

ABSCHLUSSBERICHT FORSCHUNGSPROJEKT DBU

„UNTERSUCHUNG DER REINIGUNGSWIRKUNG EINES KONUSFÖRMIGEN
REFINERS IN ANLAGEN DES KUNSTSTOFFRECYCLING“

AKTENZEICHEN: 30118/2

Das Projekt wurde gefördert von:
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bornau 2
49090 Osnabrück

Die Projektumsetzung erfolgte durch:
CVP Clean Value Plastics GmbH
An der Alster 25
20099 Hamburg

Verfasser: Alexander Kammann, Alexander Gercke, Michael Hofmann

Datum der Veröffentlichung: **31.03.2016**

Ort der Veröffentlichung: **DBU Osnabrück**

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	30118/2	Referat	Fördersumme	74.000,00 €
----	----------------	---------	-------------	--------------------

Antragstitel „**UNTERSUCHUNG DER REINIGUNGSWIRKUNG EINES KONUSFÖRMIGEN REFINERS IN ANLAGEN DES KUNSTSTOFFRECYCLING**„

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
9 Monate	20.03.2015	31.12.2015	

Abschlussbericht

Bewilligungsempfänger	CVP Clean Value Plastics GmbH	Tel:	040-7679557-0
	An der Alster 25	Fax:	040-7679557-20
	20099 Hamburg	Projektleitung	Alexander Kammann
		Bearbeiter (kfm.)	Sabine Fengler

Kooperationspartner Keine

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens:

Im Ergebnis unseres vorangegangenen Projekts, der Miniaturisierung eines Scheibenrefiners (Aktz.30118) untersuchten wir in diesem Projekt die Funktionsweise eines konusförmigen Refiners, anstelle herkömmlicher Scheibenrefiner in miniaturisierter Größe.

Forschungsziel war, herauszufinden ob ein konusförmiger Refiner mit Vergrößerung der hydrodynamischen Friktionsfläche eine größere Reinigungswirkung als ein herkömmlicher Scheibenrefiner hat. Der Zieldurchsatz soll sich auf bis zu 1,0 t/h Folienflakes belaufen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden:

Wir führten drei Untersuchungsphasen durch und unterteilten sie in mehrere Versuchsläufe.

In der ersten Phase ging es hauptsächlich darum, die Forschungsanlage mit dem konusförmigen Refiner zu bestücken und zu einer lauffähigen Versuchsanlage zu gestalten. Ein funktionierendes Ein- und Austragsystem wurde angebracht sowie die technische Funktion aller Bauteile hergestellt. Begleitend wurden Versuchsläufe gefahren, um die Sicherheit aller Funktionen zu prüfen.

In der zweiten und dritten Phase wurden messfähige Versuchsläufe durchgeführt. Sie gaben Auskunft über das eigentliche Forschungsziel, nämlich der Besonderheit des Konusrefiner und seiner größeren Reinigungsfläche. Bei dem Werkzeug (Refiner) selbst, entstehen durch die veränderte Form, unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten im Reinigungsspalt. Diese haben Einfluss auf die Reinigungseffizienz.

Untersuchungsschritte:

- 1. Entwicklung der Stoffeintrags- und Wasserführungssysteme zur Realisierung eines Hochkonsistenzbetriebs mit dem konusförmigen Refiner.*
- 2. Entwicklung eines geeigneten Austragsystems bevorzugt mit einer modifizierten Siebschnecke oder einem Venturi Strahlpumpenaustrag.*
- 3. Anpassung der Werkzeuggeometrien von Scheibenwerkzeuge auf Konuswerkzeuge.*
- 4. Optimale Betriebsweise hinsichtlich Energieverbrauch und Reinigungswirkung unter Vollastbedingungen.*

Ergebnisse und Diskussion:

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen übertrafen alle Erwartungen. So wissen wir jetzt, dass mit deutlich geringerem Energiebedarf eine viel höhere Reinigungswirkung, als mit dem Scheibenrefiner, erzielt werden kann. Der konusförmige Refiner wird möglicherweise den Scheibenrefiner ablösen. Sofern es gelingt hohe Durchsätze mit geringen Energiebedarf zu realisieren. Wir testeten verschmutzte Folienflakes in unterschiedlichen Qualitäten. Dabei stellten wir fest, dass besonders bei hohen Feststoffkonsistenzen (1) herausragende Reinigungsqualitäten erzielt werden können.

Wesentliche Untersuchungsergebnisse sind:

- Dass die Feststoffkonsistenz (1), also das Masseverhältnis des Reinigungsguts zum Prozesswasser, eine große Rolle beim Energiebedarf und der Reinigungswirkung hat.*
- Dass das Konuswerkzeug ein energetisch günstigeres Strömungsprofil und eine Verbesserung der*

Wirkung der Rückspülnuten (2) zeigt, als beim Scheibenrefiner. Was dazu führt, dass mit höheren Konsistenzen (1) als beim Einsatz eines Scheibenwerkzeugs gefahren werden kann.

- Die Verweildauer der Folienflakes im Werkzeug ist länger als im Scheibenrefiner, was auf eine längere parabelförmige Bewegungsbahn der Flakes im Werkzeug zurückzuführen ist.
- Die Reinigungswirkung nimmt bei hohen Durchsatzleistungen im Scheibenrefiner ab. Es war jedoch keine Abnahme der Reinigungswirkung bei hohen Durchsätzen im Konuswerkzeug feststellbar.

Weitere Erkenntnisse konnten hinsichtlich des Stoffeintragungssystems erlangt werden:

- Die Durchsatzleistung des Konusrefiner ist so hoch, dass die Grenzen des Eintragungssystems limitiert sind. Das Aggregat hätte noch größere Durchsätze leisten können, wenn das Eintragungssystem nicht an seine Grenzen gestoßen wäre.
- Das bisherige Eintragungssystem mittels Schneckeneintrag ist daher in Frage zu stellen.
- Dennoch ergaben sich so hohe Durchsatzleistungen, dass jede Versuchsreihe auf maximal 10 Minuten Stoffdurchlauf begrenzt werden musste, weil die Materialmengen in der Technikumsanlage nicht mehr gehandelt werden konnten.
- Infolgedessen ergibt sich der Bedarf an einem grundsätzlich verbesserten Stoffeintragungssystem zu forschen. Vorstellbar wäre, dass der Refiner im Durchmesser und in der Antriebsleistung weiter reduziert werden würde. So könnte die Anlage an den Bedarf von Wertstoffhöfen, Zentrallägern und Supermarktketten angepasst werden. Das derzeitige Aggregat F2 hat so hohe Durchsatzleistungen wie ein großer Standardrefiner 36 Zoll für die Papierindustrie.
- Ein weiteres Ergebnis der Untersuchung war, dass künftige Forschungen und Untersuchungen an einer vollständigen Prototypenanlage durchgeführt werden sollten. Es hat sich gezeigt, dass die Versuchsdurchführungen an einer Technikumsanlage, auf Grund der kurzen Durchlaufzeiten, keine stochastisch validen Messungen, sondern nur Hinweise ergeben. Die Hinweise sind jedoch so aussagefähig, dass diese die Planung einer großangelegten Versuchsreihe mit einer Versuchsdurchführung an einer vollständigen Prototypenanlage rechtfertigen.

(1) Die Konsistenz beschreibt den Feststoffgehalt im Verhältnis zum Prozesswasser. In der Papierindustrie (aus der die Refinertechnik stammt) ist bekanntlich der Niederkonsistenzbetrieb üblich, also Konsistenzen von max. 2,5 %. Der HydroDyn Prozess (CVP Patent) ist in der Lage Konsistenzen von bis zu 15 % zu verarbeiten. Die energetischen Auswirkungen sind erheblich und führen zu sehr geringem Energiebedarf. Die Installation der Grooves (2) hat es ermöglicht, höhere Feststoffkonsistenzen zu realisieren. Problematisch sind mit steigender Konsistenz der Stoffein- und der Stoffaus- trag sowie die stärkere Erwärmung des Prozesswassers. Hier ist dringender Forschungsbedarf angesagt um weitere Energieeinsparungen umzusetzen.

(2) Bei einem Refiner im Niederkonsistenzbetrieb der Papierindustrie wird das Prozesswasser sehr stark beschleunigt, so dass große Mengen von einzelnen Papierfasern im Refinerwerkzeug, also dem sogenannten Mahlpalt bearbeitet werden. Um Fasern aus Primärzellstoff leicht anzumahlen, damit sie glatte Papieroberflächen ergeben. Dieser Vorgang ist sehr energieintensiv und führt zu vergleichsweise geringen Durchsätzen. Daher werden in der Papierindustrie 10 bis 20 Refiner im Parallelbetrieb eingesetzt mit Mengendurchsätzen an Stoffmasse von ca. 1.000 kg/h.

Bei der Reinigung von Kunststoffen ist es sehr wichtig, dass die Flakes länger im Reinigungsspalt verbleiben und eine Friktion auf der Flakeoberfläche erfahren, damit sich anhaftende Papierfasern und Klebstoffe ablösen. In einem klassischen Refinerwerkzeug führt der enge Reinigungsspalt zu einer hohen Beschleunigung des Prozesswassers und einer zu kurzen Verweildauer im Reinigungsspalt. Die Rückspülnuten, auch Grooves genannt, führen zu einer Rückströmung des Prozesswassers und bewirken einen Umkehrschub, der die Verweildauer der Flakes im Werkzeug erhöht.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation:

Fachinformation "KI Kunststoff Information" = www.kiweb.de und „Plasticker Online“ = www.plasticker.de

Fazit / Verwertung:

- Die Untersuchungsergebnisse übertrafen unserer Erwartungen deshalb wird der konusförmige Refiner, künftig in HydroDyn Reinigungsanlagen, den Scheibenrefiner ablösen.
- Bisher wurden vier Anlagen verkauft. Davon ist eine Anlage komplett ausgeliefert und funktionsfähig. Sie steht in Bulgarien. Für drei weitere Anlagen ist die Auslieferung in der Vorbereitungsphase.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	8
2.1	Ausgangssituation	8
2.2	Umweltrelevanz des beantragten Vorhabens	8
2.3	Zielsetzung	10
2.4	Ergebnisse	11
3	Hauptteil	12
3.1	Arbeitsschritte.....	12
3.2	Methoden und Ergebnisse	16
3.3	Ermittlungen der Reinigungswirkung / Auswirkung des Reinigungspaltes	18
3.4	Diskussion und Schlussfolgerungen	23
3.5	Ausblick	24
3.6	Veröffentlichungen	26

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 0:	Scheibenrefiner/Konusrefiner	5
Abb. 1:	Aufbau Forschungsanlage mit allen Ansichtsseiten	11
Abb. 2:	F2 Stromversorgung über Frequenzumrichter	13
Abb. 3:	Stromleitung F2	13
Abb. 4:	Schaltschrank Stromversorgung F2	13
Abb. 5:	F2 ohne Maschinenbett	14
Abb. 6:	F2 mit Maschinenbett	14
Abb. 7:	F2 Vibrationsdämpfer	15
Abb. 8:	Prozesswassereintrag mittels manueller Wasserzufuhr	15
Abb. 9:	Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm–delta 4,0 A	16
Abb. 10:	Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm–delta 8,0A	17
Abb. 11:	Beschickungstest.....	19
Abb. 12:	Input Kunststoff Flakes	19
Abb. 13:	Output Kunststoff Flakes	19
Abb. 14:	Output nass Kunststoff Flakes.....	20
Abb. 15:	Output trocken Kunststoff Flakes	20
Abb. 16:	Input Material < 20mm Flakes	20
Abb. 17:	Input Material < 20mm Flakes	20
Abb. 18:	Output nass Material<20 mm Flakes.....	21
Abb. 19:	Output nass Material<20 mm Flakes.....	21
Abb. 20:	Output trocken Material<20 mm Flakes	21
Abb. 21:	Output trocken Material<20 mm Flakes	21
Abb. 22:	Folienoberfläche bei 1000facher Vergrößerung ohne Kontaminanten	22
Abb. 23:	Folienoberfläche mit über 100 ppm Kontaminanten	22
Tab. 1:	Energieaufwände	8
Tab. 2:	Medienanforderungen	6

1 Zusammenfassung

Ziel des Gesamtvorhabens war es, zu untersuchen, ob mit einem konusförmigen Refiner eine größere Reinigungswirkung als mit einem herkömmlichen Scheibenrefiner zu erzielen ist. Die Untersuchung erfolgte mittels Vergrößerung der hydrodynamischen Friktionsfläche durch ein konusförmiges Werkzeug anstelle des bisher zum Einsatz kommenden scheibenförmigen Werkzeugs.

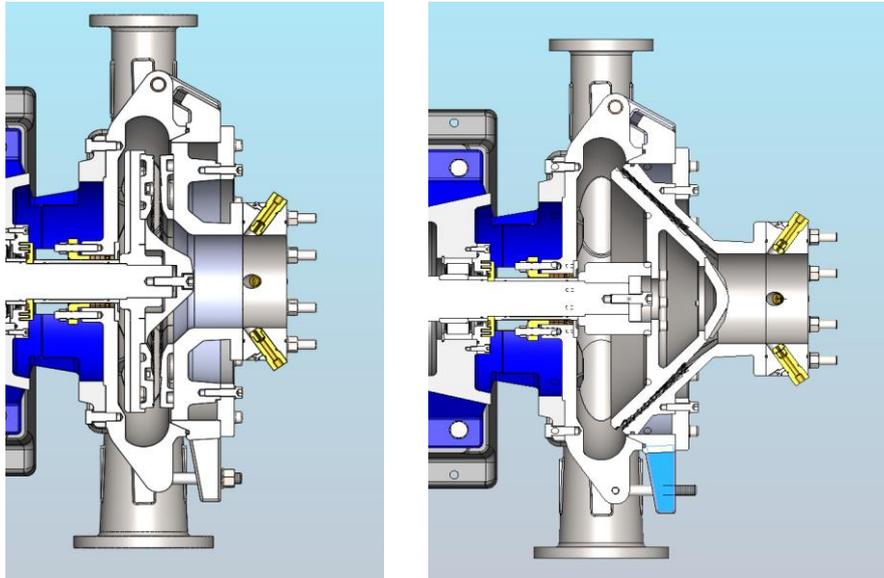


Abb. 0: Scheibenrefiner/Konusrefiner

Der Forschungsbedarf konzentrierte sich auf die:

- Entwicklung des Stoffeintrags- und Wasserführungssystems zur Realisierung des Hochkonsistenzbetriebs mit einem konusförmigen Refiner.
- Entwicklung eines geeigneten Austragsystems bevorzugt mit einer modifizierten Siebschnecke oder einem Venturi Strahlpumpenaustrags.
- Anpassung der Werkzeuggeometrien und Scheibenwerkzeuge an den konusförmigen Refiner.
- Erforschung der optimalen Betriebsweise hinsichtlich Energieverbrauch und Reinigungswirkung unter Vollastbedingungen.

Wir führten insgesamt drei Untersuchungsphasen durch. Sie unterteilten sich in mehrere Versuchsläufe.

In der ersten Phase ging es hauptsächlich darum, die Forschungsanlage mit dem konusförmigen Refiner zu bestücken und zu einer lauffähigen Versuchsanlage zu gestalten. Funktionierende Eintrags- und Austragssysteme wurden angebracht sowie die technische Funktion aller Bauteile hergestellt. Es wurde ein eigener Schaltschrank für die Steuerung der Anlage installiert. Die Installation war nötig, weil nur so genaue Verbrauchsmessungen aufgezeichnet und ausgewertet werden konnten. Begleitend wurden Versuchsläufe gefahren, um die Sicherheit aller Bauteile und Funktionen prüfen zu können.

In der zweiten und dritten Phase wurden messfähige Versuchsläufe durchgeführt. Sie gaben Auskunft über das eigentliche Forschungsziel, nämlich der Besonderheit des Konusrefiner und seiner größeren Reinigungsfläche. Bei dem Werkzeug (Refiner) selbst, entstehen durch die veränderte Form, unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten im Reinigungsspalt. Diese haben Einfluss auf die Reinigungseffizienz.

Fazit:

Grundsätzlich wirken sich die Vergrößerung der Reinigungsfläche positiv auf die Reinigungsleistung aus. Die Ergebnisse der untersuchten Versuchsläufe übertrafen unsere Erwartungen, da mit deutlich geringerem Energiebedarf hohe Reinigungswirkungen erzielt werden konnten. Der konusförmige Refiner wird möglicherweise den Scheibenrefiner ablösen, wenn es gelingt hohe Durchsätze mit geringem Energiebedarf zu realisieren.

Wir testeten verschmutzte Folienflakes mit unterschiedlichen Qualitäten. Dabei wurde festgestellt, dass besonders bei hohen Feststoffkonsistenzen herausragende Reinigungsqualitäten erzielt werden können.

Die wesentlichen Ergebnisse der Versuche sind:

- Nach wie vor spielt die Feststoffkonsistenz, also das Masseverhältnis des Reinigungsguts zum Prozesswasser eine große Rolle beim Energiebedarf und der Reinigungswirkung.
- Das Konuswerkzeug zeigt ein energetisch günstigeres Strömungsprofil und eine Verbesserung der Wirkung der Rückspülnuten (Grooves-Konzept) auf, was dazu führt, dass mit höheren Konsistenzen als beim Einsatz eines Scheibenwerkzeugs gefahren werden kann.
- Es findet eine längere Verweildauer der Folienflakes im Werkzeug statt, was auf eine längere parabelförmige Bewegungsbahn der Flakes im Werkzeug zurückzuführen ist.
- Die Reinigungswirkung nimmt bei hohen Durchsatzleistungen im Scheibenrefiner ab. Es war jedoch keine Abnahme der Reinigungswirkung bei hohen Durchsätzen im Konuswerkzeug feststellbar.
-

→ Grooves-Konzept mit Rückspülnuten: Bei einem Refiner (ursprünglich aus der Papierindustrie) in der Papierindustrie ist ein wichtiger Wirkeffekt, im dort üblichen Niederkonsistenzbetrieb, dass das Prozesswasser sehr stark beschleunigt wird. So werden große Mengen einzelner Papierfasern vom Refinerwerkzeug im sogenannten Mahlspace bearbeitet. Zweck der Übung ist es, Fasern aus Primärzellstoff leicht anzumahlen, damit diese glatte Papieroberflächen ergeben. Dieser Vorgang ist sehr energieintensiv und führt zu vergleichsweise geringen Durchsätzen. Daher werden in der Papierindustrie 10 bis 20 Refiner im Parallelbetrieb eingesetzt mit Mengendurchsätzen an Stoffmasse von ca. 1.000 kg/h.

Bei der Reinigung von Kunststoffen ist es sehr wichtig, dass die Flakes länger im Reinigungsspalt verbleiben und eine Friktion auf der Flakeoberfläche erfahren, damit sich anhaftende Papierfasern und Klebstoffe ablösen. In einem klassischen Refinerwerkzeug führt der enge Reinigungsspalt (gleichbedeutend mit dem Mahlspace bei Refinern in der Papierindustrie) zu einer hohen Beschleunigung des Prozesswassers und damit zu einem enormen Energieverbrauch. Hinzu kommt, dass die Flakes eine zu kurze Verweildauer im Reinigungsspalt haben um vollständig gereinigt zu werden. Die Rückspülnuten, auch Grooves genannt, führen zu einer Rückströmung des Prozesswassers und bewirken einen Umkehrschub, der die Verweildauer der Flakes im Werkzeug erheblich erhöht. Des Weiteren wird die Beschleunigung des Prozesswassers in Folge des Eintritts im sehr engen Reinigungsspalt gebrochen und stark abgemindert zugunsten von Verwirbelungen, die die Reinigungswirkung weiter unterstützen. Gleichzeitig sinkt der Energieverbrauch erheblich. Die Grooves sind damit ein unerlässlicher Bestandteil des HydroDyn Prozesses und eine maßgeblich patentrechtlich geschützte Erfindung.

→ Hoch- bzw. Niedrigkonsistenzbetrieb: Die Konsistenz beschreibt den Feststoffgehalt im Verhältnis zum Prozesswasser. In der Papierindustrie ist bekanntlich der Niederkonsistenzbetrieb üblich, also Konsistenzen von max. 2,5 %. Der HydroDyn Prozess ist in der Lage Konsistenzen von bis zu 15 % zu verarbeiten. Die energetischen Auswirkungen sind erheblich und führen zu sehr geringem Energiebedarf. Die Installation der Grooves hat es erst ermöglicht, höhere Feststoffkonsistenzen zu realisieren. Problematisch sind mit höherer Konsistenz der Stoffeintrag und der Stoffaustrag sowie die stärkere Erwärmung des Prozesswassers. Hier ist dringender Forschungsbedarf angesagt um weitere Energieeinsparungen umzusetzen.

Weitere Erkenntnisse konnten hinsichtlich des Stoffeintragssystems erlangt werden:

- Die Durchsatzleistung des Konusrefiner ist so hoch, dass die Grenzen des Durchsatzes seitens des Eintragssystems limitiert sind. Das Aggregat hätte noch größere Durchsätze leisten können, wenn nicht das Eintragssystem an seine Grenzen geraten werden.
- Das bisherige Eintragssystem, mittels Schneckeneintrag, ist daher in Frage zu stellen.
- Dennoch ergaben sich so hohe Durchsatzleistungen, dass jede Versuchsreihe auf maximal 10 Minuten Stoffdurchlauf begrenzt werden musste. Weil die Materialmengen nicht mehr gehandelt werden konnten.

Daraus ergibt sich der Bedarf an einem grundsätzlich verbesserten Stoffeintragssystem zu forschen. Vorstellbar wäre, dass der Refiner im Durchmesser und in der Antriebsleistung weiter reduziert werden würde. So könnte die Anlage an den Bedarf von Wertstoffhöfen, Zentrallagern und Supermarktketten angepasst werden. Das derzeitige Aggregat F2 hat so hohe Durchsatzleistungen wie ein großer Standardrefiner (36 Zoll) für die Papierindustrie.

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung war, dass zukünftige Forschungen und Testreihen an einer vollständigen Prototypenanlage durchgeführt werden sollten. Es hat sich gezeigt, dass die Versuchsdurchführungen an einer Technikumsanlage, auf Grund der kurzen Durchlaufzeiten, keine stochastisch validen Messungen, sondern nur Hinweise ergeben. Die Hinweise sind jedoch so aussagefähig, dass diese die Planung einer großangelegten Versuchsreihe mit einer Versuchsdurchführung an einer vollständigen Prototypenanlage rechtfertigen.

2 Einleitung

2.1 Ausgangssituation

Die erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung, des kompakten CVP HydroDyn Reinigungssystems für Hartkunststoffe, soll auf Grund der hohen Nachfrage am Markt, nach Veredelungssystemen von Folienabfällen, erweitert werden. Der am sinnvollsten erscheinende Ansatz ist die Vergrößerung der Reinigungsflächen, ohne die Baugröße des Refiners zu verändern. Genau dieses kann durch den Einsatz von konusförmigen Werkzeugen erreicht werden, die Reinigungsfläche müsste um ca. Faktor 2 vergrößert werden.

Das bisher angewendete Pumpensumpf-Austragssystem, welches sich bei Hartkunststoffen bewährt hat, funktionierte bei Folien leider nicht. Folienschnipsel schwimmen im Pumpensumpf auf und verhindern damit das Abpumpen. Geplant ist daher eine speziell am den Refiner, also am Austrag angedockte Siebschnecke. Sollte das Eintragungssystem nicht direkt am Pumpensumpf angedockt werden können, sondern über eine Pumpe z. B. in ein Trommelsieb geleitet werden, käme der sogenannte Venturi Austrag zum Einsatz, der einen Hochkonsistenzbetrieb bei gleichzeitiger Beibehaltung der Pumpfähigkeit ermöglicht.

2.2 Umweltrelevanz des beantragten Vorhabens

Die nachfolgenden Tab. 1: „Energieaufwände“ und Tab. 2: „Medienanforderungen“, geben einen Überblick über die aufzubringenden Energien bei der Aufbereitung von PET- Kunststoff. Gegenübergestellt wird die Unterscheidung zwischen der von CVP patentierten HydroDyn-Wäsche und einer herkömmlichen Natronlaugenheißwäsche.

Für Folienabfälle können in grober Näherung dieselben Werte als Vergleichsmaßstab zu Grunde gelegt werden. Allerdings wird die Natronlaugenheißwäsche bei Folien nicht angewendet, da viel zu aufwendig und zu teuer. Da jedoch mit der CVP HydroDyn® Technologie annähernd gleiche Reinheiten wie bei der Natronlaugenheißwäsche erzielt werden, und diese für die Erhöhung der Recyclingquoten von Folienabfällen zwingend notwendig sind, werden nachfolgende Tabellen als Orientierung herangezogen.

Energieaufwand zur Reinigung von PET- Flakes	CVP HydroDyn® Reinigung Folie	CVP HydroDyn® Reinigung PET	Natronlaugen-Heißwäsche
Friktionsreinigung	80,00 - 100,00 kWh/t	106,67 kWh/t	0
Natronlaugenheißwäsche (90°C)	0	0	42,74 kWh/t
Nachwäsche zur Laugenabscheidung	0	0	18,33 kWh/t
Wasserabscheidung	10,00	8,83 kWh/t	52,30 kWh/t
Wasseraufheizung	0	0	274,07 kWh/t
Wasseraufbereitung	5	5,33 kWh/t	7,41 kWh/t
Summe	95,00 -115 kWh/t	120,83 kWh/t	394,85 kWh/t

Tab. 1: Energieaufwände

Medienanforderungen		CVP HydroDyn® Reinigung	Natronlaugen- Heißwäsche
Wassermenge	50 m ³ /h	40 m ³ /h	40 m ³ /h
Wassereinsatz	< 5 m ³ /h	10,67 m ³ /t	14,81 m ³ /t
Wassertemperatur		> 0°C	90 °C
Kontaminationsgrad Abwasser	gering	gering	erhöht
Reinigungszusätze	<i>nicht verwendet</i>	<i>nicht verwendet</i>	7,78 \triangle l/t
Natronlauge			3,70 \triangle l /t
Waschverstärker			2,22 \triangle l /t
Entschäumer			1,11 \triangle l /t
Schwefelsäure			0,74 \triangle l /t

Tab. 2: Medienanforderungen

Erstmalig wurden nunmehr die Leerlaufenergiewerte des Aggregats ermittelt. Ziel ist es, bessere Prognosewerte für die erzielbaren Durchsätze zu ermitteln. In einem weiteren Schritt wurden Differenzwerte in der Leistungsaufnahme mit je 200 kg/h Steigerung des Durchsatzes ermittelt.

Je nach Verschmutzungsgrad der Folienflakes ergaben sich bei einem 200 kW Antrieb mögliche Durchsätze von 1.400 kg/h (60 kWh/1.000 kg bei leichten Verschmutzungen) bis zu 3.000 kg/h (130 kWh/1.000 kg bei sehr starken Verschmutzungen).

Das exakte Potential zur Umweltsparung kann erst nach Durchführung der Versuche an einer vollständigen Prototypenanlage ermittelt werden. Folgendes kann vorab geschätzt werden:

- Die Erhöhung der Durchsätze bei kleinen kompakten Anlagen bringt die größte relative Energieeinsparung. So macht der Einsatz kleiner Refiner mit hohen Durchsätzen alleine schon Sinn, um erheblich Energie einzusparen. Es ist kein System bekannt, mit dem perspektivisch nur 60 kWh/1.000 kg Produkt erreicht werden können.
- Die Durchsätze sind so hoch, dass die konventionellen Eintragssysteme nicht mehr eingesetzt werden können. Der klassische Schneckeneintrag ist bis max. 1.000 kg/h in der Lage Folienflakes in den Refiner einzuspeisen.
- Der Leerlaufenergiebedarf bei einem typischen Reinigungsspalt von 1,5 mm, beläuft sich auf ca. 90 kWh/h bei ca. 34 m³/h Prozesswasserdurchsatz. Hier ist zu prüfen, ob der Wasserbedarf weiter gesenkt werden kann, da sich dieser unmittelbar auf den Energiebedarf auswirkt.
- Deshalb ist der Fokus auf das Austragssystem zu setzen. Das Ziel, die Pumpwirkung im Austrag, durch den schon entwickelten Venturi Austrag zu verbessern, um die Reinigung im energiesparenden Hochkonsistenzbereich durchzuführen.

Aufgrund der Energieeinsparungen ergibt sich automatisch eine entsprechend hohe CO₂ – Einsparung. Genaue Werte ergeben nur Untersuchungen unter Vollastbedingungen. Diese können erst nach Abschluss der Untersuchungen ermittelt werden. Diese hängt von dem entsprechend erreichtem Durchsatz im Refiner ab.

Generelle CO₂ Einsparung: Mit jeder Tonne Produkt, die aus recyceltem Kunststoff hergestellt wird, werden im Vergleich zur thermischen Entsorgung des Altkunststoffes und dessen Ersatz aus Neuware ca. 1,26 Tonnen CO₂ Emissionen eingespart. Bei einer angenommenen Kapazität von 4.000 Jahrestonnen würde eine Summe von mehr als 5.000 Tonnen CO₂ eingespart. Um die Dimensionen dieser Zahl zu verdeutlichen hilft ein Beispiel: Um in einem Jahr 5.000 Tonnen CO₂ zu produzieren, müsste ein PKW mit einem Durchschnittsverbrauch von 10 \triangle l/100km eine Strecke von 20 Mio. Kilometer zurücklegen.¹

¹ Berechnung gem. Formel von <http://www.green-responsibility.de/wp-content/uploads/CO2-Umrechnungsfaktoren.pdf> (aufgerufen am 25.02.2013)

Vorteile der CVP- Waschtechnologie beim Einsatz stark verschmutzter Folien:

- Vermeidung der Verbrennung und damit Freisetzung von fossilem CO₂ von stark verschmutzten Folienabfällen.
- Vermeidung der Bildung flüchtiger Verbindungen während der Extrusion durch die Verbrennung unvollständig, abgereinigter Rejektanhaftungen.
- Vermeidung von Abfallexporten und deren Umweltbelastung nach Asien.
- Vermeidung von „Marine Litter“, also Folienabfällen die über die Flüsse in die Weltmeere gelangen.
- Erhöhung der Recyclingquote von Folienabfällen von derzeit 10 %.

2.3 Zielsetzung

Ziel des Gesamtvorhabens war es, mit der kompakten CVP HydroDyn Anlage das Verhalten, den Energieverbrauch und die Funktion der Reinigungswirkung eines konusförmigen Refinerwerkzeugs zu erforschen.

Der Reinigungseffekt des Scheibenrefiner hat sich bereits in der Praxis bewährt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die erzielbaren Produktqualitäten mindestens auf dem Stand von herkömmlichen Waschtechnologien liegen. In Anbetracht des Verzichts auf Reinigungskemikalien erreicht sie sogar bessere Produktqualitäten. In Bezug auf Zellstoffanhaftungen sind Refiner anderen Reinigungssystemen weit überlegen. Im Zuge der Untersuchungen der „CVP HydroDyn® Compact“, also der Reinigungsanlage in kompakter Bauweise, wurde die gleiche Waschleistung wie mit großen Refineranlagen erreicht.

Problematisch blieb jedoch die Reinigung von Flakes aus Folienabfällen mit dem Refiner, da die Folien um ein vielfaches dünner sind als Flakes aus Hartkunststoffen. Demzufolge weisen Folienflakes eine deutlich vergrößerte Oberfläche auf und bedürfen größerer Friktionsflächen des Refinerwerkzeugs. Auch das Verhalten von Folien, als wässrige Suspension, ist ein völlig anderes als bei Hartkunststoffen. Folien werden nach Stand der Technik ausschließlich niederkonsistent verarbeitet, während der Refiner nunmehr die Perspektive bietet hochkonsistent zu arbeiten.

Diese Umstände erfordern eine Anpassung insbesondere des Eintrags- und Austragssystems. Nur so können die wirtschaftlich erforderlichen Durchsätze erreicht werden. Insbesondere funktionieren die bei Hartkunststoffen bewährten Austräge mittels Pumpensumpf nicht, da die Folien aufschwimmen und sich nur bei niedrigen Feststoffkonsistenzen (< 2,5 %) fördern lassen.

Folgende Zielsetzungen galt es zu erforschen:

- Wird mit einem konusförmigen Werkzeug die gleiche oder eine bessere Reinigungswirkung wie mit einem Scheibenwerkzeug erreicht?
- Wie qualifiziert und quantifiziert sich die Reinigungswirkung?
- Welche Energieverbräuche sind zu erwarten?
- Welche Durchsätze sind zu erwarten?
- Was ist an den Werkzeugen noch zu optimieren in Hinblick auf Reinigungswirkung und Energiebedarf?
- Welcher weiterführende Forschungsbedarf ergibt sich aus den daraus gezogenen Erkenntnissen?

Hinsichtlich der qualitativen Bewertungen des Reinigungsergebnisses, ist bei Folien ausschließlich die Erzeugung von v. a. zellstoffbefreiten Flakes interessant. Diese sind zu trocknen und zu Granulaten umzuschmelzen, aus denen dann wieder Folien auf einer Labormaschine hergestellt werden. Für die Beurteilung von Folienqualitäten sind die Blasfähigkeit des Folienschlauches und die Freiheit von Stippen aus Verunreinigungen wie Zellstoff entscheidend.

Zielsetzung war hier ursprünglich Untersuchungen im Labor der MAKSC in Barleben (Dr. Martina Lehmann) durchzuführen. Geplant waren bis zu 10 Analysen gesamt nach den Versuchsdurchläufen durchzuführen. Da aber inzwischen, die Tochtergesellschaft der CVP, also die FVH Folienveredelung Hamburg GmbH & Co KG in Schwerin, ein werkseigenes Labor aufgebaut hat, konnten die Untersuchungen selbst durchgeführt werden.

2.4 Ergebnisse

Die Untersuchung der Funktionsweise eines „konusförmigen Refiners“ zur Reinigung von Folienspänen, wurde in drei Forschungsphasen unterteilt. Jede Forschungsphase hatte strukturell den gleichen Ablauf: Sie gliederten sich in Engineering, Versuchsplanung, Projektsteuerung, Versuche vor Ort und Auswertung der Versuche als Arbeitspakete.

Zeitgleich wurden unter dem Arbeitspaket „Engineering“ die verfahrenstechnische Aggregatauslegungen vorgenommen sowie die mechanischen und elektrischen Planungen ange stellt. Weiterhin wurden die Pumpen und Armaturen definiert und schließlich die Montage des jeweiligen Versuchsaufbaus begleitet. Nachdem die Planung und erste Versuche durchgeführt waren, wurden diese ausgewertet. Aufbauend auf diesen Ergebnissen entstanden neue Versuchsanweisungen, die wiederum geplant und umgesetzt wurden.

Wichtige Kennzahlen konnten infolge der höheren Waschleistung ausgewertet werden.

Es sind:

- die variablen Betriebskosten einer Recyclingwäsche
- die Energiekosten und Abwasserkosten
- die Kosten für Reinigungskemikalien



Abb. 2: F2 Stromversorgung über Frequenzumrichter



Abb. 3: Stromleitung F2



Abb. 4: Schaltschrank Stromversorgung F2



Abb. 5: F2 ohne Maschinenbett



Abb. 6: F2 mit Maschinenbett



Abb. 7: F2 Vibrationsdämpfer



Abb. 8: Prozesswassereintrag mittels manueller Wasserzufuhr

3.2 Methoden und Ergebnisse

Im ersten Versuchstest wurde die Pumpenwirkung mittels Handschlauch und manueller Wasserzufuhr getestet. Siehe Abb. 8: Prozesswassereintrag mittels manueller Wasserzufuhr.

Die Prozesswassermenge wurde mit einem Durchflussmesser gemessen. Das Ergebnis der Pumpenwirkung des Refiner war positiv. Die Wassermenge konnte im Durchfluss auf bis zu 50 m³/h hochgerechnet gefahren werden.

Die Versuchsläufe funktionierten nur über kurze Laufzeiten und geringe Mengen. Sie mussten nach ca. 200 kg Materialzufuhr und max. 10 Minuten Laufzeit abgebrochen werden, da die benötigte Materialmenge von den Aus- und Eintragungssystemen nicht weiter verarbeitet werden konnte.

Eine weitere Beobachtung war die Limitierung der Eintragskapazität der Beschickungsschnecke. Der Refiner konnte ohne Probleme die aufgegebenen Materialmengen verarbeiten. Aufgrund der größeren Aufnahmekapazität des Konusrefiner stieß jedoch das Schneckeneintragsystem an seine Leistungsgrenze.

Der Energieverbräuche wurden im Schaltschrank abgelesen und ausgewertet. Mittels Stoppuhr wurde die Durchlaufzeit des Materials erfasst. Das Material wurde im Anschluss gewogen.

Nachfolgende Abb. 9: Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm-delta 4,0A zeigt das Ergebnis bei leicht verschmutzten Flakes. Das Leistungspotential des Konusrefiner mit Durchsätzen bis 3.000 kg/h:

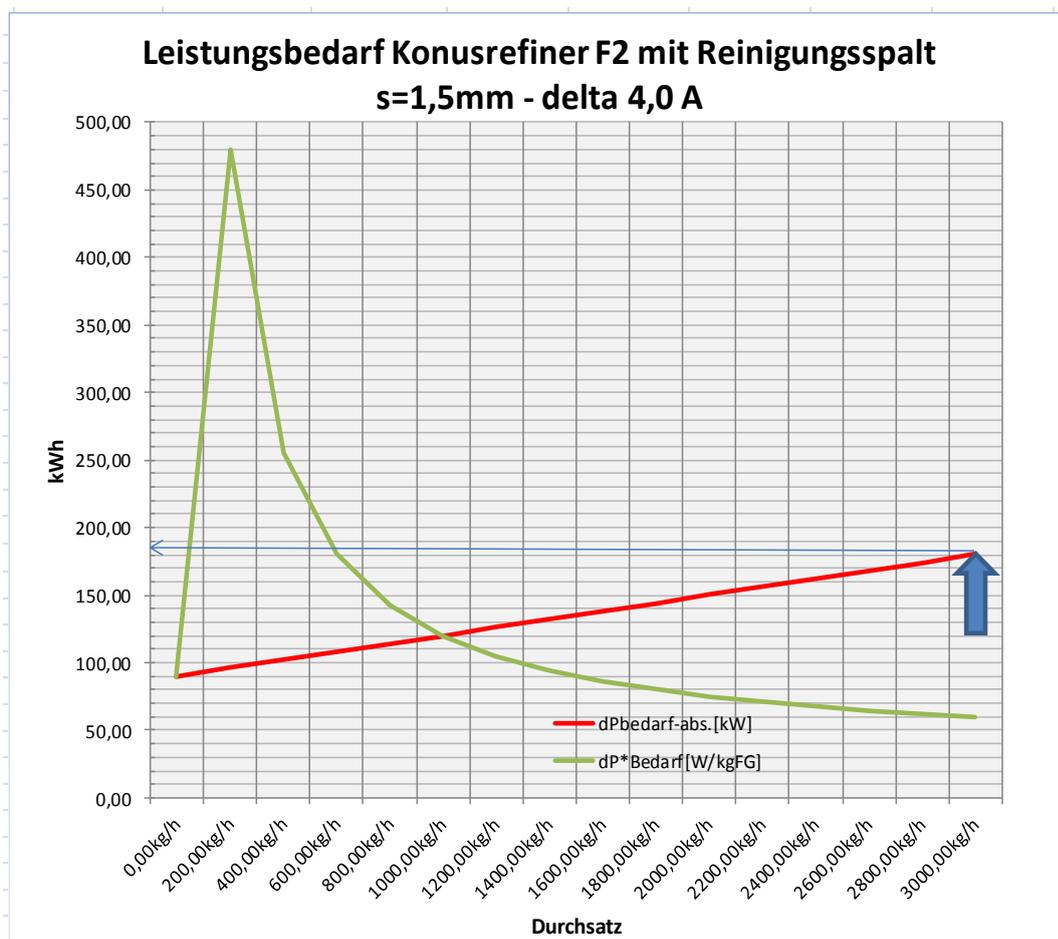


Abb. 9: Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm-delta 4,0A

Auch bei stark verschmutzten Flakes ist das Durchsatzpotential noch erheblich. Gegenüber ursprünglich angenommenen 1.000 kg/h lassen sich bis zu 1.400 kg/h an stark verschmutzten Flakes verarbeiten. Siehe Abb. 10: Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm-delta 8,0A:

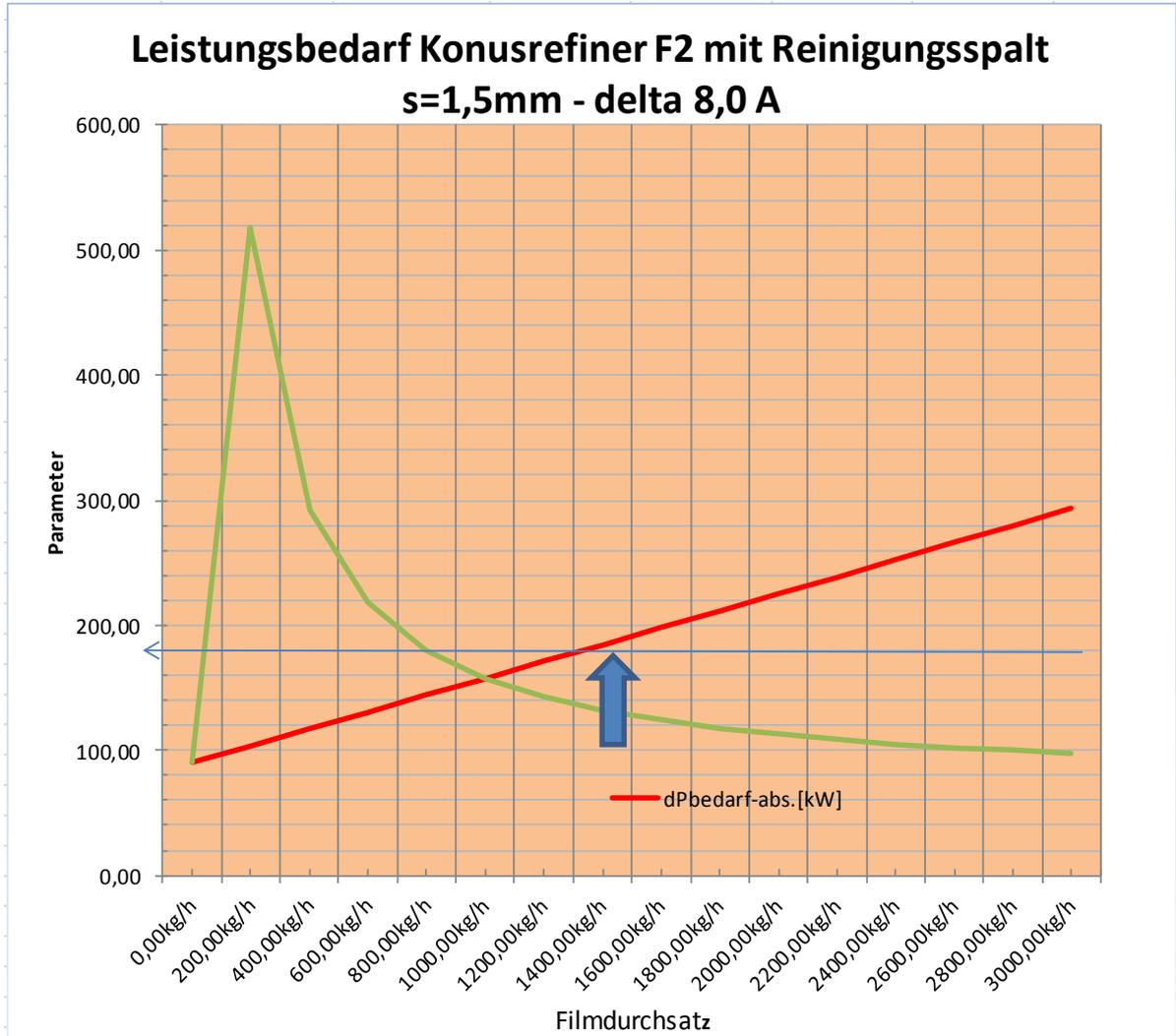


Abb. 10: Leistungsbedarf Konusrefiner F2 mit Reinigungspalt 1,5mm–delta 8,0A

3.3 Ermittlungen der Reinigungswirkung / Auswirkung des Reinigungsspalt

Als Rohstoffe wurden sogenannte 98/2 Retailer Rohstoffqualitäten eingesetzt. Dabei handelt es sich um die in großen Mengen anfallenden transparenten Folien aus dem Supermarktbereich. Die weniger stark verschmutzten Qualitäten haben wenige Klebetiketten und sind lediglich mit Roststellen von den Bindedrähten und Feinstaub kontaminiert. Die stark verschmutzten Qualitäten haben eine hohe Anzahl an Klebetiketten und sind stark mit Anhaftungen von Lebensmitteln kontaminiert.

Die Ermittlung der Reinigungswirkung erfolgte mit dem Keyence Mikroskop. Vergrößert wird bis auf 1000fache. Gemessen wurde auf der Flake-Oberfläche mit dem Ziel, die Menge der sogenannten extrinsischen Kontaminanten zu untersuchen. Dabei wurde der Flächenanteil der Kontaminanten in Bezug zur ausgemessenen Oberfläche der Flakes gesetzt. Zielgröße ist eine Kontamination von 10 ppm, in Bezug auf den Flächenanteil der Kontaminanten zur Flake-Oberfläche.

Variationen des Reinigungsspalt haben aufgezeigt, dass dieser die wesentliche Funktion hat, Folienpakete aufzuscheren. Ist der Reinigungsspalt zu groß ($>$ als 1,5 mm), so werden „Pakete“ an Folienflakes nicht mehr vereinzelt. Das hat zur Folge, dass die hydrodynamische Reinigungswirkung nur eingeschränkt auf der Flakeoberfläche wirken kann und Verschmutzungen in den Folienpaketen eingeschlossen bleiben.

Folienpakete lassen sich leicht feststellen mittels Feuchtigkeitsmessungen. Folienpakete schließen die Feuchtigkeit ein. Daher wurden die Feuchtigkeiten des Output Materials gemessen, um Hinweise auf Folienpakete und damit den optimalen Reinigungsspalt zu ermitteln. Siehe hierzu folgende Abbildungen 11-23.



Abb. 11: Beschickungstest



Abb. 12: Input Kunststoff Flakes



Abb. 13: Output Kunststoff Flakes

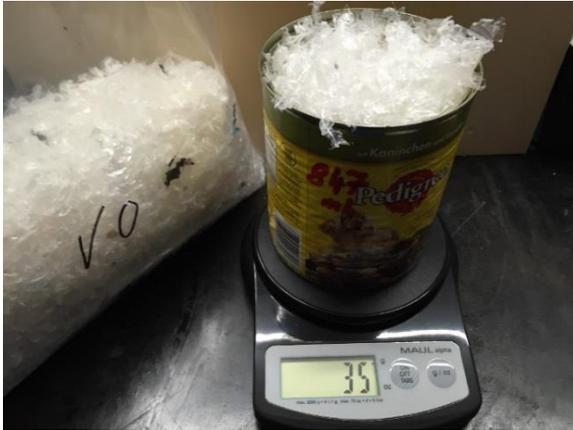


Abb. 14: Output nass Kunststoff Flakes

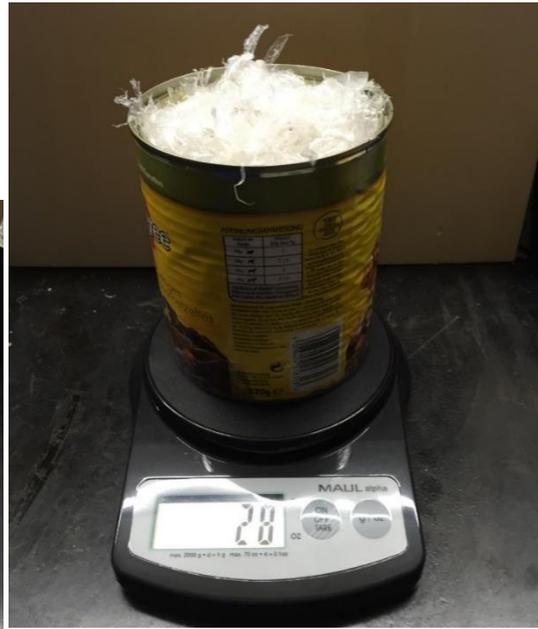


Abb. 15: Output trocken Kunststoff Flakes

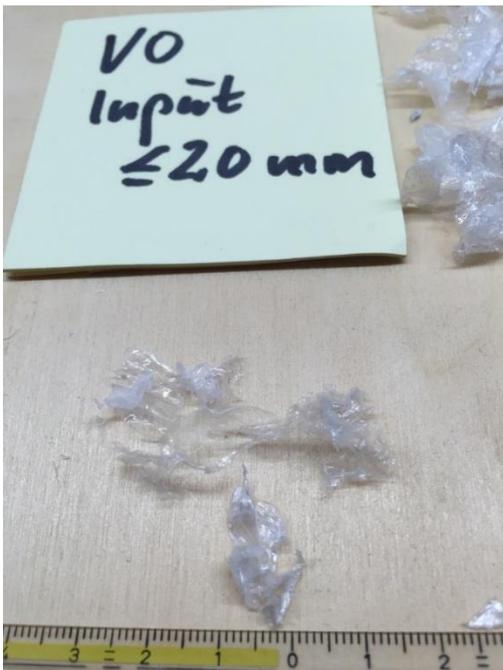


Abb. 16: Input Material <20 mm Flakes



Abb. 17: Input Material <20 mm Flakes



Abb. 18: Output nass Material <20 mm Flakes

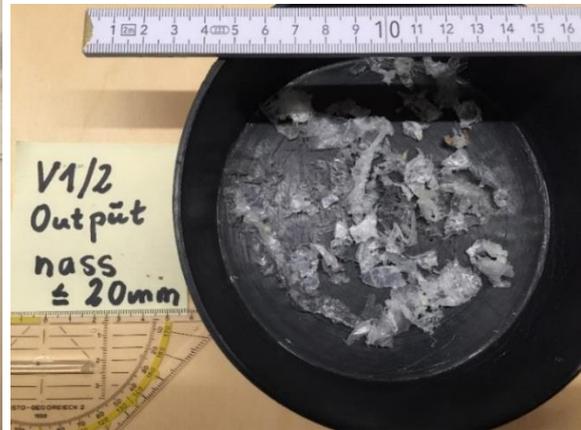


Abb. 19: Output nass Material <20 mm Flakes



Abb. 20: Output trocken Material <20 mm Flakes

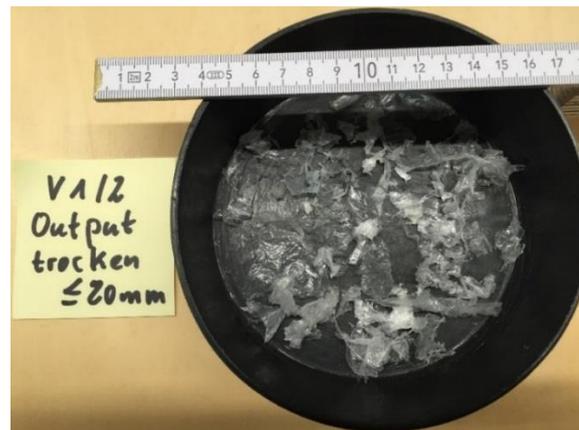


Abb. 21: Output trocken Material <20 mm Flakes

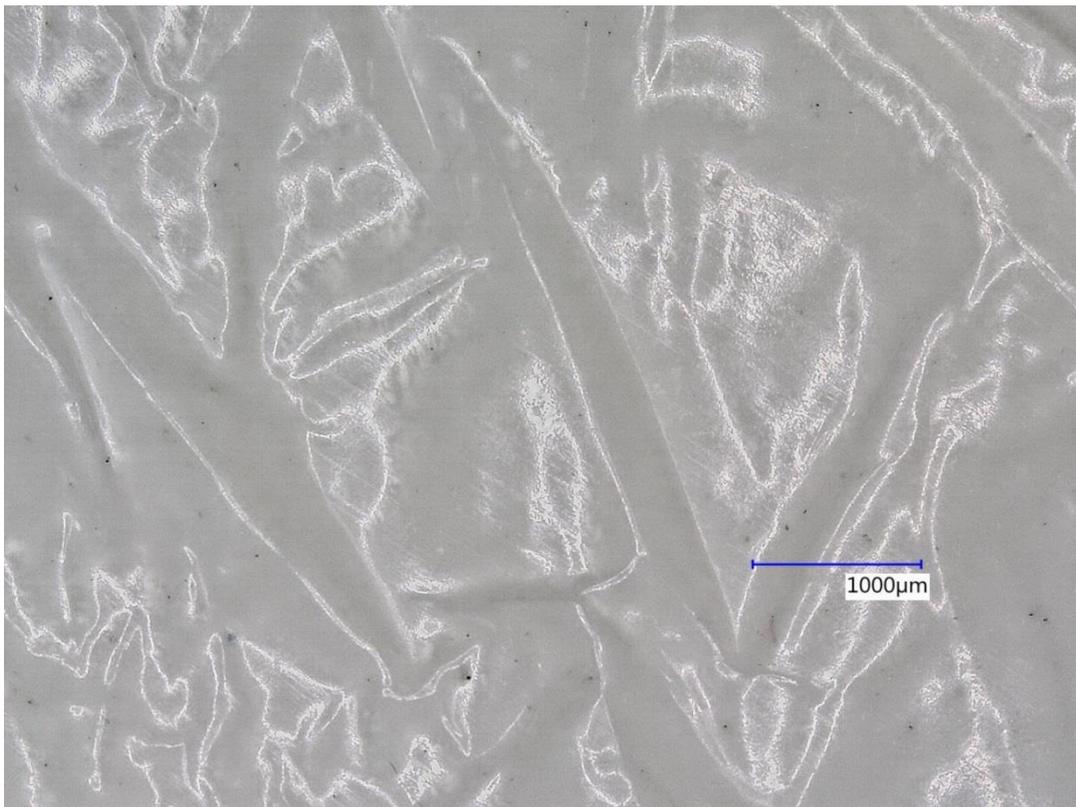


Abb. 22: Folienoberfläche bei 1000facher Vergrößerung ohne Kontaminanten

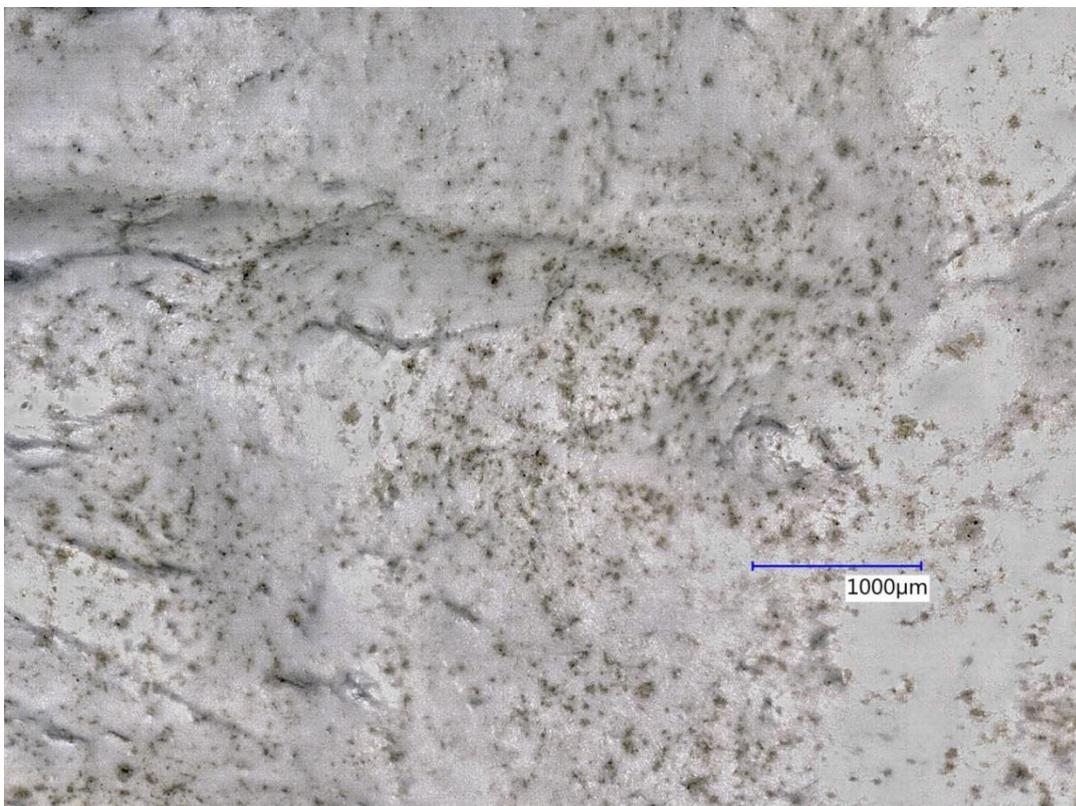


Abb. 23: Folienoberfläche mit über 100 ppm Kontaminanten

3.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Als Fazit dessen, dass das herkömmliche Ein- und Austragssystem der Scheibenrefiner-Systeme nicht 1:1 für den Konusrefiner kopiert werden kann, testeten wir versuchsweise, ein in einfacher Bauweise erstelltes „Schlürfeintragssystem“ (Klosettpülung). Mit kleinen Rohstoffmengen funktionierte der Eintrag. Deshalb planen wir die Erforschung hinsichtlich beider Eintragssysteme zu erweitern. Nämlich für ein größeres und flexibles Schneckeneintragssystem sowie dem Schlürfeintragssystem. Die Ergebnisse aus den letzten Versuchsreihen haben gezeigt, dass es derzeit keine zufriedenstellende technische Lösung für den Eintrag von Folienstücken (Flakes) in den Refiner gibt. Die bisher eingesetzten Schneckeneinträge, haben aufgrund der geringen Schüttdichte und den geometrischen Randbedingungen, eine natürliche Leistungsgrenze. Dies ist besonders bedauerlich, da die Versuche und der betriebliche Einsatz gezeigt haben, dass deutlich größere Durchsätze möglich sind. Außerdem bereitete die kontinuierliche Beschickung der Schnecke, und damit auch die des Refiners Probleme. Ein „ideales Aufgabesystem“ sollte universell einsetzbar sein, also auch für Hartkunststoffe geeignet sein. Diese Anforderungen wollen wir nicht nur durch ein neu zu entwickelndes Aufgabesystem lösen, vielmehr benötigen wir ein spezielles und leistungsfähigeres Ein- und Austragssystem für den Konusrefiner. Darauf legen wir unseren künftigen Forschungsfokus.

In Ergebnis der aufgetretenen Schwierigkeiten, mit den begrenzten Möglichkeiten unserer bestehenden Versuchsanlage, muss festgestellt werden, dass stochastisch abgesicherte, valide Messdaten ausschließlich in einer vollständigen Prototypenanlage messbar und auswertbar sind.

Es konnten bisher lediglich Versuchsfahrten von maximal 10 Minuten Dauer durchgeführt werden, da der Materialdurchsatz so groß war, dass die Menge der Flakes, vom Volumen her, nicht mehr hantierbar war. Eine zehnmütige Versuchsfahrt kann keine abgesicherten Ergebnisse geben, weshalb auf eine wissenschaftlich verwertbare, detaillierte Auswertung verzichtet werden musste.

Dennoch konnten wertvolle Hinweise aus den kurzen Versuchsfahrten gewonnen werden:

- Im Ergebnis aller drei durchgeführten Versuche ist festzustellen, dass der Konusrefiner die Reinigungswirkung sowohl bei Erhöhung des Durchsatzes und Verringerung des Energiebedarfs erbringt, und sogar alle Erwartungen überstieg.
- Alle Versuchsläufe ergaben deutliche Hinweise darauf, dass der konusförmige Refiner gegenüber dem Scheibenrefiner zwar eine größere Reinigungsleistung hat, sich jedoch das Eintragssystem als limitierend erwies.
- Obwohl lediglich ein Reinigungsspalt von 1,5 mm getestet werden konnte, war gut feststellbar, dass eine Frikionsreinigung selbst bei dünnen 10 Mikron dicken Folien in Folienpaketen stattfindet.
- Ein Hochkonsistenzbetrieb war ohne Probleme möglich. Der Hochkonsistenzbetrieb wird als Schlüssel für die weitere Senkung des Energiebedarfs gewertet.
- Das neue „Grooves Konzept“ mit Rückspülnuten, das sich schon beim Scheibenrefiner sehr bewährt hat, funktioniert auch beim Konuswerkzeug.
- Die Durchsatzperspektive des Aggregats ist so hoch, dass es sinnvoll erscheint in einer weiteren Stufe den Refiner von derzeit 22“ auf 12“ zu verkleinern. Damit verbunden sind ein deutlich leistungsschwächerer Antrieb und weitere Energieeinsparungen.

Es besteht also weiterer Forschungsbedarf, der sich wie folgt begründet:

- Unsere Vorstellung ist es, weitere Forschungen an einer vollständigen, industrietauglichen Prototypenanlage durchzuführen. Diese Anlage muss v. a. über die nachgelagerte Peripherie zur Weiterverarbeitung der Flakes verfügen, so dass große Materialmengen gefahren und durch Messungen begleitet werden können.
- Diese Prototypenanlage soll mit der nächstkleineren Refinerklasse ausgerüstet werden, in der die Erkenntnisse hinsichtlich des Konuswerkzeugs umgesetzt werden. Damit soll ein weiterer Sprung der Energieeinsparungen realisiert werden, die bei mindestens 20 % liegt.
- Es müssten groß angelegte Messreihen durchgeführt werden, in denen die Energieeinsparungen determiniert werden, im Hinblick auf höchste Produktreinheiten. Die zentralen, zu erforschenden Fragen lauten: Welche Produktreinheiten sind im Idealfall überhaupt zu erreichen? Wie ist, im Hinblick auf diese Reinheiten, der Energieverbrauch zu optimieren und Energie einzusparen?
- Es ist ein Eintragssystem zu entwickeln, das keine Mengenlimitierung aufweist und v. a. im Hochkonsistenzbetrieb betrieben werden kann.

3.5 Ausblick

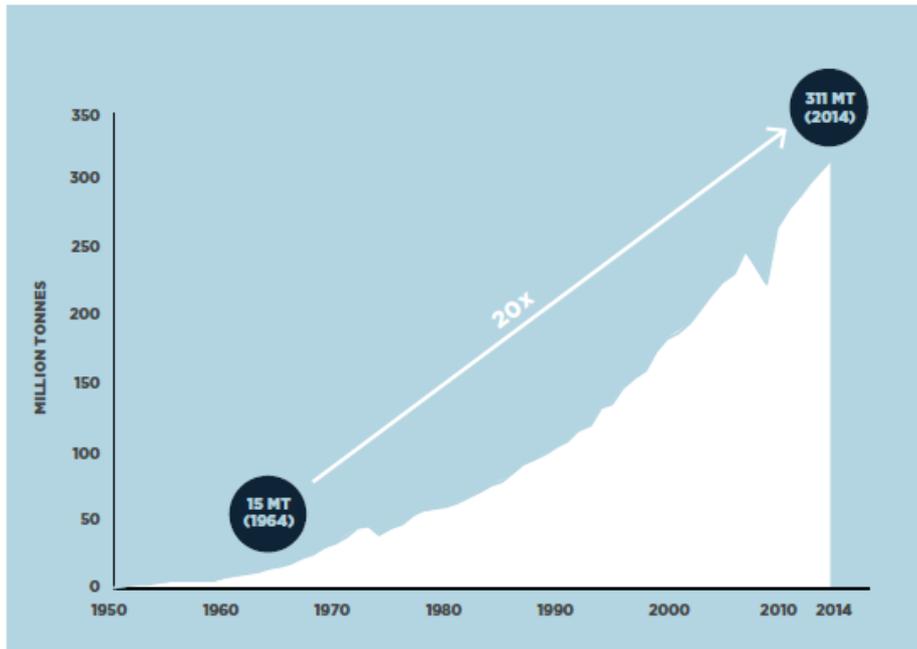
Bestätigung in unserem Handeln und der CVP Vision ergab eine neue, sehr interessante Studie der Ellen McArthur Foundation, mit dem Titel „The New Plastics Economy - Rethinking the Future of Plastics“.

Sie verdeutlicht, anhand stetig steigenden Kunststoff-Verpackungsmülls, wie dringend die Anforderungen an einer Reduzierung von Kunststoffverpackungen sind. Sie stellt unter anderem die Aufmerksamkeit an eine endliche Reduzierung von Rohstoffen dar und begründet sie mit dem stetig ansteigenden Wohlstand. Sie beurteilt die Vor- und Nachteile von Kunststoffverpackungen aus heutiger Sicht.

Der Bericht untersucht auch, wie die Zusammenarbeit der erweiterten, globalen Kunststoff-Verpackungs-Produktion und „After-use-Wertschöpfungskette“ ist. Wie mit Hilfe der Regierungen ein systematisches Umdenken und Veränderungen zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft, in der Kunststoffindustrie, erreicht werden kann. Die Studie schlägt ein neues Konzept und einen Aktionsplan vor.

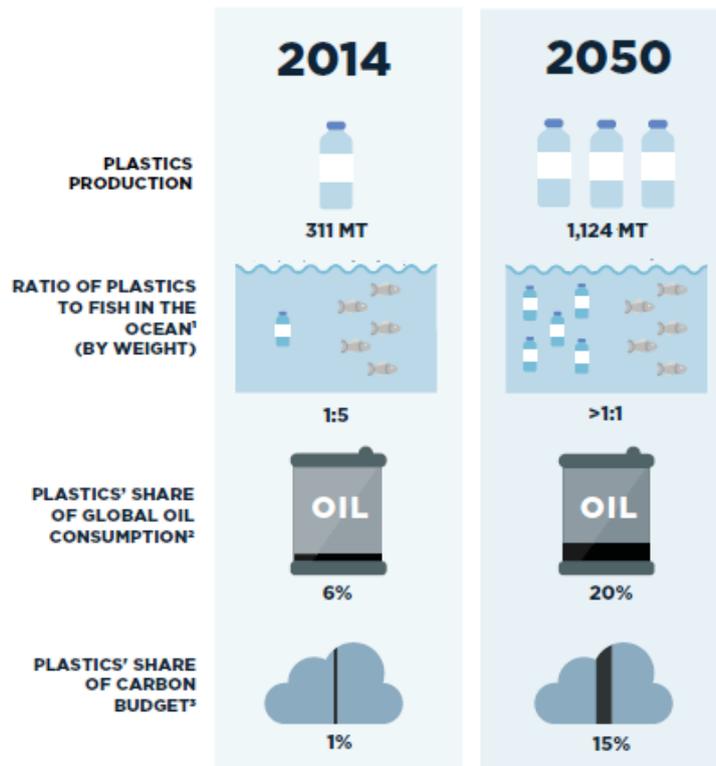
Dieser Bericht ist auch eine Ermutigung zur Förderung branchenübergreifender Projekte, als wichtigen Weg zur dringenden Beschleunigung einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft. Es werden eine Reihe von bedeutenden Wissenslücken klargestellt und offene Fragen, die weiter erforscht werden müssen, aufgezählt. Dieser Bericht ist das Produkt des Projekts „MainStream Lenkungsausschuss“, eine Initiative des World Economic Forum. Die MacArthur Foundation nutzte dafür die analytischen Fähigkeiten von McKinsey & Company.

FIGURE 1: GROWTH IN GLOBAL PLASTICS PRODUCTION 1950-2014



Note: Production from virgin petroleum-based feedstock only (does not include bio-based, greenhouse gas-based or recycled feedstock)

Source: PlasticsEurope, *Plastics – the Facts 2013* (2013); PlasticsEurope, *Plastics – the Facts 2015* (2015).



3.6 Veröffentlichungen

- I. Masterarbeit von Andreas Fensch (Matrikelnummer 813858)
Fachbereich VIII Verfahrenstechnik an der Beuth Hochschule Berlin.
Abschlussarbeit: „Systematik der Reinigungswirkung durch hydrodynamische Friktion als Verfahrenstechnik zur stofflichen Wiederverwertung von kontaminierten Kunststofffolien“ zur Erlangung des akademischen Grades Master of Engineering.

- II. Fachinformation „KI Kunststoff Information“ = www.kiweb.de
- III. Fachinformation „Plasticker online“ = www.plasticker.de

Hamburg 31.03.2016

CVP Clean Value Plastics GmbH

Michael Hofmann
-Geschäftsführer-

Alexander Kammann
-Projektleitung-