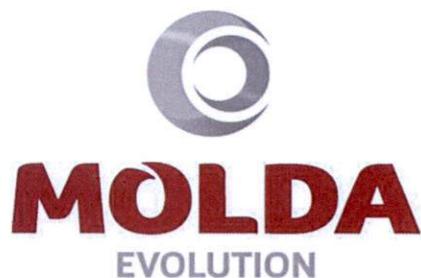


gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de



Entwicklung eines stromsparenden Zuckerlösers

Laboruntersuchungen

Zwischenbericht für das Projekt, Entwicklung eines stromsparenden
Zuckerlösers, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Aktenzeichen: 31446/24

Verfasser:

Carsten Wolter
Marius Unger

Dahlenburg, 24.11.2014

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	31446	Referat	24/0	Fördersumme	20.000 €
Antragstitel	Entwicklung eines stromsparenden Zuckerlösers-Laboruntersuchungen				
Stichworte	Zuckerlösung, Energieeffizienz				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
6 Monate	23.09.2013	23.03.2014	1		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	MOLDA EVOLUTION GmbH			Tel	05851-9797012
	Gartenstraße 13			Fax	05851-9797013
	21368 Dahlenburg			Projektleitung	
				Carsten Wolter	
			Bearbeiter		
			Carsten Wolter		
			Marius Unger		
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
<p>Ermittlung der technologischen Grundlagen und verfahrenstechnischen Parameter zur Planung und zum Bau einer Pilotanlage. Dafür wurden mit einem einfachen Modell erste Versuche zur grundsätzlichen Machbarkeit und zur Ermittlung der erforderlichen Mess- und Regeltechnik an der Pilotanlage durchgeführt.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Auf Basis der ersten Ideen wurde ein Modell der Pilotanlage erstellt. Dieses umfasste zunächst noch nicht alle erforderlichen Funktionen, da zunächst die grundsätzliche Funktionsweise und Machbarkeit des Projektes geprüft werden sollte. Die Anlage wurde im Labor eines befreundeten Unternehmens aufgestellt. Dort standen die erforderlichen Möglichkeiten zur Durchführung der Versuche zur Verfügung. Die Dimensionierung wurde so gewählt, dass aussagekräftige Ergebnisse zu erwarten waren, man aber gleichzeitig nicht zu viele Rohstoffe verbraucht, da die entstehende Zuckerlösung verworfen werden musste.</p> <p>Auf Basis grundlegender Berechnungen wurden die Parameter für die Versuche vorgewählt. Zur Vereinfachung des Versuchsaufbaus wurde zunächst auf eine Beheizung verzichtet und die Versuche wurden mit kaltem Wasser durchgeführt.</p> <p>In mehreren Versuchsreihen wurden die Parameter angepasst und die Anlage modifiziert bis schließlich die Grenze der Möglichkeiten des Modells erreicht waren und die erforderlichen Daten zur Planung der Pilotanlage vorlagen.</p>					
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de</small>					

Ergebnisse und Diskussion

Die Versuche haben gezeigt, dass das Verfahren grundsätzlich funktioniert. Die theoretischen Konzentrationen der Zuckerlösung für eine vorgegebene Temperatur konnten mit den einfachen Mitteln bereits zu 95% erreicht werden. Es zeigte sich aber auch, dass die Regelung des Massenstroms und der Temperatur des Wassers von entscheidender Bedeutung für den Prozess sind.

Außerdem muss großes Augenmerk auf die Art und Weise der Zuführung des Zuckers gelegt werden, da hiervon die Aufrechterhaltung eines ausreichenden Vorrats an Zucker abhängt, von dem wiederum die Konzentration der Zuckerlösung beeinflusst wird. Hierfür wurden von uns Ansätze erarbeitet, die in der Pilotanlage erprobt werden sollen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Da es sich um reine Vorversuche handelte gab es bisher keine Öffentlichkeitsarbeit und Präsentationen.

Fazit

Die Modellanlage hat gezeigt, dass die Herstellung einer Zuckerlösung, ohne zusätzliche Energie für Rührwerke oder Pumpen zu verbrauchen, grundsätzlich möglich ist. Eine Prozessoptimierung konnte leider noch nicht erfolgen, da unser Modell in den Regelparametern sehr eingeschränkt ist und sich nicht fein genug regeln lässt. Dies macht den Bau einer Pilotanlage mit größerem Produktausstoß und optimierten Regeleinrichtungen erforderlich.

Diese Pilotanlage soll im zweiten Projektabschnitt entworfen, gebaut und erprobt werden. An der Pilotanlage können dann auch die erforderlichen Messungen zum Nachweis der Energieeffizienz und der möglichen Einsparpotentiale durchgeführt werden.

Auf Basis unserer ersten Ergebnisse halten wir eine erfolgreiche Fortsetzung des Projektes für sehr wahrscheinlich.

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
TABELLENVERZEICHNIS	VII
DANKSAGUNG.....	IX
ZUSAMMENFASSUNG.....	X
1 EINLEITUNG.....	11
1.1 Motivation	11
1.2 Aufgabenstellung.....	11
1.3 Zielsetzung.....	11
2 HAUPTTEIL.....	12
2.1 Grundlage	12
2.2 Modellanlage	12
2.3 Durchführung der Versuche	13
2.3.1 Versuch 1.....	13
2.3.2 Versuch 2.....	13
2.3.3 Versuch 3.....	14
2.3.4 Versuch 4.....	15
2.3.5 Versuch 5.....	16
2.4 Pilotanlage	17
2.4.1 Wasserzufuhr	17
2.4.2 Zuckerzufuhr	17
2.4.3 Temperaturführung.....	18
2.4.4 Anlagendesign	18
3 FAZIT	19
4 LITERATURVERZEICHNIS.....	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Konstruktionsentwurf der Pilotanlage.....	18
--	----

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Ergebnisse aus Versuch 2	14
Tabelle 2: Ergebnisse aus Versuch 3	14
Tabelle 3: Ergebnisse aus Versuch 4	15
Tabelle 4: Ausschnitt aus Löslichkeitstabelle für reine Saccharoselösungen.....	16

DANKSAGUNG

Wir danken der DBU für die freundliche Unterstützung unseres Projektes.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge des ersten Projektabschnitts „Laboruntersuchungen“ konnte gezeigt werden, dass die prinzipielle Funktion des Verfahrens gegeben ist und die gewählte Konstruktion als Grundlage für die Planung der Pilotanlage geeignet ist.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass ohne zusätzlichen Energieaufwand für Rührwerke, Pumpen oder Heizung bereits eine Zuckerlösung mit einem Gehalt von >60% kontinuierlich hergestellt werden konnte. Dies spricht dafür, dass dies auch für deutlich höhere Konzentrationen möglich sein wird, die mit der einfachen Laborapparatur nicht erprobt werden konnten.

Weiterhin wurden wichtige Erkenntnisse für die Auslegung und Planung der Pilotanlage erlangt, die es uns ermöglichen die Pilotanlage mit allen erforderlichen Funktionen auszurüsten, um bei den weiteren Versuchen alle relevanten Parameter prüfen und auswerten zu können.

Da die Ergebnisse so vielversprechend sind soll das Projekt mit dem zweiten Projektabschnitt „Bau und Erprobung einer Pilotanlage“ fortgesetzt werden.

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Weltweit werden jährlich große Mengen Zucker zu Zuckerlösungen weiterverarbeitet. Besonderer Schwerpunkt ist die Getränkeindustrie, hier werden etwa 15-20 % des gesamten Zuckers in der EU verbraucht Quelle: (www.zuckerinfo.de) Zuckerlösungen müssen immer frisch aus Kristallzucker hergestellt werden, da sie nicht lagerstabil sind. Der energetische Aufwand hierfür ist immens. Es werden ca. 3,9 kWh/t an elektrischer Energie aufgewendet, um die Lösungen herzustellen Quelle: (www.geadiessel.com). Um diesen extrem hohen Strombedarf zu reduzieren soll eine neue Anlage konzipiert werden, die etwa mit 10 % des bisherigen Energiebedarfs auskommt. Weiterhin ist es das Ziel lagerstabile Zuckerlösungen zu erzeugen. Dies ist bei den zurzeit möglichen Konzentrationen von 60-65 % nicht gegeben.

1.2 AUFGABENSTELLUNG

Der erste Projektabschnitt soll zur Ermittlung der technologischen Grundlagen und verfahrenstechnischen Parameter zur Planung und zum Bau einer Pilotanlage dienen, die es ermöglicht eine Zuckerlösung herzustellen, ohne zusätzliche Energie für Rührwerke oder Pumpen zu verbrauchen. Der Zuckeranteil in der Lösung soll dabei mindestens 60 % betragen. In weiteren Projektabschnitten soll dann die Anlage optimiert und der Zuckergehalt auf ≥ 80 % angehoben werden.

1.3 ZIELSETZUNG

Für die Ermittlung der notwendigen Einflussgrößen auf die Herstellung der Zuckerlösung muss ein Modell entwickelt werden, das die Grundlage für das Projekt bildet. Dafür wurden mit einem einfachen Modell erste Versuche zur grundsätzlichen Machbarkeit und zur Erarbeitung der erforderlichen Mess- und Regeltechniken an der Pilotanlage durchgeführt.

2 HAUPTTEIL

2.1 GRUNDLAGE

Auf Basis der ersten Ideen wurde ein Modell der Pilotanlage erstellt. Dieses umfasste zunächst noch nicht alle erforderlichen Funktionen, da zuerst die grundsätzliche Funktionsweise und Machbarkeit des Projektes geprüft werden sollte. Die Anlage wurde im Labor eines befreundeten Unternehmens aufgestellt. Dort standen die erforderlichen Möglichkeiten zur Durchführung der Versuche zur Verfügung.

Die Dimensionierung wurde so gewählt, dass aussagekräftige Ergebnisse zu erwarten waren und gleichzeitig nicht zu viel Rohstoff verbraucht wurde, da die entstehende Zuckerlösungen verworfen werden mussten.

Auf Basis grundlegender Berechnungen wurden die Parameter für die Versuche sorgfältig vorgewählt.

Zur Vereinfachung des Versuchsaufbaus wurde zunächst auf eine Beheizung verzichtet und die Versuche wurden mit kaltem Wasser durchgeführt.

In mehreren Versuchsreihen wurden die Parameter angepasst und die Anlage modifiziert bis schließlich die Grenze der Möglichkeiten des Modells erreicht waren und die erforderlichen Daten zur Planung der Pilotanlage vorlagen.

2.2 MODELLANLAGE

Um Versuche durchzuführen wurde eine Modellanlage benötigt. Als Anlage dient ein Edelstahl-Rohr $D=275$ mm mit einer Länge von 3 m. Ein Ende des Rohrs ist zugeschweißt und mit einem Schlauchanschluss versehen, das andere Ende ist offen. Das Rohr wird am zugeschweißten Teil etwas erhöht aufgestellt, damit der Schlauchanschluss frei zugänglich ist. Über den Schlauchanschluss wird die Anlage mit Wasser versorgt. Das offene Ende ragt nach oben. Von dort wird das Rohr über einen Trichter mit ca. 140 kg Kristallzucker befüllt. Der

2 Hauptteil

Trichter soll für eine zentrische Befüllung sorgen. Die fertige Lösung wird zum Schluss über eine Öffnung im oberen Ende des Rohres ablaufen und in Kannen aufgefangen.

Die ersten Tests haben sich alleine auf die Funktionsweise und Dichtigkeit der Anlage konzentriert. Die Sichtscheiben im Abstand von ca. 50 cm sollten ermöglichen den Prozess im Rohr zu beobachten. Diese mussten leider im Zuge der ersten Funktionsversuche der Anlage, aus Dichtigkeitsproblemen, entfernt werden. Ebenso musste die verklebte Grundplatte aus Kunststoff mit dem Wasseranschluss im Laufe der Dichtigkeitstests, durch eine verschweißte Edelstahlplatte ersetzt werden. Nachdem die Anlage die Dichtigkeitstests bestanden hat, konnten zum ersten Mal Versuche mit Zucker durchgeführt werden.

2.3 DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Es wurden mehrere Versuche zur Zuckerlösung in der Modellanlage geplant und durchgeführt um das notwendige Wissen für den Bau einer Pilotanlage zu erlangen. Die jeweils zugeführte Wassermenge wurde über einen Durchflussmesser abgelesen und mit einem Messzylinder volumetrisch überprüft. Die Zuckierzufuhr erfolgte über einen Trichter, der im jeweiligen Versuch in Hinsicht der Mengendosierung auf die Wassermenge angepasst wurde. Die Anlage, sowie die Erkenntnisse wurden nach jedem Versuch optimiert und verbessert.

2.3.1 VERSUCH 1

Die Versuchsanlage wurde mit einer Wasserzufuhr von 48 l/h versorgt und es wurden ca. 140 kg Zucker in die Anlage gefüllt. Wegen einer erneuten Undichtigkeit an den Sichtscheiben der Anlage musste der Versuch nach 30 Minuten abgebrochen werden. Aus der Leckage wurde eine Probe entnommen und das Ergebnis war eine Zuckerlösung von ca. 59 % bei 28,8 °C. Die Sichtscheiben, die zur Beobachtung der Abläufe in der Anlage gedacht waren mussten dann leider demontiert werden.

2.3.2 VERSUCH 2

Die Anlage wurde über eine Mischbatterie mit 10 °C Wasser versorgt. Die Durchflussmenge war auf ca. 35 – 50 l/h gedrosselt. Nach ca. 1,5 Stunden trat die erste Zuckerlösung am oberen Ende der Anlage aus. Folgende Messwerte sind bei diesem Versuch entstanden:

2 Hauptteil

Probe	Zeit	Zuckergehalt	Temperatur
1	0	60,8 %	16,5 °C
2	20'	60,0 %	16,5 °C
3	40'	58,0 %	16,5 °C
4	60'	53,0 %	16,5 °C

Tabelle 1: Ergebnisse aus Versuch 2

Wunschgemäß waren alle Proben frei von Zuckerkristallen. Wie in Tabelle 1 ersichtlich nahm die Konzentration der Zuckerlösung im Laufe der Zeit ab. Da Temperatur und Durchflussmenge konstant waren ist davon auszugehen, dass die Dosierung des Zuckers nicht funktioniert hat und somit nicht ausreichend Zucker zur Verfügung stand, um die gewünschte Konzentration zu erreichen. Dies wurde noch einmal vom Stand des Zuckers im Fülltrichter unterstrichen, dieser hat sich während des Versuchs nicht geändert. Die Zuckerversorgung muss somit im nächsten Versuch geändert werden.

2.3.3 VERSUCH 3

Die Versuchsanlage wurde erneut über eine Mischbatterie mit 10 °C Wasser versorgt. Die Durchflussmenge wurde auf ≤ 30 l/h gedrosselt. Die Zuckerlösung strömte sofort aus der Anlage, da die Anlage mit dem Inhalt aus Versuch 2 wieder angefahren wurde und somit nicht neu befüllt werden musste. Die Zuckerversorgung wurde nun mit einer neuen Konstruktion konstant gehalten. Der Zuckers wurde mit 65 g/min dosiert.

Leider brachte diese Versuchsanordnung nicht den gewünschten Erfolg. Die Konzentration der Zuckerlösung hat, entgegen den Erwartungen, weiter abgenommen, siehe Tabelle 2.

Probe	Zeit	Zuckergehalt	Temperatur
1	30'	51 %	16,5 °C
2	60'	49 %	16,5 °C

Tabelle 2: Ergebnisse aus Versuch 3

2 Hauptteil

Eine weitere Anpassung der Zuckerzufuhr war somit im Versuch 4 erforderlich.

2.3.4 VERSUCH 4

Die Anlage wurde über eine Mischbatterie mit 10 °C Wasser versorgt. Die Durchflussmenge wurde auf 10 l/h eingestellt. Die Zuckerlösung strömte sofort aus der Anlage, da die Anlage mit dem Inhalt aus Versuch 3. wieder angefahren wurde und somit nicht neu befüllt werden musste. Die Zuckerversorgung wurde nun mittels einer Verjüngung im Trichter auf 250 g pro Minute konstant gehalten. Mit diesem Versuchsaufbau konnte die Konzentration der Zuckerlösung bereits nach 30 Minuten wieder auf 62,0 % angehoben werden und stabilisierte sich nach 60 Minuten bei 61,8 %. Trotz des nun permanent zuströmenden Zuckers war die Lösung frei von Zuckerkristallen, siehe Tabelle 3.

Probe	Zeit	Zuckergehalt	Temperatur
1	30´	62,0 %	16,5 °C
2	60´	61,8 %	16,5 °C

Tabelle 3: Ergebnisse aus Versuch 4

Die Umsetzung der Zuckerzufuhr zur Erreichung konstanter Konzentrationen der Zuckerlösung war somit erkannt und kann bei der Planung der Pilotanlage berücksichtigt werden. Weiterhin zeigte sich, dass die Messung und Regelung des Volumenstroms des Wassers von entscheidender Bedeutung für die Konstanz der Konzentration ist. Auch diese Erkenntnis wird bei der Planung der Pilotanlage berücksichtigt.

2 Hauptteil

2.3.5 VERSUCH 5

Nachdem erfolgreich eine Zuckerlösung mit kaltem Wasser hergestellt werden konnte sollte versucht werden, ob mit dem Model auch Versuche bei höheren Temperaturen möglich sind, um den Einfluss der Temperatur auf die Konzentration der Lösung zu bestätigen (Tabelle 4).

Temperatur [°C]	Gew. % Saccharose	Saccharose [g]/ 100g Wasser
58	73,76	281,1
59	73,98	284,3
60	74,20	287,6
61	74,42	291,0
62	74,65	294,4
63	74,87	297,9

Tabelle 4: Ausschnitt aus Löslichkeitstabelle für reine Saccharose-Lösungen Quelle: (Schneider, 1968)

Der Versuch 5 sollte daher mit heißem Wasser bei ca. 60 °C durchgeführt werden. Gleichzeitig diene er der Simulation des Anfahrens der Anlage nach einem längeren Stillstand. Die Zuckerlösung im Rohr sollte dazu mittels Injektion von Satttdampf auf die Betriebstemperatur von 60 °C aufgeheizt werden. Im Anschluss sollte dann der Prozess mit heißem Wasser fortgesetzt werden. Die erforderliche Satttdampfmenge zur Aufwärmung der Zuckerlösung wurde zu ca. 7 kg berechnet. Die Dosierung wurde daher auf 0,3 kg/min eingestellt, um die Anlage in einem überschaubaren Zeitraum auf Betriebstemperatur aufzuwärmen.

Die erforderliche Dampfmenge zur Bereitung der Zuckerlösung berechnet sich nach der Formel:

$$1 \text{ kg} - \frac{1 \text{ kg} * 74,2}{100} = 0,258 \text{ kg Satttdampf}$$

Formel 1: Dampfmenge in der Zuckerlösung

2 Hauptteil

Bei dem Beispiel für die Berechnung der Dampfmenge, die für die Herstellung von 1 kg Zuckerlösung erforderlich ist, wurden die Werte von 74,2 % Zuckergehalt bei 60 °C angenommen (Tabelle 4).

Hieraus ergibt sich, dass bei einer einströmenden Menge Sattdampf von 0,3 kg/min die Zuckermenge etwa 860 g/min betragen muss. Die Dosiervorrichtung wurde daher entsprechend angepasst.

Das Ergebnis aus Versuch 5 hat gezeigt, dass durch den geringen Volumenstrom in der Dampfdosierung keine Erwärmung der Zuckerlösung aus Versuch 4 möglich war. Nach 3 Stunden trat die Zuckerlösung mit der Temperatur von 36,2 °C aus und die Zuckerkonzentration fiel auf 58 % Brix. Zusätzlich kam es durch die Erwärmung der Zuckerlösung zu Kondensationsproblemen an der Zuckerdosierung, so dass diese verstopfte und der Versuch abgebrochen werden musste.

2.4 PILOTANLAGE

Die Planung der Pilotanlage basiert auf den Kenntnissen des Baus der Modellanlage und aus den Versuchen mit dieser. Das bisher angeeignete Wissen wird somit in die neue Anlage einfließen um eine funktionsfähige Pilotanlage für die Herstellung einer Zuckerlösung zu bauen. Während der Versuche hat sich herauskristallisiert wie mit den Einflussgrößen der Zuckerlösungsherstellung umgegangen werden muss, um eine perfekte Regelung zu gewährleisten.

2.4.1 WASSERZUFUHR

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Zuckerlösungsherstellung ist die Wasserzufuhr. Sie muss fein dosierbar sein und einen konstanten Druck und Fluss aufweisen. Ebenso muss die Temperatur des Wassers regelbar sein.

2.4.2 ZUCKERZUFUHR

Die Zuckerzufuhr der Anlage ist ein weiterer kritischer Punkt auf den bei der Planung der Pilotanlage besonderes Augenmerk gelegt wird. Zwingend ist eine kontinuierliche Zuführung des Zuckers. Chargenweise Dosierung ist nicht möglich, wenn man konstante Konzentrationen erzielen will.

2 Hauptteil

2.4.3 TEMPERATURFÜHRUNG

Die Temperatur des Wassers ist ausschlaggebend für die maximal erzielbare Konzentration.

Daher ist es erforderlich die Pilotanlage mit einer sehr genauen Temperaturregelung auszurüsten. Die Versuche haben gezeigt, dass es sinnvoll sein kann, die Anlage vor dem Abfahren zu entleeren oder sie alternativ kontinuierlich zu beheizen, um größere Verluste beim Anfahren zu vermeiden. Das optimale Verfahren muss mit der Pilotanlage ermittelt werden.

2.4.4 ANLAGENDESIGN

Das Design der Modellanlage hat bewiesen, dass es geeignet ist um eine Zuckerlösung herzustellen und im Grundgedanken übernommen werden kann. Für die Pilotanlage werden lediglich die Dimensionen sowie die An- und Einbauteile modifiziert. Eine zusätzliche Isolierung der Anlage soll die Leistung steigern und beim Einsatz von zusätzlicher Wärme die Energie in der Anlage speichern. Die **Abbildung 1** zeigt in einem ersten Konstruktionsentwurf, wie die Hauptkomponente der Anlage aussehen könnte.

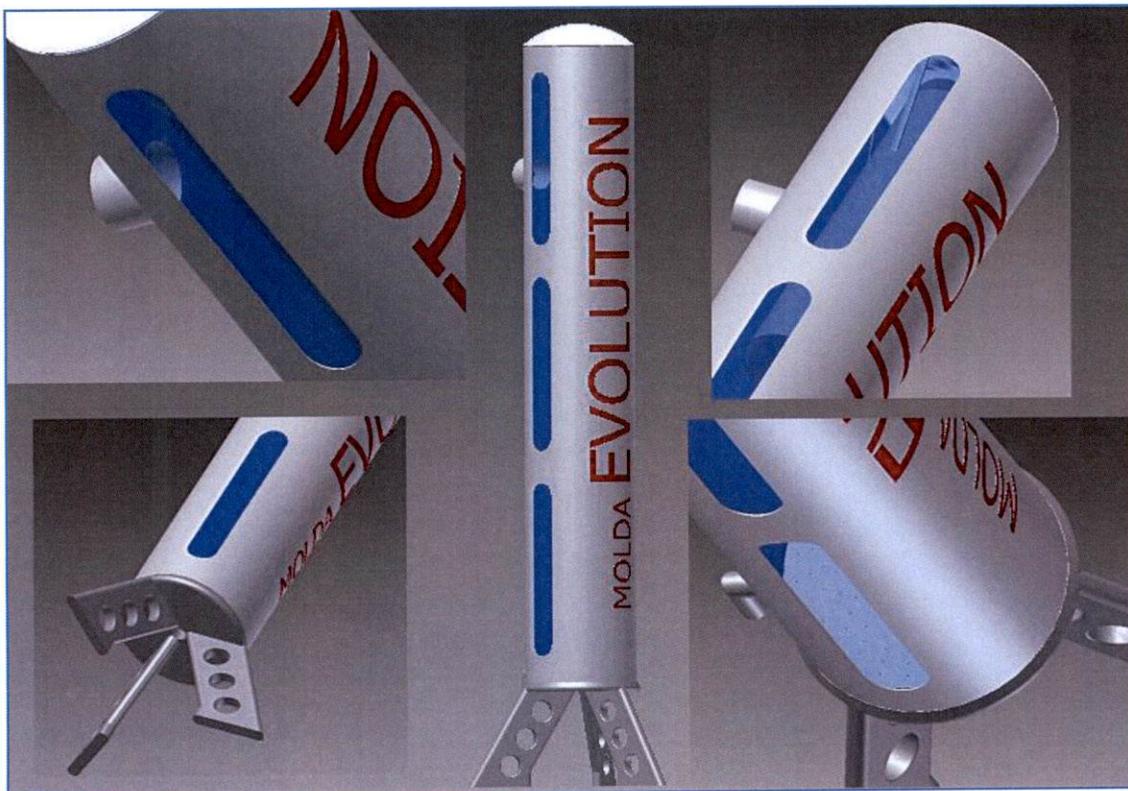


Abbildung 1: Konstruktionsentwurf der Pilotanlage

3 FAZIT

Die Modellanlage hat gezeigt, dass die Herstellung einer Zuckerlösung, ohne zusätzliche Energie für Rührwerke oder Pumpen zu verbrauchen, grundsätzlich möglich ist. Eine Prozessoptimierung konnte leider noch nicht erfolgen, da unser Modell in den Regelparametern sehr eingeschränkt ist und sich nicht fein genug regeln lässt. Dies macht den Bau einer Pilotanlage mit größerem Produktausstoß und optimierten Regeleinrichtungen erforderlich.

Diese Pilotanlage soll im zweiten Projektabschnitt entworfen, gebaut und erprobt werden. An der Pilotanlage können dann auch die erforderlichen Messungen zum Nachweis der Energieeffizienz und der möglichen Einsparpotentiale durchgeführt werden.

Auf Basis unserer ersten Ergebnisse halten wir eine erfolgreiche Fortsetzung des Projektes für sehr wahrscheinlich.

4 LITERATURVERZEICHNIS

Schneider, Ferdinand. 1968. *Technologie des Zuckers 2. Auflage.* Hannover : M.&H. Schaper Verlag, 1968.

www.gadiessel.com. www.gadiessel.com.

http://www.gadiessel.com/gadiesselde/cmsdoc.nsf/WebDoc/ndkw73gamf?opendocument
&q=sugar. [Online]

www.zuckerinfo.de. www.zuckerinfo.de. [Online] DOKUFAKTUR Medienproduktion,
Christoph Corves & Delia Castiñeira GbR.
