id=423689, aufgerufen am 28.03.2020
- [3] Bahlo, R. L.: Untersuchung einer Walzenpresse zur Entwässerung feucht konservierter Biomasse – Bachelorarbeit – FH Flensburg 2012
- [4] Reulein, J. et.al.: Verbesserung der Brennstoffeigenschaften landwirtschaftlicher Biomasse durch eine mechanische Entwässerung von Silagen – Workshop I: Energie, Universität Kassel, ohne Datum, nach 2007
- [5] Reulein, J.: Einsatz der mechanischen Entwässerung von feucht konservierten Energiepflanzen (Ganzpflanzensilagen) mit dem Ziel Brennstoff herzustellen - Universität Kassel, ohne Datum
- [6] N.N.: Betriebsanleitung Druckmessumformer mit keramischer Messzelle VEGABAR 82, Fa. VEGA, Document ID: 45028, Redaktionsstand: 2017-05-17
- [7] <https://www.hr-inforadio.de/programm/themen/algenplage-in-der-karibik-die-rache-des-meeres,algen-karibik-100.html>, aufgerufen am 30.03.2020